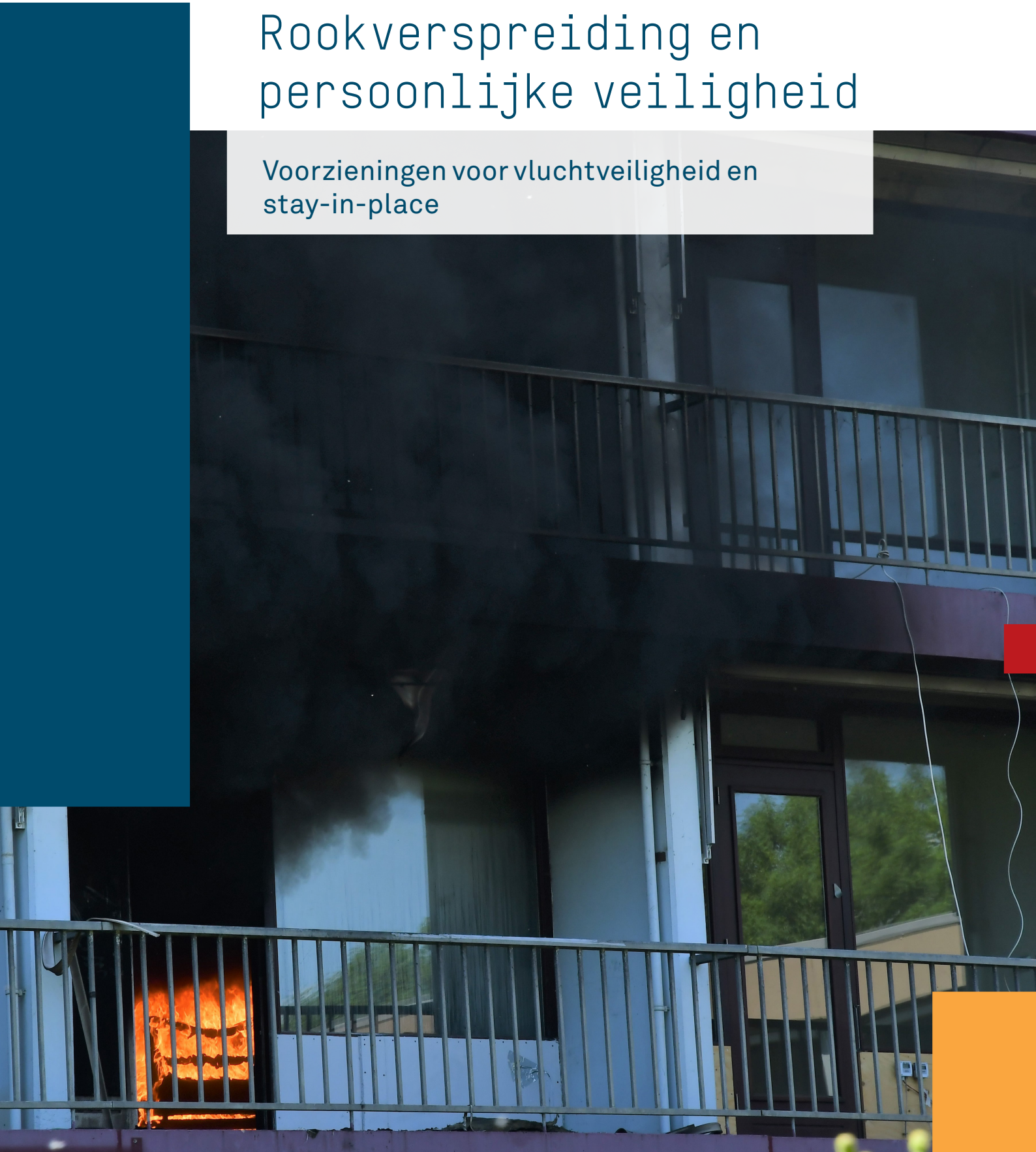


Rookverspreiding en persoonlijke veiligheid

Voorzieningen voor vluchtveiligheid en
stay-in-place



Nederlands Instituut Publieke Veiligheid
Postbus 7010
6801 HA Arnhem
Kemperbergerweg 783, Arnhem
www.nipv.nl
info@nipv.nl
026 355 24 00

Colofon

© Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV), 2022

Auteur(s): R.M.M. van Liempd, H.L. de Witte, M. Karemaker, R.A.P. van Herpen (T.U. Eindhoven), V.D. Jansen

Contactpersoon: H.L. de Witte

Datum: 1 juli 2022

Opdrachtgever: Ministerie van Binnenlandse Zaken, contactpersoon: M. Balk

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

Naar aanleiding van het *Grenfell Inquiry Phase 1 Report* heeft het Ministerie van Binnenlandse zaken en Koninkrijksrelaties (BZK) de Adviescommissie Toepassing en Gelijkwaardigheid Bouwvoorschriften (ATGB) gevraagd om aan te geven hoe de Engelse bevindingen zich verhouden tot de Nederlandse regelgeving en of er aanleiding is om tot actie over te gaan in Nederland. In het advies van de ATGB aan het Ministerie van BZK staan zeven aanbevelingen waarin nieuw onderzoek wordt bepleit. Deze zeven aanbevelingen zijn uitgewerkt in uitvragen voor onderzoek. In het voorliggende document worden twee van deze uitvragen (5 en 6) behandeld; ze zijn samengevoegd vanwege hun onderlinge relatie.

Probleemstelling en doel

Bij niet moedwillig aangestoken branden in woningen en woongebouwen vallen in Nederland jaarlijks gemiddeld 31 doden (Brandweeracademie, 2018) en tussen de 800 en 900 gewonden (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2012). De verwachting is dat het aantal slachtoffers bij brand de komende jaren zal toenemen door de vergrijzing en het toenemende aantal zelfstandig wonende kwetsbare personen (Brandweeracademie & Nederlandse Brandwonden Stichting, 2015).

De snelle verspreiding van (giftige) rook is de belangrijkste oorzaak van slachtoffers bij brand in gebouwen (Purser & McAllister, 2016). Uit de praktijk blijkt dat er regelmatig branden plaatsvinden in woongebouwen met in pandige gangen, waarbij sprake is van rookontwikkeling die sneller verloopt dan verondersteld wordt in de bouwregelgeving en waarbij sprake is van snelle en omvangrijke rookverspreiding buiten de woning waarin de brand is ontstaan (Brandweeracademie & Brandweer Nederland, 2017, 2019). Dit noodzaakt tot het geven van een antwoord op de vraag of nadere eisen voor subbrandcompartimentering in woongebouwen kunnen worden ingevoerd om de directe bedreiging van rook op woningen te beperken (uitvraag 5). Het mogelijk ingesloten raken door rook in de (extra beschermde) vluchtroute of het ontbreken van een mogelijkheid tot vluchten (bijvoorbeeld door immobiliteit) vraagt om te beoordelen onder welke randvoorwaarden een 'stay-put-concept' (vanaf hier stay-in-place-concept genoemd) als aanvullend instrument kan worden toegepast in situaties met verminderd zelfredzame personen (uitvraag 6). Het beoogde resultaat van dit onderzoek is het inzicht in de twee genoemde punten.

Onderzoeksvragen

In het voorliggende document worden uitvraag 5 en 6 behandeld. Beide uitvragen zijn vertaald in de volgende onderzoeksvragen:

- > Onderzoeksvraag 1: wat is het risico van rookverspreiding in de (extra) beschermde vluchtroute voor een ontvluchtingsconcept en hoe kan dit risico worden gereduceerd?
- > Onderzoeksvraag 2: Wat is het risico van rookverspreiding tussen brandcompartimenten bij een stay-in-place-concept en hoe kan dit risico worden gereduceerd?
- > Onderzoeksvraag 3: Welke betrouwbaarheid van rookwerende scheidingsconstructies en brandwerende draag- en scheidingsconstructies van de brandcompartimenten is nodig voor een veilig verblijf van gebouwgebruikers bij een stay-in-place-concept?

Methode

In dit rapport worden twee uitersten wat betreft strategieën voor persoonlijke veiligheid bij brand besproken: het ontvluchtingsconcept en het stay-in-place-concept. De definities van de in dit rapport aangehouden concepten zijn als volgt:

- > **Ontvluchtingsconcept:** bij een ontvluchtingsconcept is het uitgangspunt dat wanneer er brand is in het woongebouw, personen het gebouw gaan ontvluchten.
- > **Stay-in-place-concept:** bij een stay-in-place-concept ontvluchten personen de brandruimte en verblijven de personen in andere woningen gedurende de gehele brand in de eigen woning.

Er is gebruikgemaakt van een (semi) kwantitatieve onderzoeksmethode met een vergelijking tussen de beschikbare veilige tijd (AST: Available Safe Time) en de benodigde veilige tijd (RST: Required Safe Time). De rookverspreiding is inzichtelijk gemaakt met behulp van zone-simulaties.

In het onderzoek is een drietal gebouwtypen als referentie gebruikt:

- > woongebouw met corridor
- > woongebouw met vides
- > woongebouw met een atrium

Deze gebouwtypen hebben als basis voor de toegepaste onderzoeksmethode gefungeerd.

Persoonlijke veiligheid

Op basis van de rookverspreiding is de beschikbare veilige vluchttijd in vluchtroutes en beschikbare veilige verblijfstijd in brandcompartimenten bepaald aan de hand van acceptabele condities. De benodigde veilige tijd voor bewoners is bepaald door de snelheid van de ontvluchting (bij een ontvluchtingsconcept) en door de tijd die personen gedurende de brand in hun woning moeten kunnen verblijven in geval van een stay-in-place-concept.

Door de beschikbare veilige tijd (AST) te vergelijken met de benodigde veilige tijd (RST) is per situatie het veiligheidsniveau voor bewoners beoordeeld alsmede de betrouwbaarheid daarvan.

Thermische belasting

Bij een stay-in-place-concept geldt dat personen veilig in het gebouw moeten kunnen verblijven gedurende de duur van de brand. Hierbij moeten de constructie en brandwerende scheidingen in stand blijven. Daarom is voor het stay-in-place-concept naast de persoonlijke veiligheid ook een AST-RST-analyse uitgevoerd voor de thermische belasting van constructies en brandwerende scheidingen in het gebouw.

Risico's en maatregelen rookverspreiding ontvluchtingsconcept (onderzoeksvraag 1)

Geconstateerde risico's

Zicht, verstikkende gassen en warmte zijn factoren die het risico van rookverspreiding voor de ontvluchting bepalen. Het risico wordt bepaald door de rookverspreiding vanuit de brandruimte naar de aangrenzende corridor. Voor het ontvluchtingsconcept is zicht in de vluchtroute veelal de bepalende factor.

De risico's van rookverspreiding nemen toe naarmate de kwetsbaarheid van de doelgroep toeneemt. Voor de algemene doelgroep geldt dat in de meeste gevallen (71 – 93 %) er een veilige ontvluchting mogelijk is. Dit geldt echter niet voor de (zeer) kwetsbare doelgroepen. Hoe kwetsbaarder de doelgroep, des te korter de beschikbare veilige vluchttijd (AST). De (zeer) kwetsbare doelgroep is namelijk gevoeliger voor het verslechteren van de condities zicht, verstikkende gassen en/of warmte in vergelijking met de algemene doelgroep. Zij kunnen daarom maar beperkte tijd in de rook verblijven of veilig vluchten bij beperkt zicht. Tegelijkertijd geldt dat personen uit een (zeer) kwetsbare doelgroep mobiel beperkter zijn, waardoor hun loopsnelheid lager is en daardoor de benodigde veilige vluchttijd (RST) toeneemt.

Als gevolg van rookverspreiding vanuit de brandruimte naar de aangrenzende corridor wordt het uitgangspunt van het Bouwbesluit / Bbl dat een vluchtroute tenminste 30 minuten bruikbaar moet zijn om daar doorheen 30 seconden met ingehouden adem en een snelheid van 1 m/s te kunnen lopen in de praktijk veelal niet gerealiseerd. Deze corridor blijkt namelijk al eerder belemmerd te zijn door beperkt zicht en / of een te hoge dosis verstikkende gassen. Bovendien zal de loopsnelheid in de praktijk bij veel personen lager liggen dan 1 m/s.

Risico-reducerende maatregelen

In het onderzoek zijn de volgende bronmaatregelen onderzocht op het effect op de rookverspreiding:

- > Het beperken van de branduitbreidingsnelheid van het brandende object (brandveilig meubilair, inventaris).
- > De toepassing van een sprinklerinstallatie (in het onderzoek is de effectiviteit van drie variaties onderzocht).

Een sprinklerinstallatie (ontworpen voor snelle blussing) blijkt een effectieve maatregel te zijn om rookverspreiding te beperken. Een sprinklerinstallatie beperkt namelijk het brandvermogen, de rookproductie en de drukopbouw in de brandruimte en daarmee de rookverspreiding. Een sprinklerinstallatie kan verder ook bijdragen aan het verhogen van de betrouwbaarheid van de constructie en brandwerende scheidingen.

De volgende effectmaatregelen zijn onderzocht op hun bijdrage aan risicoreductie:

- > Het creëren van onderdruk in de brandruimte door middel van mechanische afzuiging van lucht in de woning.
- > Het verbeteren van de interne luchtdichtheid (en daarmee rookdichtheid) tussen de woningen onderling en tussen de woningen en de gang.
- > Het aanbrengen van aanvullende subbrandcompartimentering in de (extra beschermde) vluchtroute (corridor) en aangrenzende woningen door het aanbrengen van rookwerende scheidingsconstructies met zelfsluitende deuren in de (extra beschermde) vluchtroute. Hiermee wordt het beperken van de loopafstand door een door brand of rook bedreigde ruimte beoogd.

De onderdruk en de interne luchtdichtheid zorgen voor een langere beschikbare veilige vluchttijd, maar dit geldt enkel voor de algemene doelgroep.

Bij aanvullende subbrandcompartimentering neemt het risico van rookverspreiding af voor degenen in de woningen die niet direct grenzen aan het deel van de corridor waar zich de woningtoegangsdeur van de brandende woning bevindt. Er is vanwege de extra subbrandcompartimentering (splitsing van de gang door rookwerende scheidingsconstructies) immers een extra barrière tegen rookverspreiding aanwezig. Voor individuele personen nemen de risico's echter ook deels toe, namelijk voor de personen in de woningen die zich aan hetzelfde deel van de corridor bevinden als de woning waar de brand is. Door de extra subbrandcompartimentering (splitsing van de gang) wordt het volume van de gang namelijk verkleind, waardoor de condities en tijdsduur waaronder nog door deze gang kan worden gevlucht sneller verslechteren. Tegenover een snellere verslechtering van de rook staat echter dat de loopafstand in de gang door het aanbrengen van de subbrandcompartimentering in de gang wordt verkleind en daardoor het risico wordt beperkt. Om te kunnen bepalen of deze maatregel de risico's van rookverspreiding voldoende verkleint op groepsniveau, is een beoordeling van het groepsrisico noodzakelijk. Daarvoor is nader onderzoek nodig. Het Bouwbesluit / Bbl is namelijk niet toegesneden op het beoordelen van groepsrisico's en richt zich voornamelijk op het individuele risico. Het doorvoeren van deze maatregel in het Bouwbesluit / Bbl wordt op dit moment dan ook afgeraden.

Bronmaatregelen blijken voor de beperking van rookverspreiding effectiever te zijn dan effectmaatregelen. Tenslotte is het effect van een combinatie van bron- en effectmaatregelen onderzocht. Uit het onderzoek blijkt dat een combinatie van bron- en effectmaatregelen (sprinklerinstallatie, trage brandontwikkeling en interne luchtdichtheid) beperken nodig is om de risico's van rookverspreiding bij het ontvluchtingsconcept voor alle doelgroepen voldoende te beperken.

Risico's en maatregelen stay-in-place concept (onderzoeksvraag 2)

Geconstateerde risico's

Verspreiding van verstikkende gassen is een bepalende factor bij het risico van rookverspreiding tussen brandcompartimenten voor een stay-in-place-concept. Net als bij het ontvluchtingsconcept geldt ook voor het stay-in place-concept dat de beschikbare veilige verblijftijd voor de (zeer) kwetsbare doelgroep korter is dan voor de algemene doelgroep –

dit terwijl het stay-in-place-concept het meest geschikt lijkt voor de zeer kwetsbare doelgroep.

Naast de rookproductie blijkt dat met name de interne luchtdichtheid van scheidingsconstructies (rookdichtheid van de interne scheidingsconstructies) bepalend is voor de beperking van rookverspreiding tussen de brandruimte en andere woningen en daarmee de beperking voor de verspreiding van verstikkende gassen.

Risico-reducerende maatregelen

In het onderzoek is het effect op het stay-in-place-concept voor dezelfde bron-, effectmaatregelen als combinaties onderzocht zoals benoemd bij het ontvluchtingsconcept met uitzondering van aanvullende subbrandcompartimentering in de vluchtroute.

Voor het stay-in-place-concept kunnen de volgende algemene conclusies worden getrokken met betrekking tot risico-reducerende maatregelen:

- > Afzonderlijke (niet-gecombineerde) maatregelen zijn onvoldoende effectief voor alle doelgroepen.
- > De maatregelen sprinkler (indien ontworpen voor (snelle) blussing) en drukvereffening van de brandruimte zorgen voor een forse beperking van de risico's voor de algemene en kwetsbare doelgroep.
- > Een snelle blussing van de brand door een sprinklerinstallatie kan helpen om de invloed van het menselijk gedrag te reduceren. Gedragsonafhankelijke bronmaatregelen zoals sprinklerinstallaties hebben de voorkeur boven gedragsafhankelijke maatregelen. Met gedragsonafhankelijk wordt bedoeld dat menselijk gedrag zeer beperkt of geen invloed heeft op het functioneren van de maatregel.
- > Voor een stay-in-place-concept is het verbeteren van de luchtdichtheid (rookdichtheid) vooral van belang voor de scheidingsconstructie tussen de brandcompartimenten (en eventueel flankerende trajecten).

De combinatie van bron- (tragere brandontwikkeling en sprinklerinstallatie) en effectmaatregelen (verbeterde interne luchtdichtheid) is het meest effectief voor alle doelgroepen in het beperken van de risico's bij een stay-in-place-concept. Echter: bij geen enkele (combinatie van) maatregel(en) kan voor de zeer kwetsbare doelgroep een beschikbare veilige verblijftijd van minimaal 90 minuten behaald worden.

Betrouwbaarheid van rook- en brandwerende constructies (onderzoeksvraag 3)

Geconstateerde risico's

Uit het onderzoek blijkt dat met de huidige uitgangspunten voor de brandwerendheid met betrekking tot bezwijken en de weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag (WBDBO) voor het stay-in-place-concept een lagere betrouwbaarheid wordt bereikt dan met het ontvluchtingsconcept. Dat betekent dat de prestatie-eisen in het Bouwbesluit 2012 voor de brandwerendheid met betrekking tot bezwijken en de WBDBO-eisen ontoereikend zijn om in woongebouwen een stay-in-place-concept te realiseren.

In algemene zin kan daarom worden gesteld dat wanneer personen bij een stay-in-place-concept bij een brand in de woning moeten blijven er een grotere betrouwbaarheid nodig is.

Risico-reducerende maatregelen

Om voor een stay-in-place concept een gelijk niveau van veiligheid te behalen als voor een ontvluchtingsconcept moet de betrouwbaarheid van scheidings- en draagconstructies dus worden verhoogd. Uit het onderzoek blijkt:

- > dat de WBDBO tussen woningen met 30 minuten verhoogd moet worden ten opzichte van de voorschriften in het Bouwbesluit / Bbl om eenzelfde betrouwbaarheid te bereiken voor het stay-in-place-concept als voor het ontvluchtingsconcept. Dit betekent dat de WBDBO tussen woningen verhoogd moet worden naar 90 minuten.
- > dat de brandwerendheid met betrekking tot bezwijken tenminste even groot moet zijn als van de brandcompartimentering en daarnaast 30 minuten hoger moet zijn dan de eis voor de instandhouding van de draagconstructie volgens het Bouwbesluit / Bbl om voor het stay-in-place-concept een gelijke mate van betrouwbaarheid te bereiken als voor het ontvluchtingsconcept.

Aanbevolen nader onderzoek

Ontvluchtingsconcept

Voordat de maatregelen die zijn onderzocht kunnen worden vertaald in concrete grenswaarden en bepalingmethoden voor het Bouwbesluit / Bbl is nader onderzoek dan wel een maatschappelijk debat nodig over het onderscheid tussen de algemene en (zeer) kwetsbare doelgroepen:

- > Wat is het acceptabele veiligheidsniveau voor kwetsbare doelgroepen?
- > Is een verschil in veiligheidsniveau tussen doelgroepen is acceptabel?
- > Zo ja, welk verschil in veiligheidsniveau is acceptabel?

Stay in place concept

Uit het onderzoek blijkt dat de brandveiligheidsvoorzieningen van het Bouwbesluit / Bbl voor een stay-in-place-concept voor alle doelgroepen niet toereikend zijn. Dat is ook verklaarbaar: de voorschriften in het Bouwbesluit / Bbl zijn immers gericht op een ontvluchtingsconcept. Bovendien is eerst vervolgonderzoek dan wel een maatschappelijk debat nodig om tot duidelijke kaders voor een stay-in-place-concept te kunnen komen. Daaruit zal moeten blijken welke mate van betrouwbaarheid (ofwel: welk veiligheidsniveau) voor een stay-in-place-concept acceptabel wordt geacht. Vervolgens dienen een toetscriterium (grenswaarde) en een bepalingmethode te worden vastgesteld. Op dit moment is het voorschrijven van specifieke maatregelen voor het stay-in-place-concept daarom nog niet mogelijk.

Inhoud

	Samenvatting	3
	Inleiding	11
1	Theoretisch kader	16
1.1	De uitgangspunten van het ontvluchtingsconcept in het Bouwbesluit 2012	16
1.2	Hoe personen in de praktijk vluchten	20
1.3	De toepassing van het stay-put- en stay-in-place-concept	21
1.4	Behoeftte aan stay-in-place	24
1.5	Rookverspreiding bij woningbranden	25
1.6	Effecten van brand en rook op personen	27
2	Onderzoeksopzet	28
2.1	Methode	28
2.2	Randvoorwaarden	29
2.3	Persoonlijke veiligheid AST-RST	34
2.4	Thermische belasting AST-RST	40
2.5	Gevoeligheidsanalyse	44
2.6	Uitgangspunten maatregelen	45
2.7	Kwaliteit van het onderzoek	53
3	AST-RST-analyse	55
3.1	Analyse persoonlijke veiligheid	55
3.2	Analyse thermische belasting constructie en scheidingen	64
4	Analyse menselijk gedrag	69
4.1	Menselijk gedrag bij een ontvluchtingsconcept	69
4.2	Gevolgen van menselijk gedrag voor het ontvluchtingsconcept	71
4.3	Menselijk gedrag bij een stay-in-place-concept	77
4.4	Gevolgen menselijk gedrag voor het stay-in-place-concept	79
5	Risico's en maatregelen bij een ontvluchtingsconcept	86
5.1	Risico's bij ontvluchting	86
5.2	Reductiemogelijkheden voor risico's	88
5.3	Voorstel voor eisen in het Bouwbesluit / Bbl	94
6	Risico's en maatregelen bij een stay-in-place-concept	95
6.1	Risico's bij stay-in-place	95
6.2	Reductiemogelijkheden voor risico's	97
6.3	Voorstel voor eisen in het Bbl	103
7	Conclusies	105
7.1	Risico's en maatregelen rookverspreiding ontvluchtingsconcept	105
7.2	Risico's en maatregelen rookverspreiding stay-in-place	108
7.3	Betrouwbaarheid van rook- en brandwerende constructies	111

8	Discussie	112
	Literatuurlijst	116
	Bijlage A onderbouwing keuzes bij AST-RST-analyse persoonlijke veiligheid	119
	Bijlage B onderbouwing keuzes bij analyse thermische belasting	129
	Bijlage C resultaten AST – RST-analyse	132
	Bijlage D opties concrete voorschriften in het Bbl stay-in-place-concept	154

Inleiding

Aanleiding

Naar aanleiding van het *Grenfell Inquiry Phase 1 Report* heeft het Ministerie van Binnenlandse zaken en Koninkrijksrelaties (BZK) de Adviescommissie Toepassing en Gelijkwaardigheid Bouwvoorschriften (ATGB) gevraagd om aan te geven hoe de Engelse bevindingen zich verhouden tot de Nederlandse regelgeving en of er aanleiding voor is om tot actie over te gaan in Nederland. In het advies van de ATGB aan het Ministerie van BZK staan zeven aanbevelingen waarin nieuw onderzoek wordt bepleit. Deze zeven aanbevelingen zijn uitgewerkt in uitvragen voor onderzoek. In het voorliggende document worden twee van deze uitvragen (5 en 6) behandeld; ze zijn samengevoegd vanwege hun onderlinge relatie. Zowel uitvraag 5 als 6 betreft gebouwen met woonfuncties waarbij de rookverspreiding de veiligheid van gebouwgebruikers kan bedreigen.

Nadere eisen subbrandcompartimenten (uitvraag 5)

Uitvraag 5 gaat over de vraag of nadere eisen voor subbrandcompartimentering in woongebouwen kunnen worden ingevoerd om de directe bedreiging van rook op woningen te beperken. Hierbij wordt uitgegaan van het vluchten van personen (ontvluchtingsconcept) en is rookverspreiding in de (extra) beschermde vluchtroute relevant. De (extra) beschermde vluchtroute is in het Bouwbesluit / Bbl geen onderdeel van een subbrandcompartiment. Rookverspreiding vanuit een subbrandcompartiment (woning) kan in de beschermde vluchtroute het vluchten belemmeren vanuit een groot aantal andere woningen dan de brandwoning. Hoe groter het verspreidingsgebied is, hoe groter het risico voor de vluchtveiligheid lijkt. Naarmate het verspreidingsgebied groter is, zal de rookconcentratie echter afnemen, waardoor mogelijk meer vluchttijd beschikbaar is. Het is de vraag of het beperken van het verspreidingsgebied van de rook in de (extra) beschermde vluchtroute door nadere eisen voor subbrandcompartimentering tot een werkelijke risicoreductie leidt voor de vluchtveiligheid.

Stay-put-concept (uitvraag 6)

In uitvraag 6 wordt gevraagd om te onderzoeken onder welke randvoorwaarden een 'stay-put-concept' (vanaf hier: 'stay-in-place-concept'; een definitie staat beschreven in paragraaf 2.2.1) als aanvullend instrument kan worden toegepast in situaties met verminderd zelfredzame personen. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat het gebouw niet wordt ontvlucht, zodat de rookverspreiding vanuit een brandende woning naar andere woningen ((sub)brandcompartimenten) relevant is. Een reden om niet te vluchten kan een te korte (onvoldoende) beschikbare veilige vluchttijd zijn, bijvoorbeeld omdat de vluchtroute snel belemmerd wordt door rook. Een andere reden kan een te lange vluchttijd zijn, bijvoorbeeld omdat gebouwgebruikers te veel tijd nodig hebben of zelfs geheel niet in staat zijn om het gebouw te ontvluchten. In een gebouw met minder zelfredzame bewoners bij brand zonder interne organisatie die kan helpen bij de evacuatie kan dat aan de orde zijn. Omdat bewoners in dat geval geen gebruik meer (kunnen) maken van de vluchtroute, is het noodzakelijk dat de woningen of brandcompartimenten buiten de brandende woning gedurende de totale brandduur veilig zijn voor de gebouwgebruikers. Rookverspreiding

tussen brandcompartimenten via inwendige scheidingsconstructies, kanalen, schachten en aansluitingen moet dan worden tegengegaan. Draag- en scheidingsconstructies van brandcompartimenten moeten zo betrouwbaar zijn, dat gebouwgebruikers gedurende het totale brandscenario veilig kunnen verblijven in het gebouw.

Daarnaast vraagt een dergelijk concept ook om ander gedrag bij brand. Vluchten is bij dit concept niet meer het uitgangspunt, wat betekent dat personen in hun woning moeten blijven terwijl er een brand in het gebouw is. Dit betekent dat het gedrag van bewoners bij brand een belangrijke component is om een dergelijk concept te laten slagen.

Probleemstelling en doel

Bij niet moedwillig aangestoken branden in woningen en woongebouwen vallen in Nederland jaarlijks gemiddeld 31 doden (Brandweeracademie, 2018) en tussen de 800 en 900 gewonden (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2012). De verwachting is dat het aantal slachtoffers bij brand de komende jaren zal toenemen door de vergrijzing en het toenemende aantal zelfstandig wonende kwetsbare personen (Brandweeracademie & Nederlandse Brandwonden Stichting, 2015). Vluchten bij brand is voor deze groepen namelijk vaak niet mogelijk door een combinatie van rookverspreiding en mentale en/of fysieke beperkingen.

De snelle verspreiding van (giftige) rook is de belangrijkste oorzaak van slachtoffers bij brand in gebouwen (Purser & McAllister, 2016). Een belangrijke observatie ten aanzien van rookverspreiding is dat de huidige branden met synthetische materialen als brandstof tot wel tien keer meer rook produceren dan branden uit het verleden met organisch materiaal als brandstof (Babrauskas, 2016). Daarnaast blijkt uit de praktijk dat er regelmatig branden plaatsvinden in woongebouwen met inpandige gangen (corridors), waarbij sprake is van rookontwikkeling die sneller verloopt dan verondersteld wordt in de bouwregelgeving¹ en waarbij sprake is van snelle en omvangrijke rookverspreiding buiten de woning waarin de brand is ontstaan (Brandweeracademie & Brandweer Nederland, 2017, 2019). Door deze verspreiding van rook raken vluchtroutes geblokkeerd en kan een onveilige situatie ontstaan in andere woningen. Hierdoor kunnen bewoners niet altijd in veiligheid wachten in hun eigen woning tot de vluchtroute weer beschikbaar is of tot ze gered worden door de brandweer.

De snelle verspreiding van rook noodzaakt tot het geven van een antwoord op de vraag of een nadere indeling van de corridors in subbrandcompartimenten door het aanbrengen van rookwerende scheidingsconstructies met zelfsluitende deuren kan bijdragen aan het reduceren van het vluchtveiligheidsrisico. Het mogelijk ingesloten raken door rook in de (extra beschermde) vluchtroute of het ontbreken van een mogelijkheid tot vluchten (bijvoorbeeld door immobiliteit) vraagt om het beoordelen of een stay-in-place-concept mogelijk is. Het beoogde resultaat van dit onderzoek is het inzicht in de twee genoemde punten.

¹ In dit onderzoeksrapport wordt met bouwregelgeving bedoeld op alle verschillende wetten en regelgeving die direct of indirect ten doel hebben om de brandveiligheid van gebouwen te bevorderen, zoals: het Bouwbesluit 2012/BBL, de Regeling bouwproducten, Eurocodes, de Crisis- en herstelwet., AMVB's, NEN-normen, de Woningwet et cetera.

Hoofd- en deelvragen

De uitvragen over subbrandcompartimentering en het stay-in-place-concept worden in een gecombineerd onderzoek in onderlinge samenhang beschouwd en beantwoord. In beide uitvragen staat de rookverspreiding in relatie tot de veiligheid van gebouwgebruikers centraal:

- > In uitvraag 5 ligt de focus op de veiligheid van de gebouwgebruikers waarbij sprake is van een ontvluchtingsconcept en de gebouwgebruikers na het ontstaan van een brand de woning na enige tijd ontvluchten. Daarbij worden zowel de risico's van rookverspreiding naar en/of via de extra beschermde vluchtroutes, als naar andere woningen beschouwd. Kernvraag is of aanvullende subbrandcompartimentering (bijvoorbeeld rondom een groep van woningen of in de extra beschermde vluchtroute) kan worden ingevoerd om deze risico's te beperken. In dit onderzoek zijn meerdere mogelijke maatregelen onderzocht (bijvoorbeeld een sprinklerinstallatie) om deze risico's te beperken. Hierdoor kan de maatregel 'aanvullende subbrandcompartimentering' vergeleken worden met de andere onderzochte maatregelen.
- > In uitvraag 6 ligt de focus op de veiligheid van de gebouwgebruikers (met name verminderd zelfredzame personen), waarbij sprake is van een stay-in-place-concept en de gebouwgebruikers gedurende langere tijd in de woning moeten kunnen verblijven. Kernvraag is onder welke randvoorwaarden een dergelijk stay-in-place-concept mogelijk is.

Deze beschouwingen leidt tot het formuleren van de onderstaande onderzoeksvragen:

1. Wat is het risico van rookverspreiding in de (extra) beschermde vluchtroute voor een ontvluchtingsconcept en hoe kan dit risico worden gereduceerd?
2. Wat is het risico van rookverspreiding tussen brandcompartimenten bij een stay-in-place-concept en hoe kan dit risico worden gereduceerd?
3. Welke betrouwbaarheid van rookwerende scheidingsconstructies en brandwerende draag- en scheidingsconstructies van de brandcompartimenten is nodig voor een veilig verblijf van gebouwgebruikers bij een stay-in-place-concept?

Het onderzoek ten bate van uitvraag 6 is in dit gehele rapport terug te vinden. Het onderzoek met betrekking tot uitvraag 5 is voornamelijk terug te vinden in paragraaf 5.2, waarin het effect van aanvullende subbrandcompartimentering wordt beoordeeld.

Om deze onderzoeksvragen te beantwoorden, moeten een aantal deelvragen besproken worden.

Voor onderzoeksvraag 1 zijn de volgende deelvragen relevant:

- > Wat zijn risicovolle situaties voor het ontvluchtingsconcept en hoe kunnen die worden gedefinieerd?
- > Welke maatregelen zijn mogelijk om het risico van deze risicovolle situaties te reduceren?
- > Welke suggesties geven deze mogelijke maatregelen tot aanvulling of aanpassing van de eisen?

Bij onderzoeksvraag 2 kunnen de volgende deelvragen worden geformuleerd:

- > Wat zijn de verschillen tussen een stay-put, stay-in-place en het stay-safe-concept?
- > Hoe groot zal naar verwachting de behoefte zijn voor een stay-in-place-concept in de toekomst?

- > Wat is het risico voor de gebouwgebruikers bij een stay-in-place-concept in vergelijking met een vluchtconcept?
- > Is differentiatie naar woonvormen wenselijk of noodzakelijk?
- > Is differentiatie naar doelgroepen wenselijk of noodzakelijk (rekening houdend met menselijk gedrag bij brand)?
- > Welke suggesties geven deze mogelijke maatregelen tot aanvulling of aanpassing van de eisen?

Onderzoeksvraag 3 geeft antwoorden op de voorwaarden die voor een stay-in-place-concept nodig zijn:

- > Welke betrouwbaarheid van rookwerendheid (WRD) is nodig voor de scheidingsconstructies van brandcompartimenten?
- > Welke betrouwbaarheid van brandwerendheid (WBDBO) is nodig voor de scheidingsconstructies van brandcompartimenten?
- > Welke betrouwbaarheid van brandwerendheid (instandhouding) is nodig voor de draagconstructie van brandcompartimenten?
- > Tot welke suggesties voor aanvulling of aanpassing van de eisen leiden de antwoorden op bovenstaande vragen?

Deze deelvragen worden niet allemaal expliciet, maar wel impliciet beantwoord in dit onderzoek.

Afbakening

In dit onderzoek zijn de risico's beoordeeld van een ontvluchtings- en stay-in-place-concept met als uitgangspunt dat er een brand is in een woning. Er is gekozen voor een woning, omdat dit de meest voorkomende brandlocatie is. Andere brandlocaties die minder frequent voorkomen, zoals de vluchtroute, de gevel of het dak zijn niet meegenomen in dit onderzoek. Andersoortige scenario's, bijvoorbeeld als gevolg van de energietransitie zijn niet meegenomen.

Voor de reductie van risico's zijn mogelijke maatregelen voorgesteld en beoordeeld. De mogelijke impact van deze mogelijke maatregelen voor niet-brandveiligheidsaspecten is niet uitputtend beoordeeld. Zo kan het toepassen van een ventilator voor het op onderdruk brengen van de brandruimte gevolgen hebben voor de thermische isolatie van de gebouwschil. Deze gevolgen worden in dit onderzoek niet uitvoering besproken.

Leeswijzer

Dit rapport start in hoofdstuk 1 met een beschouwing van de beschikbare kennis over het ontvluchtings- en stay-in-place-concept. Er wordt verder beschreven hoe rookverspreiding plaatsvindt en welke effecten rook en brand kunnen hebben op personen in een gebouw. In hoofdstuk 2 wordt uiteengezet welke keuzes zijn gemaakt en welke methoden zijn toegepast in het onderzoek om de risico's bij een ontvluchtings- en stay-in-place-concept te beoordelen. In hoofdstuk 3 wordt bepaald hoe de beschikbare veilige tijd zich verhoudt tot de benodigde veilige tijd voor de beide concepten. Dit wordt gedaan voor zowel het effect van rookverspreiding op personen als voor de thermische belasting op constructies en

scheidingen. In hoofdstuk 4 volgt een analyse welk gedrag personen in de praktijk kunnen vertonen bij een brand en is beoordeeld welke gevolgen dit kan gedrag hebben voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Op basis van de resultaten uit hoofdstuk 3 en 4, wordt in hoofdstuk 5 beschreven wat de risico's zijn bij een ontvluchtingsconcept. In hoofdstuk 5 wordt verder beschreven welke mogelijke maatregelen genomen kunnen worden om deze risico's te reduceren. Er worden voorstellen gedaan ter aanvulling of aanpassing van de eisen uit het Bouwbesluit / Bbl om de risico's te reduceren. Hoofdstuk 6 beschrijft net als hoofdstuk 5 risico's, mogelijke maatregelen en de mogelijkheid tot implementatie in het Bouwbesluit / Bbl, maar dan voor het stay-in-place-concept. In hoofdstuk 7 worden de onderzoeksvragen beantwoord en in hoofdstuk 8 wordt afsluitend een beschouwing gegeven van de implicaties van de bevindingen van dit onderzoek voor de praktijk en wordt de gebruikte onderzoeksmethode kritisch bekeken.

1 Theoretisch kader

In dit onderzoek zijn de risico's van een ontvluchtingsconcept en een stay-in-place-concept beoordeeld. Dit hoofdstuk geeft eerst een beschouwing van de inhoud van deze concepten en de werking ervan in de praktijk. Ook wordt ingegaan op de mogelijke behoefte aan een stay-in-place-concept in Nederland. Omdat de effecten van brand en rook bepalend zijn voor de persoonlijke veiligheid van gebouwgebruikers, wordt afsluitend in dit hoofdstuk aandacht besteed aan de wijze waarop rook zich verspreidt en welke effecten brand en rook op personen kunnen hebben.

1.1 De uitgangspunten van het ontvluchtingsconcept in het Bouwbesluit 2012

1.1.1 Algemene uitgangspunten van brandveiligheidsvoorschriften

In hoofdstuk 6 van de integrale nota van toelichting bij het Bouwbesluit 2012 zijn het doel en de uitgangspunten van de brandveiligheidsvoorschriften beschreven. Deze luiden als volgt:

- > 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.

Deze uitgangspunten zijn overgenomen op pagina 187 van de Nota van toelichting bij het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl) (redactioneel enigszins aangepast). In deze Nota van toelichting is expliciet aangegeven dat het gaat om een tijdsmodel voor vluchten en hulpverlening, waarvoor bij de brandveiligheidsregels van nieuw te bouwen gebouwen is uitgegaan. Kortom: het gaat om een tijdsmodel dat ten grondslag ligt aan de voorschriften (het zijn dus niet de voorschriften zelf) en dit tijdsmodel geldt alleen voor nieuwbouw. Uitgangspunt van het ontvluchtingsconcept van woongebouwen is dus dat de door brand bedreigde personen zonder hulp van de brandweer kunnen vluchten.

1.1.2 Uitgangspunten van voorschriften voor vluchtroutes

In hoofdstuk 6 van de integrale nota van toelichting van Bouwbesluit 2012 zijn eveneens de uitgangspunten voor de eisen aan de vluchtroutes verwoord:

Uitgangspunt van de eisen is een vluchtroute die op de plaats begint waar het vluchten begint (op elk punt van een voor personen bestemde vloer) en eindigt op een veilige plaats. Die enkele vluchtroute moet over de gehele lengte veilig zijn en is daarom vanaf de uitgang van het subbrandcompartiment waarin de vluchtroute begint binnen het brandcompartiment een beschermde vluchtroute en buiten

dat brandcompartiment (voor zover deze niet in een brandcompartiment ligt, zie artikel 2.82, vierde lid) een extra beschermde vluchtroute of een veiligheidsvluchtroute. Dit is niet nodig indien er twee onafhankelijke vluchtroutes zijn, waarbij als uitgangspunt geldt dat indien de ene vluchtroute is versperd, de andere nog beschikbaar moet zijn.

Voor onder andere woongebouwen is deze systematiek verder uitgewerkt in de prestatie-eisen van Bouwbesluit 2012:

- > In artikel 2.104 (extra beschermde vluchtroute) is aangegeven onder welke voorwaarden er na het verlaten van de woning (subbrandcompartiment) volstaan kan worden met een enkele vluchtroute. Dit betreffen:
 - de zogenaamde ‘portiek-etage-ontsluiting’ (artikel 2.104 lid 4a en 4b)
 - het toegestane korte ‘horizontale doodlopende eind’ (artikel 2.104 lid 2), waarbij er vanuit een woning niet langs de woningtoegangsdeur van een andere woning gevlucht mag worden.
- > Woongebouwen die niet voldoen aan deze uitgangspunten moeten beschikken over een veiligheidsvluchtroute of over een tweede vluchtroute (artikel 2.106).

Een besloten gemeenschappelijke verkeersruimte van een woongebouw (zowel bestaand als nieuw) moet altijd een ruimte zijn waardoor een extra beschermde vluchtroute voert (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2021).

Relatie compartimentering en vluchtveiligheid

Een woning in een woongebouw moet volgens Bouwbesluit 2012 zowel brandcompartiment, subbrandcompartiment als beschermd subbrandcompartiment zijn. Deze begrippen zijn in artikel 1.1 van het Bouwbesluit 2012 als volgt gedefinieerd:

Definitie (beschermd sub)brandcompartiment

- > Brandcompartiment = gedeelte van een of meer bouwwerken bestemd als maximaal uitbreidingsgebied van brand.
- > Subbrandcompartiment = gedeelte van een bouwwerk dat binnen de begrenzing van een brandcompartiment ligt of daarmee samenvalt, bestemd voor beperking van verspreiding van rook of verdere beperking van het uitbreidingsgebied van brand.
- > Beschermd subbrandcompartiment = gedeelte van een bouwwerk dat binnen de begrenzing van een subbrandcompartiment ligt of daarmee samenvalt, dat meer bescherming biedt tegen brand of rook dan een subbrandcompartiment.

In de nota van toelichting bij het Bouwbesluit 2012 is op een aantal plaatsen de relatie tussen de (beschermd sub)brandcompartimentering en de vluchtveiligheid aangegeven. Onderstaand is daarvan een aantal relevante passages opgenomen.

Nota van toelichting afdeling 2.10

De kans op een snelle uitbreiding van brand moet voldoende worden beperkt om een eventuele brand in een gebouw beheersbaar te kunnen houden. Met het woord ‘snelle’ is tot uitdrukking gebracht dat de uitbreiding van brand door de aangebrachte brandscheidingen zodanig moet worden vertraagd, dat veilig vluchten mogelijk is. De belangrijkste bouwkundige voorziening daarbij is de brandcompartimentering.

Nota van toelichting afdeling 2.11

In een subbrandcompartiment is men enige tijd beschermd tegen een brand die elders in het brandcompartiment is ontstaan. Dit is vooral ook van belang voor personen die slapen of die niet zelfstandig kunnen vluchten, zoals zeer kleine kinderen, bedgebonden patiënten of gedetineerden. In dergelijke gevallen is ten slotte meer tijd nodig om iedereen in veiligheid te brengen. Ook biedt een subbrandcompartiment bescherming tegen de brand in het subbrandcompartiment dat juist is ontlucht.

Nota van toelichting artikel 2.93

Het is zinvol ruimten waar gebruikers een extra bescherming tegen brand nodig hebben in een afzonderlijk beschermd subbrandcompartiment van beperkte omvang te plaatsen. Men is in ieder beschermd subbrandcompartiment namelijk enige tijd beschermd tegen brand in andere gedeelten [andere beschermde subbrandcompartimenten] van het brandcompartiment. Wanneer de brand ontstaat in het beschermde subbrandcompartiment zelf, dan kan de ontruiming zich in eerste instantie richten op de evacuatie van het relatief beperkte aantal personen in dat beschermde subbrandcompartiment, en daarna pas op alle andere beschermde subbrandcompartimenten in het brandcompartiment.

Hieruit kan worden geconcludeerd dat:

- > Een brandcompartiment de uitbreiding van brand zodanig vertraagt dat veilig vluchten mogelijk is.
- > Een subbrandcompartiment:
 - personen enige tijd beschermt tegen een brand die elders in het brandcompartiment is ontstaan.
 - bescherming biedt tegen de brand in het subbrandcompartiment dat juist is ontlucht.

Beide laatste elementen zijn reeds eerder geanalyseerd in het onderzoek *Brandveiligheid portiekwoningen* (Van der Graaf, Huijzer, & Eggink-Eilander, 2010).

1.1.3 Visie op brandveiligheid

In juni 2009 is door de Rijksoverheid de *Visie op brandveiligheid* geschreven (Ministerie van Volksgezondheid Ruimtelijke Ordening en Milieu, 2009). Wij geven hier de in het kader van het voorliggende onderzoek relevante passages weer.

Pagina 10

De verdeling van verantwoordelijkheden en de uitgangspunten voor regelgeving hangen nauw met elkaar samen. De verantwoordelijkheid van de overheid en de daarmee samenhangende regelgeving richt zich op de veiligheid van bewoners. *Een pand veilig kunnen verlaten is een basisprincipe en houdt in dat personen een gevaarlijke plek (een bouwwerk) binnen vijftien minuten kunnen verlaten.* De constructie van een gebouw moet daarmee gedurende vijftien minuten de brand kunnen weerstaan vanaf het moment van brand uitbreken tot de tijd (vijftien minuten) waarbinnen de brandweer hulp kan verlenen.

Pagina 13

In de paragraaf 'Acceptatie van risico's' is aangegeven dat de verantwoordelijkheid van de overheid primair gericht moet zijn op de veiligheid van die groepen die, om welke reden dan ook, onvoldoende zelfredzaam zijn of onvoldoende handelingsperspectief hebben. In het kader van de visie op brandveiligheid wordt zelfredzaamheid als volgt gedefinieerd:

“Het vermogen om signalen van gevaar waar te nemen en te interpreteren, en om beslissingen te nemen en uit te voeren die gericht zijn op het overleven van een brandsituatie.”

Uit bovenstaande passages blijkt dat het basisprincipe van veiligheid is dat personen **zichzelf** in veiligheid kunnen brengen, voordat de brandweer (vijftien minuten na het ontstaan van de brand) gearriveerd is. De aandacht en de verantwoordelijkheid van de overheid zijn vooral gericht op kwetsbare groepen.

1.1.4 Onderzoek naar brandveiligheid in portiekwoningen

In het onderzoek *Brandveiligheid portiekwoningen* zijn de volgende passages opgenomen over de relatie tussen ‘in de woning blijven’ en ‘de woning ontvluchten’ (Van der Graaf et al., 2010).

Pagina 20

Gezien de ontwikkeling van de voorschriften in de periode 1992-2002 alsmede de loskoppeling van de preventieve en repressieve voorzieningen menen de onderzoekers te kunnen veronderstellen dat de wetgever vanaf 1992 het uitgangspunt heeft aangehouden dat een gebouw op zichzelf voldoende veilig moet zijn en er voor het voldoen aan een voorschrift van het Bouwbesluit geen rekening mag worden gehouden met de mogelijkheid dat bewoners moeten kunnen worden gered door de brandweer. Omdat bij portiekflats het enige trappenhuis onbruikbaar kan worden, betekent dit logischerwijs dat bewoners gedurende langere tijd in hun woning moeten kunnen verblijven en het gebouw pas kunnen verlaten op het moment dat het trappenhuis weer bruikbaar is of wanneer zij door de brandweer worden geëvacueerd. De onderzoekers baseren deze veronderstelling mede op de aanscherping van de eis voor de hoofd draagconstructie en WBDBO-eis die na 2003 voor ‘opgerekte portiekflats’ is doorgevoerd.

Pagina 26

De visie op brandveiligheid van de Rijksoverheid strookt sinds 2009 niet meer met de brandveiligheidsvoorschriften voor portieken. Aan de ene kant gaat de visie van de Rijksoverheid ervan uit dat personen zichzelf in veiligheid moeten kunnen brengen. Aan de andere kant menen de onderzoekers uit de ontwikkeling van de brandveiligheidsvoorschriften voor portiekwoningen te kunnen afleiden dat deze er juist op gericht zijn dat bewoners bij het onbruikbaar worden van het trappenhuis door de brandwerende scheidingsconstructies tussen de woningen langer in de woning kunnen verblijven. Dit komt onder andere tot uiting in de verhoogde WBDBO-eis en de eis voor de brandwerendheid met betrekking tot bezwijken van de hoofd draagconstructie voor portiekflats > 7 m (sinds 2003).

Sinds 1 april 2014 geldt dat woningtoegangsdeuren van nieuwe portiekflats zelfsluitend moeten zijn. Dit was door middel van Staatscourant 2014-4057 d.d. 4 februari 2014 middels een wijziging geregeld in artikel 2.3 van de Regeling Bouwbesluit 2012. De toelichting bij artikel 2.3 van de Regeling Bouwbesluit 2012 luidde als volgt:

Artikel 2.3 bepaalt dat bij nieuwbouw portiekwoningen de deuren van de afzonderlijke woningen zelfsluitend moeten zijn. De bedoeling van dit voorschrift is het voorkomen van rook in een portiek. Als een portiek vol met rook staat, kunnen de bewoners namelijk niet meer vluchten door dit portiek, terwijl er geen andere vluchtroute is. Uit het rapport *Onderzoek rookbeheersing portiekoplossing* van Adviesburo Nieman B.V. (30 september 2011) blijkt dat het toepassen van een zelfsluitende deur de meest aangewezen oplossing is voor het voorkomen van rook in het portiek.

Uit deze toelichting kan worden afgeleid dat door de verplichting van zelfsluitende deuren in een portiek het accent weer gelegd wordt op het ontvluchten van de portiekflat bij een brand in plaats van het gedurende langere tijd in de woning kunnen verblijven.

Opgemerkt wordt dat artikel 2.3 van de Regeling Bouwbesluit 2012 is inmiddels vervallen en per 1 juli 2020 is geïntegreerd in artikel 6.26 van het Bouwbesluit 2012. Op dat moment werd het ook verplicht dat woningtoegangsdeuren van zogenaamde corridorflats zelfsluitend zijn bij brand.

1.1.5 Overige ontruimings- en ontvluchtingsconcepten

Voor celfuncties en gezondheidszorgfuncties met bedgebied geldt een zogenaamd 'horizontaal ontruimingsconcept'. Gebouwen met dergelijke gebruiksfuncties worden namelijk zodanig ingericht dat personen bij brand in het brandcompartiment naar een veilige plaats elders in het gebouw (een ander brandcompartiment) kunnen worden gebracht. Volgens de integrale nota van toelichting van Bouwbesluit 2012 geldt als uitgangspunt dat de door de brand bedreigde personen binnen 15 minuten na alarmering zonder hulp van de brandweer moeten kunnen vluchten. Dit strookt ook met de visie op brandveiligheid van het toenmalige Ministerie van VROM (Ministerie van Volksgezondheid Ruimtelijke Ordening en Milieu, 2009). Vluchtroutes en (beschermde sub) brandcompartimenten zijn ervoor bedoeld om ontvluchting veilig te kunnen laten plaatsvinden. Tegelijk hebben (beschermde sub) brandcompartimenten als doel om personen gedurende enige tijd bescherming te bieden tegen brand elders in een brandcompartiment. Dit komt nog nadrukkelijker tot uiting in de voorschriften voor zogenaamde 'horizontale ontruiming' voor gebouwen met celfuncties en gezondheidszorgfunctie met bedgebied. Ook de implementatie van de *Handreiking – Brandveiligheid in hoge gebouwen* van SBRCURnet in het toekomstige Besluit bouwwerken leefomgeving per 1 januari 2023 (de opvolger van het Bouwbesluit 2012) leidt ertoe dat alternatieve ontruimingsconcepten, waarbij personen bij brand langer in een gebouw verblijven, in de bouwregelgeving worden geïmplementeerd. De stay-in-place-gedachte is dus reeds op enige wijze verdisconteerd in de voorschriften van het Bouwbesluit 2012 en wordt met de inwerkingtreding van het Bbl verder uitgebreid.

1.2 Hoe personen in de praktijk vluchten

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 evacuatie 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 op basis van die signalen en vervolgens een besluit nemen over wat te doen. Factoren die de fases van dit besluitvormingsproces beïnvloeden zijn 1) factoren die beïnvloeden of het individu een signaal waarneemt, 2) factoren die van invloed zijn op wat voor soort interpretatie van de situatie en het risico het individu vormt en 3) 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: 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 evacuatie routes in een gebouw kan daarentegen de kans kan dat een bewoner de situatie als risicovol interpreteert juist verkleinen.

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 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 is 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 over 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).

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 (Brandweeracademie, 2020b; Garrett, 1999; Wales, Thompson, Hulse, & Galea, 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).

1.3 De toepassing van het stay-put- en stay-in-place-concept

In deze paragraaf worden de verschillende manieren besproken waarop personen bij brand in een gebouw kunnen verblijven. Deze vormen worden al in meer of mindere mate toegepast in verschillende landen en bij verschillende soorten gebruik van een gebouw. De volgende vormen worden hieronder achtereenvolgens behandeld:

- > stay-in-place
- > stay-put
- > defend-in-place.

1.3.1 Stay-in-place

Bij een stay-in-place-concept wordt alleen het brandende compartiment ontvlucht of worden, indien de personen hulp nodig hebben bij het vluchten, de personen geëvacueerd die

aanwezig zijn in het compartiment waar de brand is². Daarbuiten blijven de bewoners gedurende het hele incident in hun eigen compartiment. Dit betekent dat in die laatste compartimenten de beschikbare veilige tijd (AST) ten minste gelijk moet zijn aan de brandduur.³

De definitie die in dit onderzoek wordt gebruikt voor het stay-in-place-concept is vastgelegd in paragraaf 2.2.1.

1.3.2 Stay-put

Stay-put is een evacuatiestrategie die wordt toegepast in flatgebouwen in onder meer Engeland. Stay-put heeft als doel om de veiligheid van personen te waarborgen die zich in een gebied bevinden dat niet direct door de brand is getroffen. Wanneer in hun eigen woning geen brand is, worden bewoners geacht binnenblijven met de deuren en ramen gesloten, totdat de brandweer en andere reddingsdiensten melden dat zij de woning kunnen verlaten. Degenen die willen vertrekken, zijn echter niet wettelijk verplicht om te blijven zitten.⁴ Als er brand ontstaat in een woning of in gemeenschappelijke delen van een gebouw, dienen respectievelijk bewoners van de brandwoning of alle bewoners het gebouw te verlaten en de brandweer en reddingsdiensten te bellen.⁵

De behoefte aan deze strategie is ontstaan na de Tweede Wereldoorlog. In Engeland waren hoge woongebouwen in opkomst, waarbij brandbestrijding en evacuatie niet meer vanaf de buitenzijde mogelijk waren. Daarom zocht men naar een mogelijkheid om personen veilig in het gebouw te laten verblijven tot de brand geblust was of totdat een veilige evacuatie mogelijk was. De oplossing werd gevonden in het uitvoeren van de appartementen als afzonderlijke brandcompartimenten. In 1962 werd dit principe van compartimentering en het stay-put-concept in de wetgeving verankerd (ATGB, 2020).

Een alternatief voor stay-put is gelijktijdige evacuatie, waarbij bewoners allemaal tegelijk worden geëvacueerd, maar dit vereist een detectie- en alarmeringssysteem om iedereen in het gebouw te informeren⁶. Voordelen van de stay-put-strategie zijn⁷:

- > Ze verlicht de evacuatiebelasting op trappenhuisen.
- > Minder zelfredzame personen worden niet blootgesteld aan risico's tijdens een evacuatie.

Nadelen van deze strategie zijn⁸:

- > Bewoners zijn over het algemeen niet opgeleid of gekwalificeerd om hun eigen risicobeoordelingen te maken. Ze proberen vaak pas te vluchten als het te laat is.
- > Deze strategie gaat uit van een snelle beheersing van het incident door de hulpdiensten.
- > Als een incident escaleert, is het mogelijk dat bewoners die aanvankelijk 'op hun plek bleven' moeten worden geëvacueerd vanwege rook en/of branduitbreiding. Dit vraagt om beschikbare middelen van en tijd voor de aanwezige hulpdiensten.
- > Stay-put is volledig afhankelijk van een hoog en goed onderhouden niveau van brandveiligheidsmaatregelen en compartimentering.

² <https://www.dezorgbrandveilig.nl/nieuws/het-nieuwe-ontruimingsconcept-bij-brand-%E2%80%98stay-place%E2%80%99>.

³ <https://www.brandveilig.com/nieuws/stay-in-place-robust-concept-voor-de-toekomst-67606>.

⁴ <https://www.scutumlondon.co.uk/help-advice/what-is-the-stay-put-policy/>.

⁵ <https://fire-risk-assessment-network.com/blog/stay-put-policy/>.

⁶ <https://www.scutumlondon.co.uk/help-advice/what-is-the-stay-put-policy/>.

⁷ <https://www.highrisefirefighting.co.uk/evac.html>.

⁸ <https://www.highrisefirefighting.co.uk/evac.html>.

1.3.3 Defend-in-place

Defend-in-place houdt in dat bewoners afgeschermd worden van vuur en rook door hen te verplaatsen naar een ander compartiment, terwijl de hulpdiensten vervolgens op de situatie reageren.⁹ Defend-in-place wordt gebruikt om het aantal personen dat evacueert te minimaliseren. Degenen die van mening zijn dat ze geen direct risico lopen door brand of rook, blijven in hun compartiment en maken gebruik van de brandveiligheidsmaatregelen van het gebouw totdat de hulpdiensten klaar zijn met hun inzet. Bewoners die denken dat zij in het risicogebied zitten, moeten wel evacueren.¹⁰

Ook voor branden in hoogbouw wordt de defend-in-place-strategie als mogelijke oplossing gezien. Deze strategie wordt omschreven als meest geschikte optie in geval van woongebouwen wanneer deze voldoen aan een aantal kenmerken:

1. Het gebouw bestaat uit meer dan zes verdiepingen (de evacuatie van laagbouw gaat namelijk sneller).
2. Het gebouw is residentieel, inclusief afgesloten compartimenten waar middelen beschikbaar zijn voor defend-in-place.
3. Het gebouw is gemaakt van een onbrandbare constructie.
4. Een alarmsysteem informeert de bewoners over de brand.
5. Een spraakgestuurd communicatiesysteem geeft de bewoners informatie over de ontwikkeling van de brand en adviseert de bewoners over de te ondernemen acties (Proulx, 2001).

De effectiviteit van deze strategie wordt sterk beïnvloed door de communicatie tussen bewoners en hulpdiensten. In de praktijk blijkt dat een gebrek aan informatie over de gewenste acties door bewoners een van de belangrijkste factoren is die kan ervoor zorgen dat deze strategie faalt (dat wil zeggen: de bewoners blijven niet in hun appartementen waardoor doden vallen) (Ronchi & Nilsson, 2013).

In België wordt het defend-in-place-concept toegepast in ouderenvoorzieningen met open woonconcepten (hierbij zijn de kamers gelegen aan een verkeersruimte waarin ook een woonkamer aanwezig is). Bewoners van woonzorgcentra zijn vaak niet zelfredzaam en zijn voor hun evacuatie aangewezen op de hulp van anderen. Defend-in-place blijkt, gezien het mogelijk beperkte aantal personeelsleden in de daluren, in veel gevallen een volwaardig alternatief te zijn voor een evacuatiestrategie waarbij men onmiddellijk overgaat tot evacuatie uit de kamers van de bewoners (VIPA 2016).

In Nederland wordt een defend-in-place-concept toegepast bij gezondheidszorgfuncties met bedgebied. Een brandcompartiment met bedgebied mag niet groter zijn dan 77 % van de gebruiksoppervlakte van de bouwlaag waarop het brandcompartiment met bedgebied ligt (Bouwbesluit 2012 artikel 2.83 lid 10). Door deze eis kunnen personen horizontaal verplaatst worden naar een ander brandcompartiment, zodat ze daar enige tijd beschermd zijn tegen de brand.

⁹ <https://www.lawinsider.com/dictionary/defend-in-place>.

¹⁰ <https://www.highrisefirefighting.co.uk/evac.html>.

1.4 Behoeftte aan stay-in-place

Er zijn een aantal ontwikkelingen die bijdragen aan de toegenomen behoefte aan een stay-in-place-concept. Deze worden hieronder besproken.

1.4.1 Vergrijzing en veranderende demografische trends

Ongeveer een op de vijf personen in de meeste industriële samenlevingen heeft een handicap en dit percentage zal, gezien de huidige demografische trends met betrekking tot veroudering en obesitas, in de toekomst waarschijnlijk toenemen (Geoerg et al., 2019). Samen met een grotere toegankelijkheid van gebouwen betekent dit dat de populaties in woongebouwen steeds diverser worden. Het aantal ouderen zal blijven toenemen, mede door verbeterde gezondheidszorg. In 2021 was 19,8 % van de bevolking in Nederland 65 jaar of ouder.¹¹ De verwachting is dat dit aantal in 2040 zal toenemen tot ruim 26 % van de Nederlandse bevolking (Hagen & Van Zoonen, 2015). Bovendien zullen meer ouderen zelfstandig blijven wonen in plaats van naar een verpleeghuis te verhuizen. Mede hierdoor stijgt ook het aantal zelfstandig wonende personen met fysieke of mentale beperkingen aanzienlijk.¹² Door de verminderde zelfredzaamheid van deze personen is het belangrijk om snel te handelen, omdat zij in geval van brand meer moeite zullen hebben met het ontvluchten van hun woning. Door deze ontwikkelingen ontstaat een kwetsbaarheid waar het gaat om brandveiligheid (Halvorsen, Almklov, & Gjørsund, 2017).

Uit onderzoek van de Brandweeracademie (Brandweeracademie, 2021b) blijkt dat in de gebouwen met bewoners die ouder zijn dan 50 jaar, een deel van de bewoners beperkt mobiel is en gebruikmaakt van hulpmiddelen als rollators of scootmobielen. Evenals automatische deuren, ondersteunen deze voorzieningen de zelfredzaamheid van bewoners in een dagelijkse situatie. Zij zijn echter niet altijd te gebruiken in geval van brand. Ook kunnen zij brandgevaar opleveren, bijdragen aan rookverspreiding of een belemmering vormen tijdens het vluchten. Daarnaast zijn bewoners zonder deze hulpmiddelen niet of slechts beperkt in staat om tijdig te vluchten in geval van brand.

1.4.2 Hoogbouw

Hoe hoger een gebouw is, des te groter ook de kans is dat personen een gebouw niet meer zelfstandig binnen 15 minuten kunnen ontvluchten. Daarnaast wordt het informeren en alarmeren van de aanwezige personen complexer. Wanneer personen meer tijd nodig hebben om het gebouw te ontvluchten, kan dit tot gevolg hebben dat personen nog vluchten in de trappenhuizen op het moment dat de brandweer de trappenhuizen wil gebruiken voor hun inzet. Bij hogere gebouwen zijn dus een aantal factoren aanwezig waarbij de basis van het ontvluchtingsconcept uit het Bouwbesluit / Bbl niet meer overeenkomt met de praktijk. Een stay-in-place-concept kan hiervoor een mogelijke oplossing zijn.

1.4.3 Samengevat

Ongeveer een op de vijf personen in de meeste industriële samenlevingen heeft een handicap en dit percentage zal, gezien de huidige demografische trends met betrekking tot veroudering en obesitas, in de toekomst waarschijnlijk toenemen (Geoerg et al., 2019). Samen met een grotere toegankelijkheid van gebouwen betekent dit dat de populaties in

¹¹ <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/37296ned/table>.

¹² NBS_EFSAP_0308.indd (europeanfiresafetyalliance.org).

woongebouwen steeds diverser worden. Met andere woorden: we kunnen er niet meer van uitgaan dat in woongebouwen uitsluitend weerbare en fitte bewoners wonen. Ook de toename van hoogbouw vraagt om een herijking van de huidige vluchtconcepten. De vraag die gesteld kan worden, is in hoeverre deze vluchtconcepten nog voldoende aansluiten op wat in het kader van de beschreven trends noodzakelijk is. Vandaar dat in dit onderzoek ook andere concepten dan een ontvluchtingsconcept worden beschouwd. Een stay-in-place-concept zou een mogelijke optie kunnen zijn wanneer een ontvluchtingsconcept niet mogelijk is.

1.5 Rookverspreiding bij woningbranden

Uit onderzoek naar reddingen bij brand (Brandweeracademie, 2020a), 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).

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

- > temperatuurverschillen tussen de rook en de omgevingslucht
- > het schoorsteeneffect
- > winddruk
- > een expansie van gassen door opwarming
- > de aanwezigheid en de werking van ventilatiesystemen.

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

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

Bij woningen gelegen aan een niet-besloten galerij geldt dat de rook zich enkel via de woningen onderling kan verspreiden (via naden en kieren, kanalen en schachten). Bij woongebouwen met inpandige gangen kan rook zich bij een brand in de woning ook verspreiden naar de inpandige gang. Deze rook kan dan de vluchtweg blokkeren van andere woningen die aan die gang zijn gelegen. De rook kan zich ook via de gang naar andere woningen verspreiden. Woongebouwen met inpandige gangen (corridors) komen – in tegenstelling tot woongebouwen zonder inpandige gangen – relatief vaak voor in praktijkcasussen omtrent rookverspreiding (Brandweeracademie & Brandweer Nederland, 2017, 2019). De woongebouwen met inpandige gangen lijken extra risico's voor rookverspreiding te hebben ten opzichte van woongebouwen zonder inpandige gangen.

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). Bij alle experimenten bleek sprake te zijn van rookverspreiding buiten de brandruimte via diverse routes. Hierbij ging het om zowel horizontale als verticale rookverspreiding naar verschillende ruimten in het woongebouw. In het onderzoek heeft er meer rookverspreiding horizontaal plaatsgevonden dan verticaal. Hoewel er bij veel testen op andere verdiepingen rookverspreiding is geconstateerd, waren de visueel waargenomen hoeveelheden en gemeten concentraties gassen 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. Wel is zeker dat er bij een brand in slechts een deel van één bank in één ruimte op meerdere plaatsen in het woongebouw een risicovolle situatie kan ontstaan.

Iedere opening tussen ruimten heeft rookverspreiding tot gevolg, waarbij een grote opening voor snellere en grotere hoeveelheden rookverspreiding zorgt. Rookverspreiding in het algemeen vond hoofdzakelijk plaats via (open) deuren, ventilatiekanalen en wandcontactdozen. Horizontale rookverspreiding vond vooral plaats via deuren: de meeste rookver-

spreiding was zichtbaar bij openstaande deuren of bij het openen van deuren. Verticale rookverspreiding geschiedde vooral via ventilatiekanalen en wandcontactdozen.

De (mate van) rookverspreiding wordt beïnvloed door de onderstaande factoren.

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

1.6 Effecten van brand en rook op personen

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

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

De invloed van deze brandcondities op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden van personen wordt uitgebreid beschreven in het onderzoek naar rookverspreiding in woongebouwen (Brandweeracademie, 2020b, paragraaf 1.3.4). Voor diepgaandere informatie over dit onderwerp kan dat onderzoek geraadpleegd worden.

2 Onderzoeksopzet

In dit hoofdstuk wordt de opzet van het onderzoek toegelicht. Er wordt beschreven welke onderzoeksmethode is toegepast en welke keuzes daarbij zijn gemaakt.

2.1 Methode

Er is gebruikgemaakt van een (semi) kwantitatieve onderzoeksmethode met een vergelijking tussen de beschikbare veilige tijd (AST: Available Safe Time) en de benodigde veilige tijd (RST: Required Safe Time). Deze methode wordt voor twee verschillende onderwerpen gebruikt:

- > persoonlijke veiligheid (in relatie tot rookverspreiding)
- > thermische belasting van constructies en scheidingen.

De uitvoering van de AST-RST-analyse bij deze twee onderwerpen wordt beschreven in paragraaf 2.3 en 2.4. Het onderwerp 'persoonlijke veiligheid' is zowel van belang bij het ontvluchtingsconcept als bij het stay-in-place-concept. Het gaat immers zowel om rookverspreiding naar de vluchtroutes, als om rookverspreiding naar andere woningen (brandcompartimenten). De thermische belasting van constructie en scheidingen wordt alleen beschouwd bij het stay-in-place-concept.

2.1.1 Persoonlijke veiligheid

Op basis van de rookverspreiding wordt de beschikbare veilige tijd in vluchtroutes (beschikbare veilige vluchttijd) en brandcompartimenten (beschikbare veilige verblijftijd) bepaald aan de hand van acceptabele condities (toetscriteria). De benodigde veilige tijd voor gebouwgebruikers (bewoners) wordt bepaald door de snelheid van de ontvluchting of ontruiming in geval van een ontvluchtingsconcept (benodigde veilige vluchttijd) en door de tijd die personen gedurende de brand in hun woning moeten kunnen verblijven in geval van een stay-in-place-concept (benodigde veilige verblijftijd). De rookverspreiding wordt inzichtelijk gemaakt met behulp van zone-simulaties.

Door de beschikbare veilige tijd (AST) te vergelijken met de benodigde veilige tijd (RST) kan per situatie het veiligheidsniveau voor gebouwgebruikers (bewoners) worden beoordeeld. Hoe groter het interval AST-RST is, hoe hoger het veiligheidsniveau. Daarbij wordt niet alleen gekeken naar het exacte interval AST-RST, maar ook naar de kans dat $AST > RST$. Dit noemen we de betrouwbaarheid dat de beschikbare veilige tijd groter is dan de benodigde veilige tijd.

Ook voor voorzieningen of maatregelen kan de AST bepaald en vergeleken worden met de situatie zonder maatregelen, zodat antwoorden op de onderzoeksvragen gegeven kunnen worden.

2.1.2 Thermische belasting van constructie en scheidingen

Bij een stay-in-place-concept geldt dat personen veilig in het gebouw moeten kunnen verblijven gedurende de duur van de brand waarbij de constructie en brandwerende

scheidingen in stand moeten blijven. Aanvullend op de AST-RST-analyse wordt voor het stay-in-place-concept daarom de thermische belasting van constructies en brandwerende scheidingen in het gebouw geanalyseerd. In paragraaf 2.4 wordt dit nader toegelicht.

Op basis van de thermische belasting bij een natuurlijke brand wordt met behulp van de equivalente brandduur de benodigde brandwerendheid (met betrekking tot bezwijken) van de constructie en de brandwerende scheidingen beoordeeld (in minuten standaard brandkromme). De betrouwbaarheid van de constructie en scheidingen wordt hierbij vergeleken met de betrouwbaarheid van de constructie en scheidingen bij een gebouw volgens het Bouwbesluit / Bbl met een ontvluchtingsconcept. Hierbij wordt voor het ontvluchtingsconcept uitgegaan van een ontvluchtingstijd van 30 minuten (15 minuten detectie- en alarmeringstijd en 15 minuten vluchttijd via de vluchtroutes).

2.1.3 Menselijk gedrag

Naast een (semi) kwantitatieve onderzoeksmethode op basis van rookverspreiding zal ook kwalitatief beoordeeld worden wat de invloed van menselijk gedrag is op het ontvluchtings- of stay-in-place-concept. Waar mogelijk wordt het gevolg van afwijkend gedrag in beeld gebracht met behulp van zone-simulaties. Hierbij wordt gekeken naar de invloed van het menselijk gedrag op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden van personen in het gebouw.

2.2 Randvoorwaarden

In deze paragraaf worden de algemene randvoorwaarden weergegeven. Deze randvoorwaarden beschrijven de kaders die voor het onderzoek zijn vastgesteld waarbinnen de simulaties en analyses zijn uitgevoerd.

2.2.1 Definities stay-in-place en ontvluchtingsconcept

In dit rapport worden de twee uitersten wat betreft strategieën besproken: het ontvluchtingsconcept en het stay-in-place-concept. Door deze twee uitersten te kiezen komt zo scherp mogelijk in beeld wat de verschillen zijn tussen de verschillende strategieën die beschreven zijn in paragraaf 1.3. De definities van de in dit rapport aangehouden concepten zijn als volgt:

- > **Ontvluchtingsconcept:** bij een ontvluchtingsconcept is het uitgangspunt dat wanneer er brand is in het woongebouw, alle aanwezige personen het gebouw gaan ontvluchten.
- > **Stay-in-place-concept:** bij een stay-in-place-concept ontvluchten personen de brandruimte en verblijven de personen in andere woningen gedurende de gehele brand in de eigen woning.

2.2.2 Gebouwtypen

Als referentie is in dit onderzoek gekozen voor de volgende drie gebouwtypen:

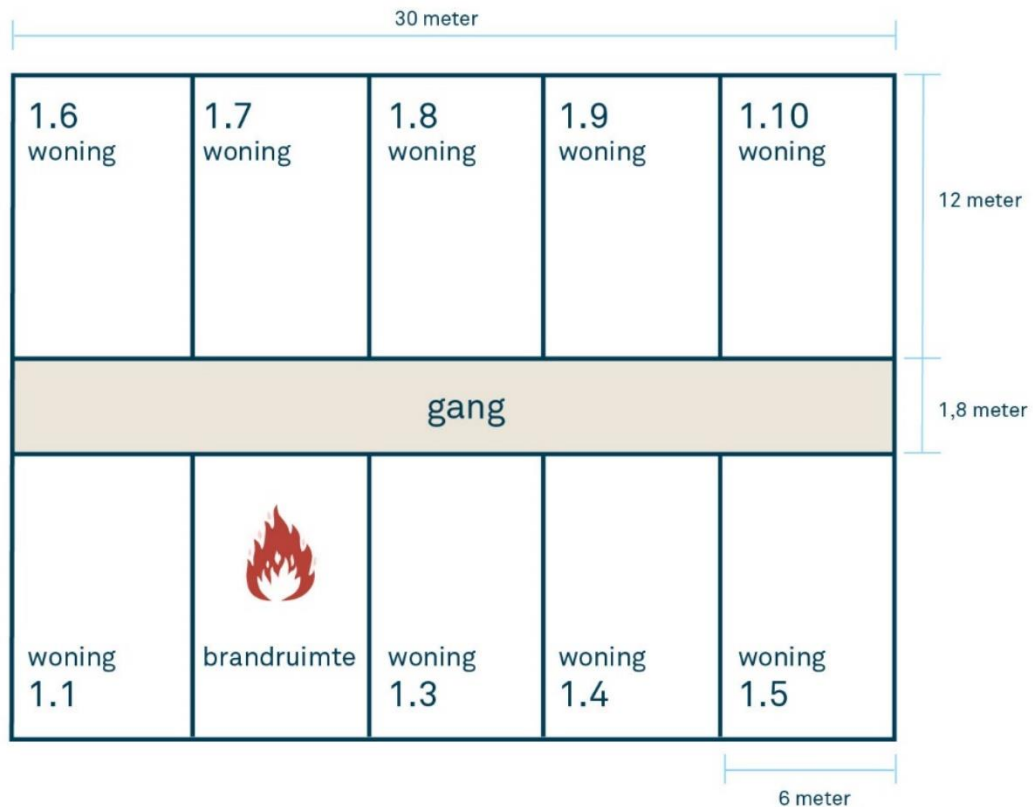
1. woongebouw met corridorontsluiting (of kortweg: corridor)
2. woongebouw met een door vides gekoppelde verkeersruimte (of kortweg: corridor met vide)
3. woongebouw met ontsluiting via een atrium (of kortweg: atrium).

Er is uitgegaan van veelvoorkomende indelingen van woongebouwen. Daarbij is als uitgangspunt gehanteerd dat deze gebouwen voldoen aan het niveau nieuwbouw van het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl) overeenkomstig met gestelde ATGB-uitvragen.

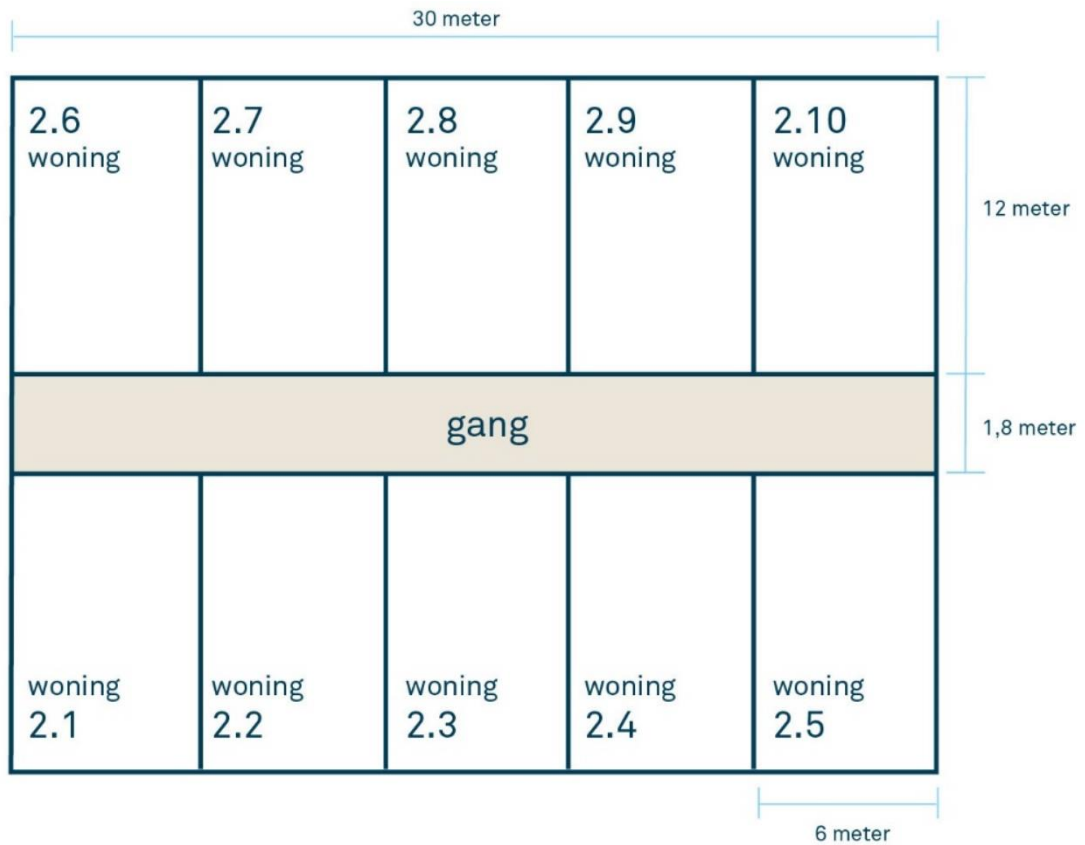
Daarmee kan ook het aantal variabelen in de (semi) kwantitatieve methode beperkt blijven. Bij bestaande bouw en verbouw kan gezien de aanwezigheid van bestaande constructieonderdelen immers sprake zijn van een scala aan verschillende uitgangspunten voor wat betreft lucht- en rookdichtheid van (beschermde sub)brandcompartimenten.

Woongebouw met corridorontsluiting

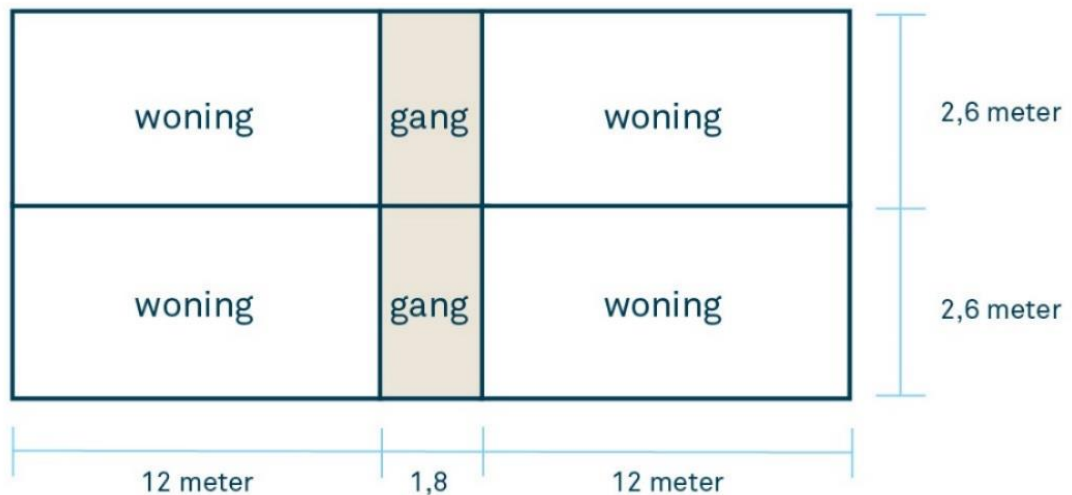
Bij het woongebouw met corridorontsluiting is gekozen voor twee willekeurig bouwlagen uit een woongebouw dat uit meerdere bouwlagen bestaat. Het betreft de indeling die is weergegeven in figuur 2.1 tot en met figuur 2.3.



Figuur 2.1 Woongebouw met corridorontsluiting plattegrond bouwlaag 1



Figuur 2.2 Woongebouw met corridorontsluiting plattegrond bouwlaag 2



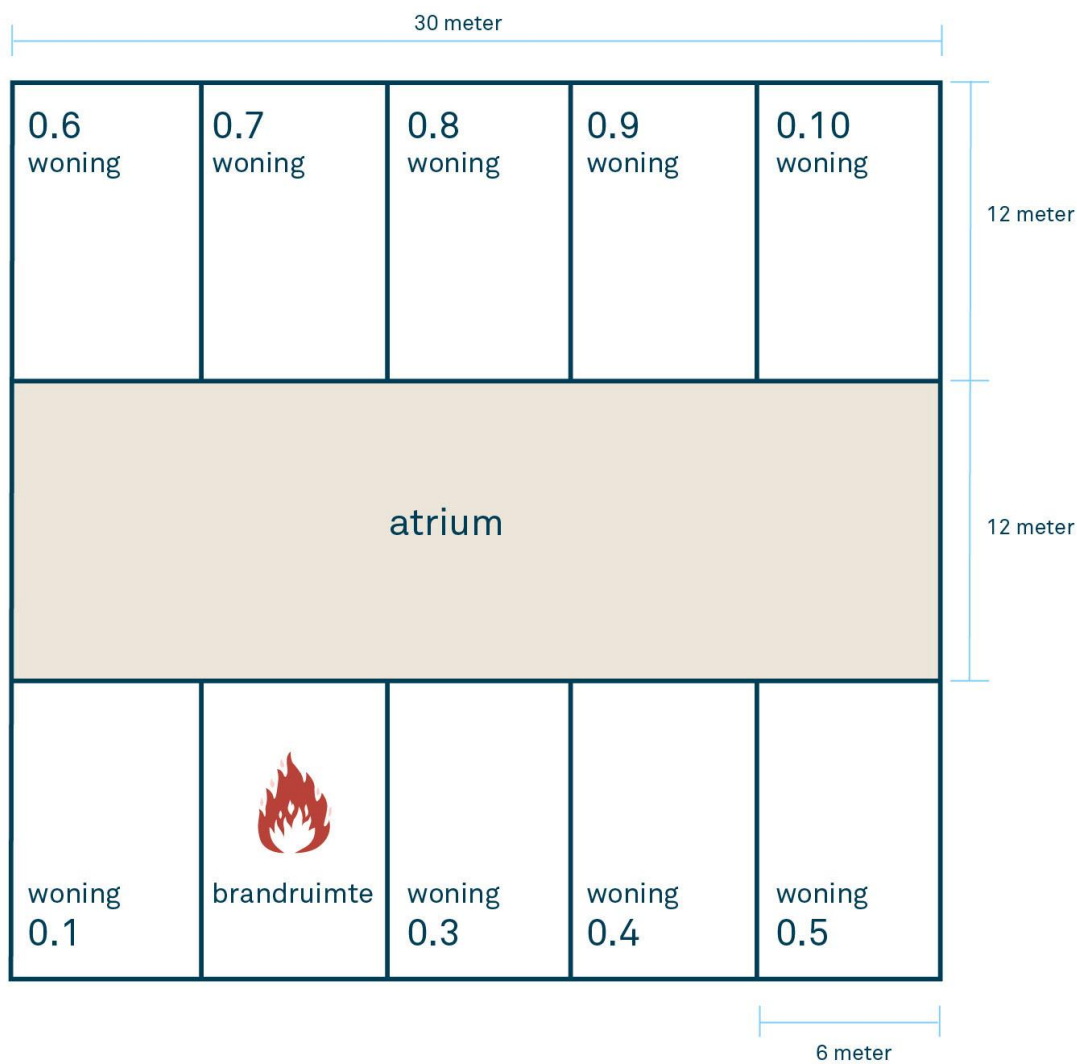
Figuur 2.3 Woongebouw met corridorontsluiting doorsnede

Woongebouw met corridorontsluiting met gekoppelde vides

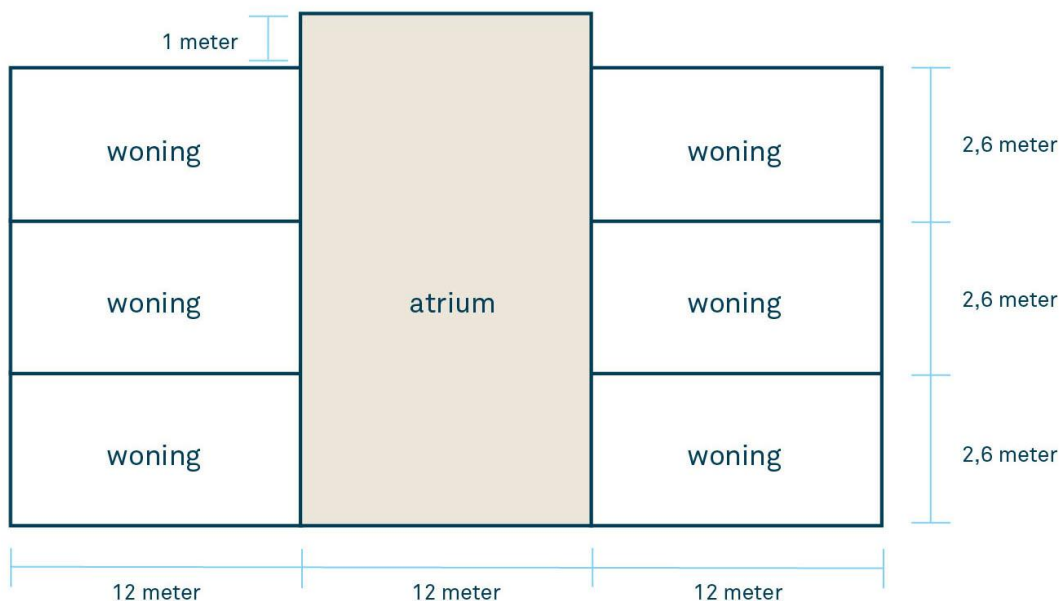
Bij het woongebouw met door vides gekoppelde verkeersruimte is uitgegaan van eenzelfde indeling als voor het woongebouw met corridorontsluiting. Het enige verschil hierbij is dat door de vides beide gangen over twee bouwlagen met elkaar in open verbinding staan (25 % van het vloeroppervlak van de gang is een opening).

Woongebouw met ontsluiting via een atrium

Bij het woongebouw met ontsluiting via een atrium is gekozen voor een woongebouw van drie bouwlagen. De bovenzijde van het atrium steekt één meter boven het hoogste punt van de woningen uit. Het atrium heeft dezelfde diepte als de woningen. Dit geeft de volgende indeling (zie figuur 2.4 en figuur 2.5). Bouwlaag 2 en 3 hebben dezelfde indeling als bouwlaag 1.



Figuur 2.4 Woongebouw met ontsluiting via een atrium plattegrond bouwlaag 0



Figuur 2.5 Woongebouw met ontsluiting via een atrium doorsnede

2.2.3 Locatie brand en brandscenario

In de zone-simulaties wordt uitgegaan van een brand in een woning op bouwlaag 1. Andere brandlocaties, zoals bijvoorbeeld in een woning op bouwlaag 2 of 3, in de vluchtroute, in het dak of de gevel, zijn niet beoordeeld.

In het onderzoek is gekozen om voor het brandscenario voor persoonlijke veiligheid uit te gaan van een ‘bank in brand’. Voor de brandkenmerken van dit brandscenario (zie paragraaf 2.3.1) is een validatiestudie gedaan aan de hand van de resultaten van praktijkexperimenten uit het onderzoek naar rookverspreiding in woongebouwen (Brandweeracademie, 2020b). In dit onderzoek is zeventien keer een bank gebruikt als brandobject. Het testgebouw uit dat onderzoek is gemodelleerd in het zone-simulatie-software-pakket Cfast. Met behulp van deze software is iteratief bepaald welke brandkenmerken resultaten geven die overeenkomen met de meetresultaten uit de experimenten. Deze brandkenmerken zijn vervolgens als uitgangspunt gehanteerd in dit onderzoek. Een nadere toelichting op de keuzes die hierbij gemaakt zijn, is beschreven in bijlage A.

Andersoortige brandscenario's bijvoorbeeld ten gevolge van de energietransitie zijn niet beoordeeld.

2.2.4 Simulaties

Voor de bepaling van de beschikbare veilige tijd (AST) ten gevolge van rookverspreiding worden zone-simulaties uitgevoerd met het zone-simulatie-software-pakket Cfast versie 7.7.2 (NIST, 2021). CFAST is een twee-zone simulatiemodel voor branduitbreiding en rookverspreiding van het National Institute of Standards and Technology (NIST).

Voor de bepaling van de thermische belasting van constructies en scheidingsen zijn simulaties met het zone-simulatie-software-pakket Ozone versie 3.0.4 gedaan. Ozone is een twee-zone simulatiemodel dat is ontwikkeld om de thermische belasting op de constructie bij een natuurlijke brand te kunnen bepalen (Cadorin, Pinte, & Franssen, 2001).

2.3 Persoonlijke veiligheid AST-RST

2.3.1 Uitgangspunten en variatie

In deze paragraaf worden de verschillende uitgangspunten (variabelen) en de bijbehorende variatie beschreven die zijn gebruikt voor de AST-RST-analyse. De onderbouwing hiervan is te vinden in bijlage A.

Gebouw- en installatiekenmerken

In de AST-RST-analyse zijn voor de drie gebouwtypen de gebouw- en installatiekenmerken zoals genoemd in tabel 2.1 gebruikt.

Tabel 2.1 Gebouw- en installatiekenmerken

Variabelen gebouw en installatie	Gemiddelde (μ)	Standaardafwijking (SD)
Oppervlakte woning (m ²) 5 woningen aan weerszijden van de gang	72 (6 x 12 m)	n.v.t.
Inwendige hoogte woning/gang (m)	2,6	n.v.t.
Afmetingen gang (m ²)	54 (1,8 x 30 m)	n.v.t.
Afmetingen vides gang (m ²)	13,5 (25 % van gangoppervlak)	n.v.t.
Afmetingen Atrium (m ²)	360 (12 x 30 m)	n.v.t.
Hoogte atrium (m)	Bovenzijde atrium 1 m boven de bovenste bouwlaag	n.v.t.
Openingen gevel	Gesloten	n.v.t.
Luchtdichtheid van bouwdelen brandruimte (equivalent lekkageoppervlak op basis van 20 Pa drukverschil)		
> Buitengevel [m ²]	0,0168	
> Woningscheidende wand [m ²]	0,0084	
> Wand woning / gang [m ²]	0,0168	
> Deur woning / gang [m ²]	0,0015	
> Vloer / plafond [m ²]	0,0084	
Luchtdichtheid van overige bouwdelen (lekkageoppervlak op basis van 10 Pa drukverschil)		
> Buitengevel [m ²]	0,0137	
> Woningscheidende wand [m ²]	0,0068	
> Wand woning / gang [m ²]	0,0137	
> Deur woning / gang [m ²]	0,0021	
> Vloer / plafond [m ²]	0,0068	
De variatie wordt toegepast als factor op de externe en op de inwendige luchtdichtheden. Hiervoor geldt:		
> Factor externe luchtdichtheid (ref = 1)		-0,7, +0,7
> Factor inwendige luchtdichtheid (ref = 1)		-0,5, +1,5

Variabelen gebouw en installatie	Gemiddelde (μ)	Standaardafwijking (SD)
Deur brandruimte:		
> Tijdstip openen (s)	120	-60, +180
> Opening fractie (%)	90	n.v.t.
> Openingstijd (s)	20	-10, +40
Deuren overige woningen open / gesloten	Continu gesloten	Discreet ¹³ op basis van analyse van menselijk gedrag
Uitvoering wanden, vloer en plafond (beton):		
> Dichtheid [kg/m^3]	2400	n.v.t.
> Geleidingscoëfficiënt [$\text{kW}/\text{m}^{\circ}\text{C}$]	0,002	n.v.t.
> Warmtecapaciteit [$\text{kJ}/\text{kg}^{\circ}\text{K}$]	0,9	n.v.t.
> Dikte [m]	0,3	n.v.t.
Debiet mechanische ventilatie:		
> Brandruimte [dm^3/s]	0 (uitgangspunt falen ventilatie)	n.v.t.
> Overige woningen [dm^3/s]	50,4	n.v.t.
> Gang [dm^3/s]	27	n.v.t.
> Atrium [dm^3/s]	180	n.v.t.

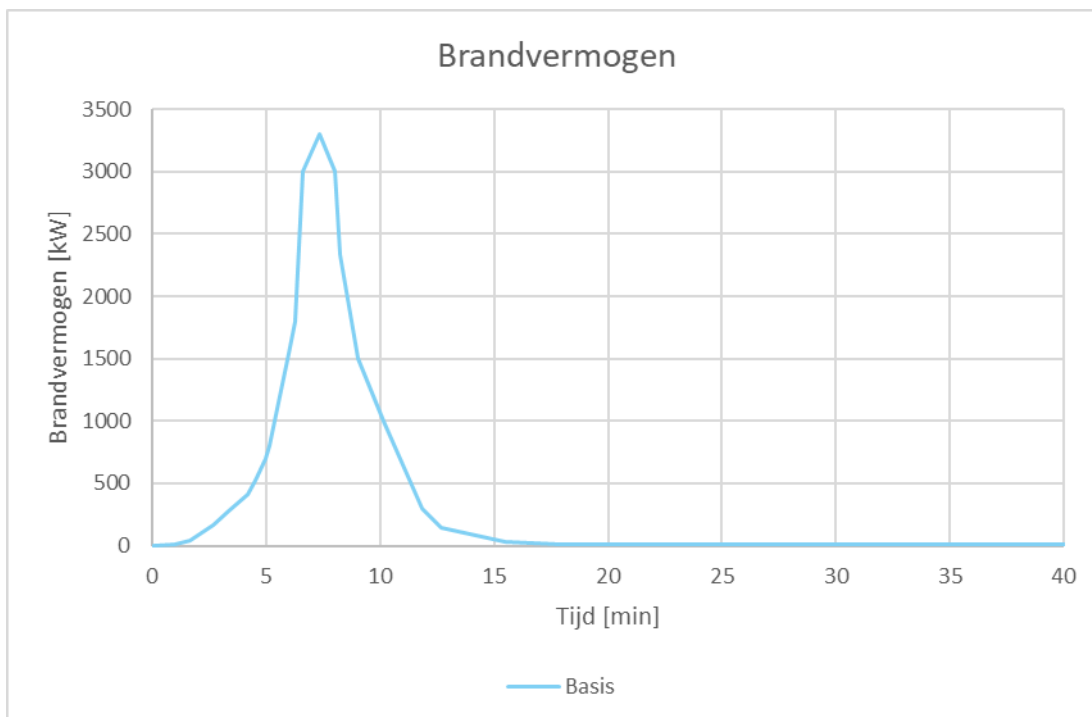
Brandkenmerken

Voor de drie gebouwtypen zijn de brandkenmerken zoals genoemd in tabel 2.2 gebruikt in de AST-RST-analyse.

¹³ Een discrete variatie betekent dat een of meerdere verschillende uitgangspunten zijn gekozen. Bij een discrete variatie is niet gewerkt met een kansverdeling.

Tabel 2.2 Brandkenmerken

Variabelen brandkenmerken	Gemiddelde (μ)	Standaardafwijking (SD)
Ruimte brandhaard	Brand in woning	n.v.t.
Positie brandhaard	Midden van de woning	n.v.t.
Brandscenario object (bank)		
> Brandvermogenscurve bank	Zie figuur 2.6	
> Referentievermogensdichtheid (kW/m ²)	1000	n.v.t.
<p>Variatie wordt toegepast op de brandvermogenscurve, zowel in tijd als in vermogen. Hierbij zijn de volgende keuzes gemaakt:</p>		
> Factor van de tijd waarop het brandvermogen vrijkomt (ref = 1)		-0,3, +0,3
> Factor van de hoogte van het brandvermogen (ref = 1)		-0,3, +0,3
<p>Parameters brand:</p>		
> Hoogte (m)	0,5	-0,25, +0,25
> Lower oxygen limit	0,08	-0,03, +0,07
> Radiatieve fractie	0,3	-0,06, +0,06
> 2 / 1-zone	Brandruimte: Gestratificeerd (2-zone) Overige ruimten: Gemengd (1-zone)	n.v.t.
<p>Brandstofeigenschappen:</p>		
> Structuurformule	CH _{1.8} O _{0.3} N _{0.05} (PUR GM21)	n.v.t.
> Verbrandingswarmte (MJ/kg)	23	-6,9, +3,45
> CO-yield brandstof gecontroleerd (kg/kg)	0,025	
> CO-yield zuurstof gecontroleerd (kg/kg)	0,25	
> Soot-yield brandstof gecontroleerd (kg/kg)	0,01	
> Soot-yield zuurstof gecontroleerd (kg/kg)	0,05	
<p>Voor de variatie van de yields is middels een factor een variatie toegekend aan de beide CO-yields en aan de beide soot-yields. Hiervoor geldt het volgende:</p>		
> Factor CO-yield (ref = 1)		-0,3, +1
> Factor soot-yield (ref = 1)		-0,3, +1



Figuur 2.6 Brandvermogenscurve object (bank)

Menskenmerken ontvluchtingsconcept

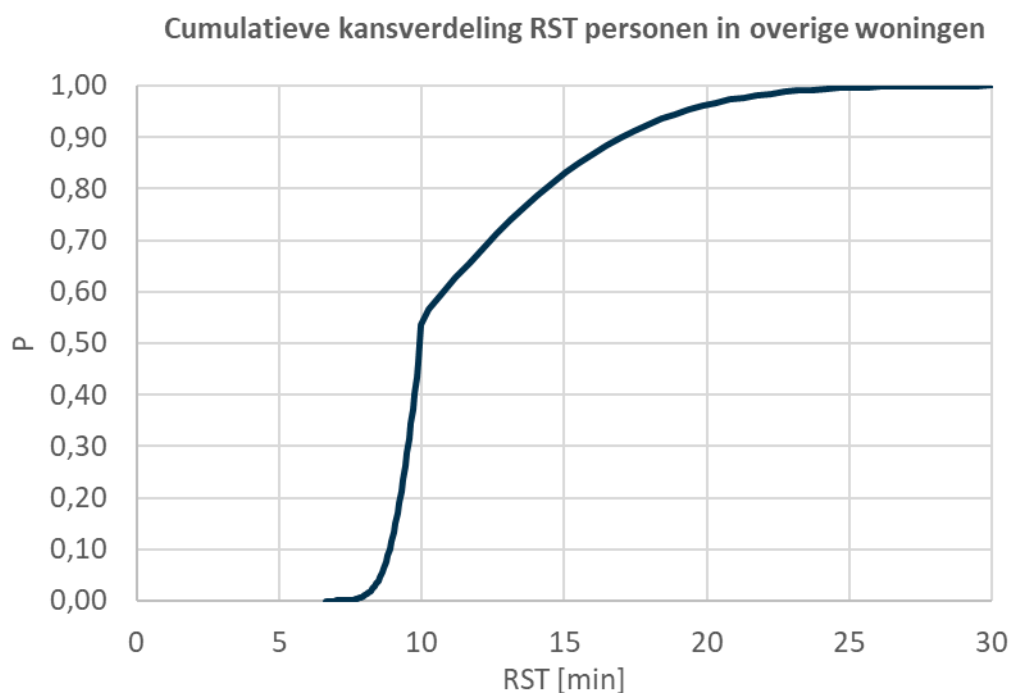
Voor het moment van vluchten uit de woning waar de brand zich bevindt, wordt uitgegaan van gemiddeld twee minuten na het ontstaan van de brand en varieert tussen één en vijf minuten.

Voor het ontvluchten uit de overige woningen is uitgegaan van een gemiddelde van tien minuten. Als eerste moment waarop personen starten met het vluchten uit een woning waar geen brand is, is gekozen voor vijf minuten na het ontstaan van de brand. Voor de spreiding rechts van het gemiddelde is gekozen voor een 80 % karakteristieke waarde van ongeveer 15 minuten (in 80 % van de gevallen zijn personen binnen 15 minuten de woning ontvlucht). De benodigde veilige vluchttijd (RST) is gelijk gehouden voor alle doelgroepen en gebouwtypen. Dit geeft de uitgangspunten voor de RST bij het ontvluchtingsconcept in tabel 2.3.

Tabel 2.3 RST bij het ontvluchtingsconcept

Gebouwtype	RST [min]	
	Gemiddelde (μ)	Standaardafwijking (SD)
Alle typen	10,0	-0,8, +5,9

De cumulatieve kansverdeling die hoort bij deze uitgangspunten is weergegeven in figuur 2.7.



Figuur 2.7 Cumulatieve kansverdeling RST personen in overige woningen

Voor de brandcondities ‘verstikkende gassen’ en ‘warmte’ geldt een dosisbenadering voor de vluchtmogelijkheden (de hoeveelheid warmte of verstikkende gassen die gedurende een bepaalde tijd wordt opgelopen bepaalt de vluchtmogelijkheden), zie hiervoor paragraaf 2.3.2. In deze dosisbenadering is uitgegaan van een vluchttijd van twee minuten in de vluchtroute.

Menskenmerken stay-in-place-concept

Voor de benodigde veilige verblijftijd (RST) in de woningen waar geen brand is, is in dit onderzoek uitgegaan van 90 minuten. Personen moeten gedurende 90 minuten veilig in hun woning kunnen verblijven. De inzet van de brandweer voor de bestrijding van de brand en het afvoeren van de rook is in de simulaties niet meegenomen. Ook na 90 minuten kunnen verstikkende gassen nog in ruimten aanwezig zijn. Deze gassen verdwijnen niet zomaar uit deze ruimten, zelfs niet wanneer de brand zelf al uit is. Dit betekent dat een inzet van de brandweer nodig is om de condities in het gebouw voldoende snel weer leefbaar te maken, dit is echter niet in de simulaties meegenomen.

2.3.2 Toetscriteria AST persoonlijke veiligheid

In deze paragraaf worden de toetscriteria beschreven die zijn toegepast bij de beoordeling van de persoonlijke veiligheid in de AST-RST-analyse. De onderbouwing bij de keuzes voor deze toetscriteria is te vinden in bijlage A.

De toetscriteria in tabel 2.4 zijn de grenswaarden voor een voldoende veilige vluchttijd (AST) bij het ontvluchttingsconcept. De toetscriteria in tabel 2.5 zijn de grenswaarden voor een voldoende veilige verblijftijd bij een stay-in-place-concept. De grenswaarde bepalen daarmee de beschikbare veilige tijd (AST).

Tabel 2.4 Toetscriteria AST-RST-analyse ontvluchtingsconcept

Brandconditie	Methode	Doelgroep			Toelichting
		Algemeen	Kwetsbaar	Zeer kwetsbaar	
Verstikkende gassen	FED _{IN}	0,3	0,1	0,03	Bepaald voor verblijf in de woning + 2 minuten in de vluchtroute
Warmte	FED _{heat}	0,3	0,1	0,03	Bepaald voor verblijf in de woning + 2 minuten in de vluchtroute
Zicht	FEC _{smoke}	1	0,33	0,1	Bepaald voor de vluchtroute, niet voor de woning.

Tabel 2.5 Toetscriteria AST-RST-analyse stay-in-place-concept

Brandconditie	Methode	Doelgroep			Toelichting
		Algemeen	Kwetsbaar	Zeer kwetsbaar	
Verstikkende gassen	FED _{IN}	0,3	0,1	0,03	Bepaald voor verblijf in de woning
Warmte	FED _{heat}	0,3	0,1	0,03	Bepaald voor verblijf in de woning

Voor zowel het ontvluchtings- als het stay-in-place-concept zijn dezelfde grenswaarden aangehouden voor de brandcondities 'verstikkende gassen' en 'warmte'. Voor beide concepten gaat het hier om de overlevingsmogelijkheden; bij het ontvluchtingsconcept gedurende de ontvluchtingstijd en bij het stay-in-place-concept gedurende de totale brand. Bij het ontvluchtingsconcept is verder ook gekeken naar de brandconditie 'zicht'. Een beperkte zichtlengte in de vluchtroute kan immers zorgen voor belemmerde vluchtmogelijkheden. Bij het stay-in-place-concept is deze brandconditie niet getoetst als grenswaarde. Bij het stay-in-place-concept wordt in de bepaling van de beschikbare veilige tijd (AST) dus enkel gekeken naar de overlevingsmogelijkheden.

Bij zowel het ontvluchtingsconcept als het stay-in-place-concept geldt dat de brandruimte is uitgesloten van de bepaling van beschikbare veilige tijd (AST). In de bepaling van de beschikbare veilige tijd (AST) zijn uitsluitend de woningen waar de brand zich niet bevindt als uitgangspunt genomen. Ook voor het stay-in-place-concept geldt dus dat de brandruimte ontvlucht moet worden.

De toetscriteria worden, met uitzondering van de personen in de brandruimte, toegepast voor alle personen in het gebouw. In de analyse wordt de beschikbare veilige tijd bepaald voor de ruimte waar als eerste een grenswaarde wordt overschreden. In de beoordeling van de risico's van het ontvluchtings- en stay-in-place-concept wordt in hoofdstuk 5 en 6 naast dit individuele risico ook ingegaan op het groepsrisico bij specifieke maatregelen.

Verschillende personen kunnen een andere susceptibiliteit hebben voor de brandcondities verstikkende gassen, warmte of zicht. Susceptibiliteit is de mate waarin de brandcondities effect hebben op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden van de verschillende doelgroepen. Een persoon met longproblemen kan bijvoorbeeld eerder last krijgen van CO-intoxicatie en is dus gevoeliger voor de brandconditie 'verstikkende gassen'. Om rekening te houden met de verschillen tussen personen is in dit onderzoek uitgegaan van de volgende drie doelgroepen:

- > algemene doelgroep
- > kwetsbare doelgroep
- > zeer kwetsbare doelgroep.

De termen 'kwetsbaar' en 'zeer kwetsbaar' zijn een aanduiding voor de susceptibiliteit voor één van de brandcondities. Voor de kwetsbare doelgroep is gekozen voor een veiligheidsfactor van drie. Voor de zeer kwetsbare doelgroep is gekozen voor een veiligheidsfactor van tien. Deze veiligheidsfactoren voor de verschillende doelgroepen zijn gelijk aan die van de methode die is toegepast in het onderzoek naar rookverspreiding in woongebouwen (Brandweeracademie, 2020b).

Aanpassing tijdens verloop onderzoek

Gedurende het onderzoek is gebleken dat de rekenmethodiek voor de brandconditie 'warmte' (FED_{heat}) niet geschikt is voor langdurig verblijf bij lage temperaturen (lager dan de lichaamstemperatuur). Wanneer gedurende langere tijd sprake is van een temperatuur van 20 °C, kan de FED_{heat} in de rekenmethodiek namelijk oplopen. Uit de rekenresultaten blijkt bijvoorbeeld dat het toetscriterium voor de zeer kwetsbare doelgroep wordt overschreden wanneer deze gedurende 56,6 minuten in lucht van 20 °C verblijft. Dit is vanzelfsprekend geen reële uitkomst.

Er is daarom gecontroleerd welke temperaturen zich voordoen in de ruimten gedurende de brandduur. Met uitzondering van de brandruimte geldt dat er geen temperaturen boven de lichaamstemperatuur van personen voorkomen in deze ruimten. Om die reden is geconstateerd dat voor deze ruimten de brandconditie 'warmte' niet van invloed is op de vlucht- of overlevingsmogelijkheden. De FED_{heat} is daarom voor deze ruimten niet meegenomen in de bepaling van de beschikbare veilige tijd.

2.4 Thermische belasting AST-RST

2.4.1 Uitgangspunten en variatie

Bij de analyse voor de thermische belasting op de constructie en brandwerende scheidingsen zijn grotendeels dezelfde uitgangspunten gebruikt als bij de AST-RST-analyse voor persoonlijke veiligheid (zie paragraaf 2.3.1). Tevens zijn dezelfde gebouwenmerken gebruikt (zie tabel 2.1). Er is echter wel gekozen voor een andere brand: voor de thermische

belasting op de constructie en de scheidingen wordt als worst-case-scenario uitgegaan van een volledig ontwikkelde brand. Voor de openingen in de gevel is een openheid aangehouden waarbij de brand na flashover nog net brandstof beheerst is (worst case situatie voor de thermische belasting). Omdat is uitgegaan van een worst case situatie met een maximale thermische belasting op de constructie, is geen variatie voor de mate van openheid van de gevel toegepast. Voor de brand zijn verder de uitgangspunten en variaties zoals gegeven in tabel 2.6 gehanteerd. De onderbouwing voor deze keuzes is gegeven in bijlage B.

Tabel 2.6 Brandkenmerken

Parameters brand	Gemiddelde (μ)	Standaardafwijking (SD)
Brandscenario ruimte (T-square brand):		
> Referentievermogensdichtheid (kW/m ²)	250	+100, -75
> Vuurbelasting (MJ/m ²)	780	+110, -110
> Stoichiometrische constante (kg/kg) (cellulose brandstof C ₄ H ₆ O ₃)	1,27	+0,64, -0,32
> Verbrandingsefficiëntie (-)	0,8	+0,2, -0,2
> Tijdsconstante brandontwikkeling (s)	300	+75, -150

2.4.2 Toetscriteria thermische belasting

Voor het bepalen van de acceptabele betrouwbaarheid en daarmee de uitvoering van de constructie en scheidingen in het stay-in-place-concept zijn de toetscriteria uit gesteld tabel 2.7. De betrouwbaarheid van de constructie en scheidingen wordt voor het stay-in-place-concept vergeleken met de betrouwbaarheid van de constructie en scheidingen van een gebouw volgens het Bouwbesluit / Bbl met een ontvluchtingsconcept. Hierbij wordt uitgegaan van een ontvluchtingsduur van 30 minuten (15 minuten detectie- en alarmeringstijd en 15 minuten vluchttijd via de vluchtroutes) bij het ontvluchtingsconcept.

Tabel 2.7 Toetscriteria voor beperking van uitbreiding van brand

Toetscriteria	Ontvluchtingsconcept (bepaald voor ontvluchtingsduur)	Stay-in-place-concept (bepaald voor totale brandduur)
WBDBO vluchtroute	30 min. SBK (BB/Bbl)	Te bepalen uit P(f fi)bc
WBDBO brandcompartimentering	60 min. SBK (BB/Bbl)	Te bepalen uit P(f fi)bc
Betrouwbaarheid vluchtroute	P(f fi)ebv: Te bepalen uit natuurlijk brandconcept gedurende 30 minuten ontvluchtingsduur	Niet relevant, omdat ontvluchten geen uitgangspunt is binnen stay- in-place
Betrouwbaarheid brandcompartimentering	Niet relevant, omdat het gebouw ontvlucht wordt. De betrouwbaarheid van de brandcompartimentering is enkel van belang voor de betrouwbaarheid van de vluchtroute	P(f fi)bc: Mag niet lager zijn dan P(f fi)ebv bij het ontvluchtingsconcept

NB: SBK = standaard brandkromme
P(f|fi) = kans op slagen, gegeven de (compartiments)brand
bc = brandcompartiment
ebv = extra beschermde vluchtroute
BB = Bouwbesluit 2012
Bbl = Besluit bouwwerken leefomgeving

De aangehouden toetscriteria worden nader toegelicht aan de hand van de brandveiligheids(sub)doelstellingen van het Bouwbesluit / Bbl. Aan de brandveiligheidsvoorschriften van het Bouwbesluit / Bbl liggen twee overheidsdoelen ten grondslag:

- > beperking van de kans op slachtoffers
- > beperking van de kans op branduitbreiding naar andere percelen.

Deze overheidsdoelen zijn in het Bouwbesluit / Bbl verder uitgewerkt in zogenaamde 'subdoelen', die kunnen worden afgeleid van de functionele eisen uit het Bouwbesluit / Bbl.

Beperking van rookverspreiding is één van de subdoelen van het Bouwbesluit 2012 en het Bbl. Bij een ontvluchtingsconcept moet de rookverspreiding naar de vluchtroute worden beperkt. Bij een stay-in-place-concept moet de rookverspreiding naar de andere brandcompartimenten juist worden beperkt. Ook de tijdschaal is anders: bij een ontvluchtingsconcept is beperking van rookverspreiding relevant gedurende de ontvluchtingstijd. Bij een stay-in-place-concept is dat gedurende het hele natuurlijke brandscenario relevant.

Behalve voor het subdoel 'beperking van de verspreiding van rook' heeft het stay-in-place-concept ook consequenties voor de subdoelen 'beperking van de uitbreiding van brand' en de 'instandhouding van de draagconstructie' bij brand. Voor die subdoelen wordt de betrouwbaarheid bepaald door de thermische belasting te vergelijken met de thermische weerstand (de brandwerendheid). Ook in dit geval is de tijdschaal afhankelijk van het concept. Bij het ontvluchtingsconcept gaat het om het in stand houden van de vluchtroute gedurende de vluchttijd; bij een stay-in-place-concept gaat het om het in stand houden van

de overige brandcompartimenten (dus het gebouw) gedurende de gehele natuurlijke brandduur.

Vanuit het oogpunt van een ontvluchtingsconcept hoeft brandcompartimentering volgens het Bouwbesluit / Bbl niet betrouwbaar te zijn gedurende de totale brandduur, mits de brandcompartimentering betrouwbaar is gedurende de vluchttijd. Immers, in een ontvluchtingsconcept zijn na de vluchttijd geen gebouwgebruikers in het gebouw meer aanwezig, waardoor beheersing van brand en rook vanaf dat moment niet meer relevant is.

Vanzelfsprekend zijn ook onder andere de subdoelen 'doorzoeken van het gebouw zonder dat er gevaar voor instorting is' (artikel 2.9 van Bouwbesluit 2012) en 'beperking van snelle uitbreiding van brand' (artikel 2.81 van Bouwbesluit 2012) van toepassing. Deze subdoelen zijn echter niet afzonderlijk beoordeeld, omdat de focus in dit onderzoek ligt op de persoonlijke veiligheid. Uit het vervolg van het onderzoek zal bovendien blijken dat met de uitkomsten ook deze subdoelen in voldoende mate worden gediend (zie paragraaf 3.2).

Voor het ontvluchtingsconcept zijn de algemene uitgangspunten voor de brandveiligheidsvoorschriften beschreven in de algemene toelichting van Bouwbesluit / Bbl. Deze uitgangspunten zijn vervolgens vertaald in concrete voorschriften in het Bouwbesluit / Bbl. Wanneer als vluchttijd 30 minuten wordt gehanteerd (15 minuten detectie- en alarmeringstijd en 15 minuten vluchttijd via de vluchtroutes), kan daaruit afgeleid worden wat de betrouwbaarheid is van draag- en scheidingsconstructies in het ontvluchtingsconcept volgens het Bouwbesluit / Bbl. Eenzelfde betrouwbaarheid moet in het stay-in-place-concept worden bereikt, maar dan beschouwd over de gehele natuurlijke brandduur. Immers, gedurende de gehele brandduur bevinden zich personen in het gebouw.

In een doelgerichte beschouwing op basis van een natuurlijke brand kunnen de toetscriteria voor brandscheidingen echter niet worden geformuleerd in een WBDBO of een brandwerendheid. De toetscriteria moeten worden geformuleerd in een acceptabele betrouwbaarheid voor het gestelde doel. Omdat voor het ontvluchtingsconcept concrete grenswaarden zijn geformuleerd in Bouwbesluit / Bbl, moeten hiervan eerst de consequenties voor de acceptabele betrouwbaarheid voor het doel 'veilige vluchtroute' worden bepaald. Wanneer een stay-in-place-concept wordt toegepast, mag de acceptabele betrouwbaarheid van het doel 'beperking van uitbreiding van brand' niet lager zijn dan die van het doel 'veilige vluchtroute' (ontvluchtingsconcept). Dat leidt tot de enigszins abstract geformuleerde toetscriteria in tabel 2.7.

Voor de instandhouding van de draagconstructie onder brandcondities kan een vergelijkbare toetsing worden uitgevoerd. Het gaat om dezelfde thermische belasting als bij brandcompartimentering. Daardoor zullen ook de consequenties voor de draagconstructie vergelijkbaar zijn met die voor de brandcompartimentering. De publiekrechtelijke eisen voor de draagconstructie zijn in het algemeen hoger dan voor de brandcompartimentering. Daarnaast kent het Bouwbesluit / Bbl ook een differentiatie in niveau van de eisen, afhankelijk van de gebouwhoogte. Hierdoor is het referentieniveau van het acceptabele restrisico verschillend.

2.5 Gevoeligheidsanalyse

De verschillende uitgangspunten (variabelen) kennen enige mate van onzekerheid of spreiding. Bij deze uitgangspunten geldt dat er een verdeling met een bepaalde breedte voorkomt in de praktijk. Zo kan de luchtdichtheid van de gevel enigszins verschillen per gebouw.

De uitgangspunten (variabelen) die een spreiding kennen, noemen we stochastische variabelen.

Om de spreiding in de uitgangspunten mee te nemen in de AST-RST-analyse, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. De gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd door voor elke stochastische variabele afzonderlijk de simulatie van de natuurlijke brand te herhalen door de gemiddelde waarde van die stochastische variabele (μ) te variëren met zijn standaardafwijking (SD) in zowel de toenemende richting ($\mu + SD$) als de afnemende richting ($\mu - SD$). De variatie per stochastische variabele geeft ook een variatie in de uitkomst van de simulatie (de thermische belasting of persoonlijke veiligheid). Dit wordt voor alle stochastische variabelen herhaald, waarna uit alle variaties in de uitkomsten de kansverdeling van de thermische belasting of persoonlijke veiligheid wordt bepaald.

Voor de stochastische variabelen geldt per stochastische variabele (x_i):

- > Gemiddelde waarde (μ): \bar{x}_i
- > Variatie coëfficiënt (V): V_i de standaardafwijking bij gemiddelde waarde van 1
- > Standaardafwijking (SD): $s_i = V_i \cdot \bar{x}_i$
- > Variatie: dx_i

De variatie coëfficiënt is de standaardafwijking bij een gemiddelde waarde van 1. In de gevoeligheidsanalyse wordt vervolgens elke stochastische variabele afzonderlijk gevarieerd met zijn standaardafwijking, dus $dx_i = s_i$ of $dx_i = -s_i$. Vervolgens wordt bij de variatie dx_i de invloed op het ontvluchten, verblijven van personen (persoonlijke veiligheid) of de thermische belasting tijdens de brand bepaald.

- > Variatie: dt
- > Specifieke variatie: dt/dx_i
- > Specifieke variantie: $(s_i dt/dx_i)^2$

Door vervolgens de specifieke varianties van alle stochastische randcondities te sommeren wordt de totale variantie van de uitkomst benodigde veilige tijd of de beschikbare veilige tijd verkregen:

- > Totale variantie: $var = \sum_i (s_i dt/dx_i)^2$
- > Standaardafwijking (SD): $s = \sqrt{var}$

De persoonlijke veiligheid wordt getoetst aan de toetscriteria in paragraaf 2.3.2. De uitkomst is bij deze analyse de beschikbare veilige tijd, de benodigde veilige tijd is de benodigde ontvluchtingstijd bij het ontvluchtingsconcept of de totale verblijftijd (90 minuten) bij het stay-in-place-concept. Door hier de beschikbare veilige tijd te vergelijken met de benodigde verblijfs- of vluchtijd wordt de betrouwbaarheid voor de persoonlijke veiligheid bij het ontvluchtings- of het stay-in-place-concept bepaald.

Bij de analyse van de thermische belasting van de scheidingen en constructies is de uitkomst van de analyse de benodigde veilige tijd in equivalente brandduur volgens de standaard brandkromme (SBK). Ten aanzien van de benodigde veilige tijd (RST) is dus beoordeeld welke thermische belasting de scheidingen en constructies moeten kunnen weerstaan, dit geeft de benodigde weerstand en daaruit volgt de benodigde veilige tijd. Door de thermische belasting (RST) te vergelijken met de brandwerendheid van de constructie of scheidingen (AST) wordt de betrouwbaarheid van de constructie en scheidingen bepaald. De beschikbare veilige tijd (AST) wordt hier dus bepaald op basis van de WBDBO van de constructie of scheiding die aanwezig is.

2.6 Uitgangspunten maatregelen

Om het risico van een ontvluchtings- of stay-in-place-concept te kunnen reduceren is gekozen voor een aantal mogelijke maatregelen. De maatregelen zijn van invloed op de gebouw-, installatie- of brandkenmerken. De invloed van de maatregelen op deze kenmerken is onderzocht met behulp van simulaties voor de corridorsituatie, waarbij het basisscenario is aangepast. De resultaten van deze simulaties dienen als basis voor het beantwoorden van de vraag welke maatregelen effectief zijn om risico's te reduceren. De resultaten van de simulaties voor de corridorsituatie zijn gebruikt om een kwalitatieve beschrijving te geven van de resultaten voor de andere bouwtypen.

In tabel 2.8 zijn de maatregelen weergegeven die toegepast zijn in dit onderzoek. Daarbij is aangegeven of ze zijn toegepast bij het stay-in-place-concept of bij het ontvluchtingsconcept. De uitgangspunten van deze maatregelen en de onderbouwing van de keuze hiervoor staan beschreven onder de tabel.

Tabel 2.8 Onderzochte maatregelen bij het ontvluchtungs- of stay-in-place-concept

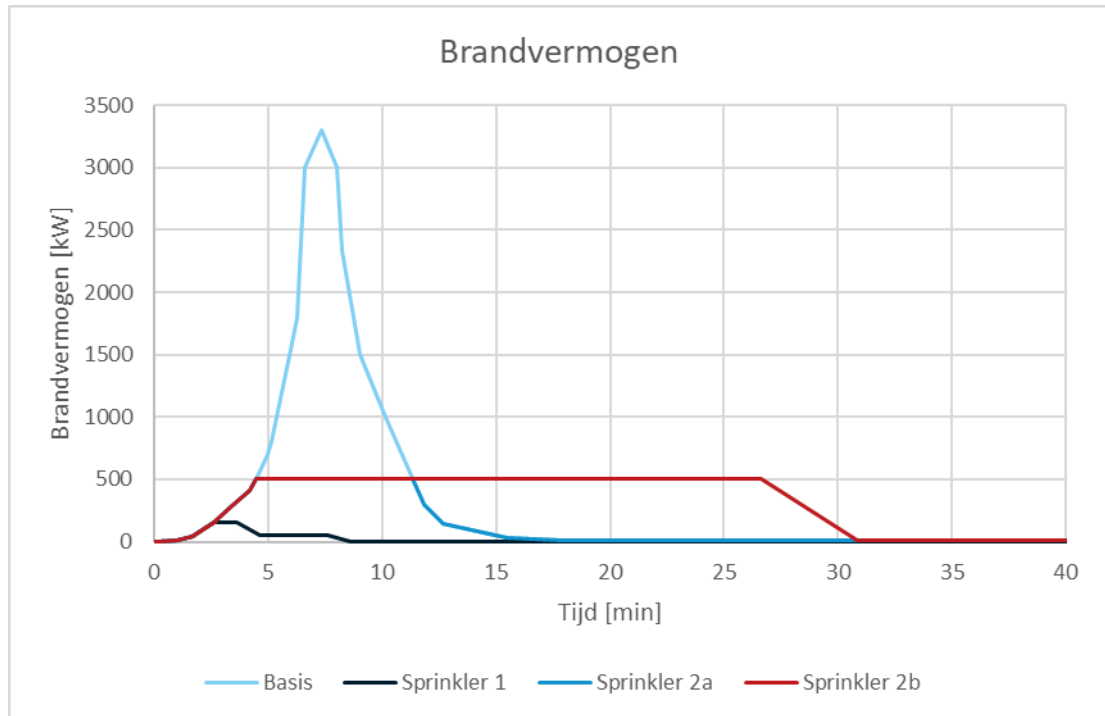
Nr.	Maatregel	Toegepast bij ontvluchtungs-concept	Toegepast bij stay-in-place-concept
1	Drukvereffening	X	X
2	Sprinkler 1	X	X
3	Sprinkler 2a	X	X
4	Sprinkler 2b	X	X
5	Branduitbreidingsnelheid matig	X	X
6	Betere inwendige luchtdichtheid	X	X
7	Extra subbrandcompartiment vluchtroute	X	
8	Combinatie 1 (2 + 5): Sprinkler met branduitbreidingsnelheid matig	X	X
9	Combinatie 2 (2 + 5 + 6): Sprinkler met branduitbreidingsnelheid matig en betere inwendige luchtdichtheid	X	X

2.6.1 Drukvereffening

Met deze maatregel wordt de brandruimte op onderdruk gezet. Hierdoor zal de luchtstroming vanuit de omliggende ruimten naar de brandruimte plaatsvinden. Daardoor zal er minder rookverspreiding van de brandruimte naar andere ruimten zijn. In de modellering is uitgegaan van een ventilator die lucht met een vast debiet van 0,25 m³/s vanuit de brandruimte naar buiten verplaatst. Het modelleren van onderdruk in Cfast is niet mogelijk op een wijze die overeenkomt met de werking van een onderdrukventilator in de praktijk. Deze maatregel moet daarom gezien worden als een indicatieve beoordeling van een theoretisch concept. Of deze maatregel in de praktijk toepasbaar is, zal nader onderzocht moeten worden met praktijktesten.

2.6.2 Sprinkler 1, 2a en 2b

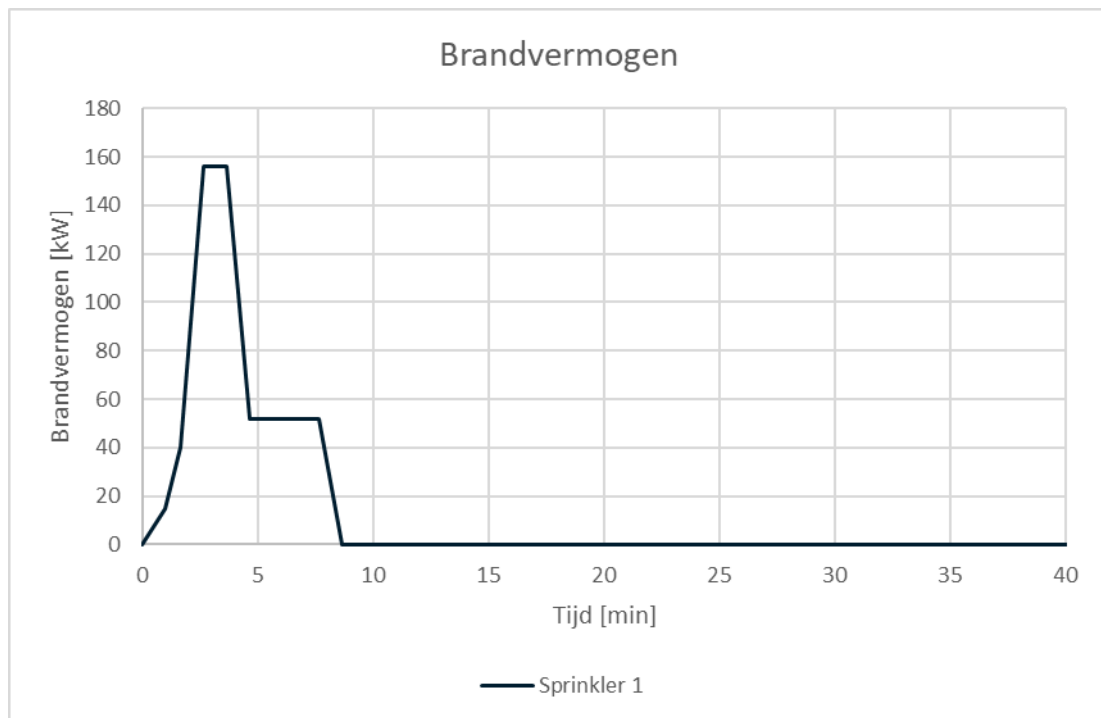
Voor de maatregel sprinkler zijn drie opties uitgewerkt. Bij de maatregel sprinkler wordt het brandscenario aangepast. De brandvermogenscurves in verhouding tot het basisscenario (bank) zijn weergegeven in figuur 2.8.



Figuur 2.8 Brandvermogen basisscenario en scenario's met sprinkler

Sprinkler 1

Dit scenario representeert een brand die snel geblust wordt door de sprinklerinstallatie. Er is geen standaard voor het verloop van het brandvermogen bij een gespreinklerde brand. De Zweedse wetgeving voor doelgericht ontwerpen geeft aan hoe het verloop van het brandvermogen bij een gespreinklerde brand gesimuleerd kan worden (The Swedish National Board of Housing Building and Planning, 2011). De Zweedse wetgeving geeft geen voorstel voor het uitdoven van de brand. Omdat het uitgangspunt in dit scenario is dat de sprinklerinstallatie de brand snel blust, is gekozen voor een brand die gedurende drie minuten op een derde van het brandvermogen bij activatie blijft en vervolgens in één minuut daalt naar 0 kW. Het verloop van het brandvermogen is te zien in figuur 2.9.



Figuur 2.9 Brandvermogen scenario met sprinkler (1)

Voor het bepalen van het moment van activatie van de sprinklerkop is gebruikgemaakt van Cfast. Voor de sprinklerkop is uitgegaan van een RTI van $50 \text{ m}^{0.5}\text{s}^{0.5}$ en een activatietemperatuur van $68 \text{ }^\circ\text{C}$.

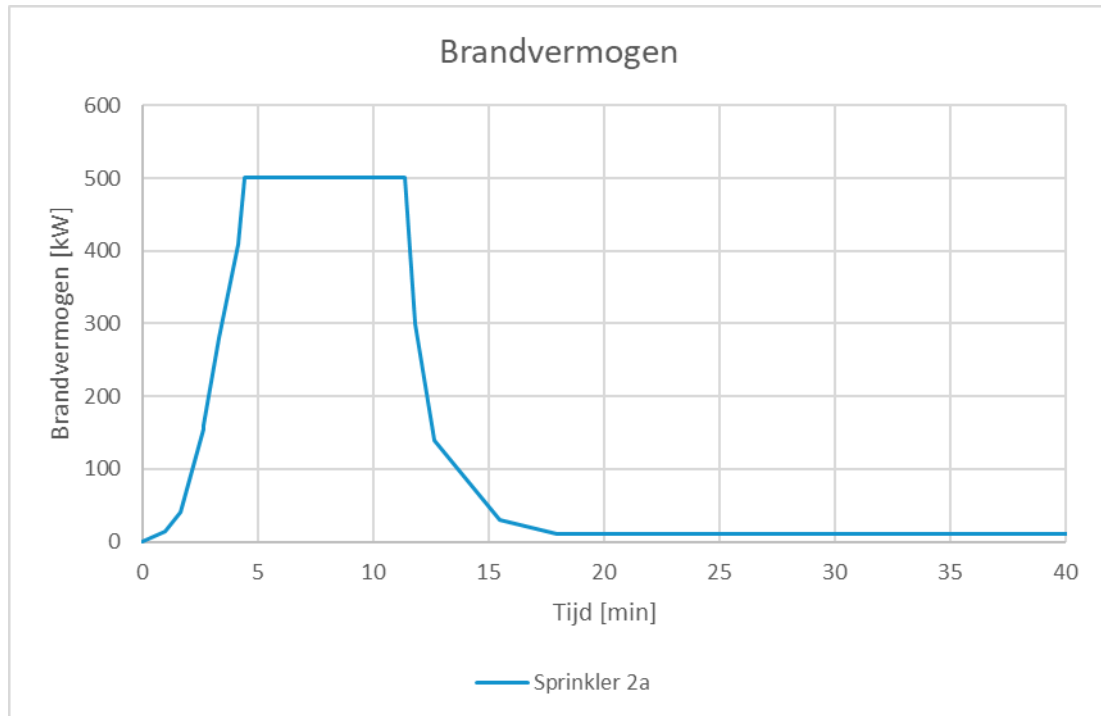
De 'yields'¹⁴ voor de brandstof gecontroleerde situatie uit het basisscenario zijn gebruikt (zie tabel 2.2). Vanaf het moment van activatie van de sprinklerinstallatie zal de verbranding onvolledig worden. De mate waarin dit gebeurt, is afhankelijk van de mate waarin de brand wordt gesmoord door de sprinklerinstallatie. Om de yields na activatie van de sprinklerinstallatie te bepalen zijn de resultaten van het praktijkonderzoek naar rookverspreiding in woongebouwen geanalyseerd (Brandweeracademie, 2020b). Het verschil in piekconcentratie in koolmonoxide (CO) tussen de experimenten met en zonder automatische blusinstallatie¹⁵ is beoordeeld. Er is een CO-yield na activatie van de sprinklerinstallatie gekozen die eenzelfde mate van verschil geeft tussen het basisscenario zonder sprinkler en de simulatie met sprinkler. Op basis hiervan is de CO-yield met een factor vier vergroot na activatie van de sprinklerinstallatie. Eenzelfde beoordeling is voor de roet productie (soot-yield) niet goed te maken. Voor een situatie met in enige mate onvolledige verbranding, is daarom gekozen om de soot-yield met een factor twee te vergroten na activatie van de sprinklerinstallatie (Karlsson & Quintiere, 1999). Er is gekozen voor een lagere factor in vergelijking met het basisscenario, omdat er naar verwachting in mindere mate sprake is van onvolledige verbranding dan bij het basisscenario.

Sprinkler 2a

Het brandvermogenscenario is tot activatie van de sprinklerinstallatie gelijk aan sprinkler 1. Na activatie stijgt het brandvermogen door tot 500 kW, zie figuur 2.10.

¹⁴ Hoeveelheid vrijkomende verbrandingsproducten ten opzichte van de hoeveelheid verbrandde brandstof, in dit geval voor koolstofmonoxide (CO) en roet (soot).

¹⁵ In het onderzoek is gebruikgemaakt van een mobiele watermistinstallatie.

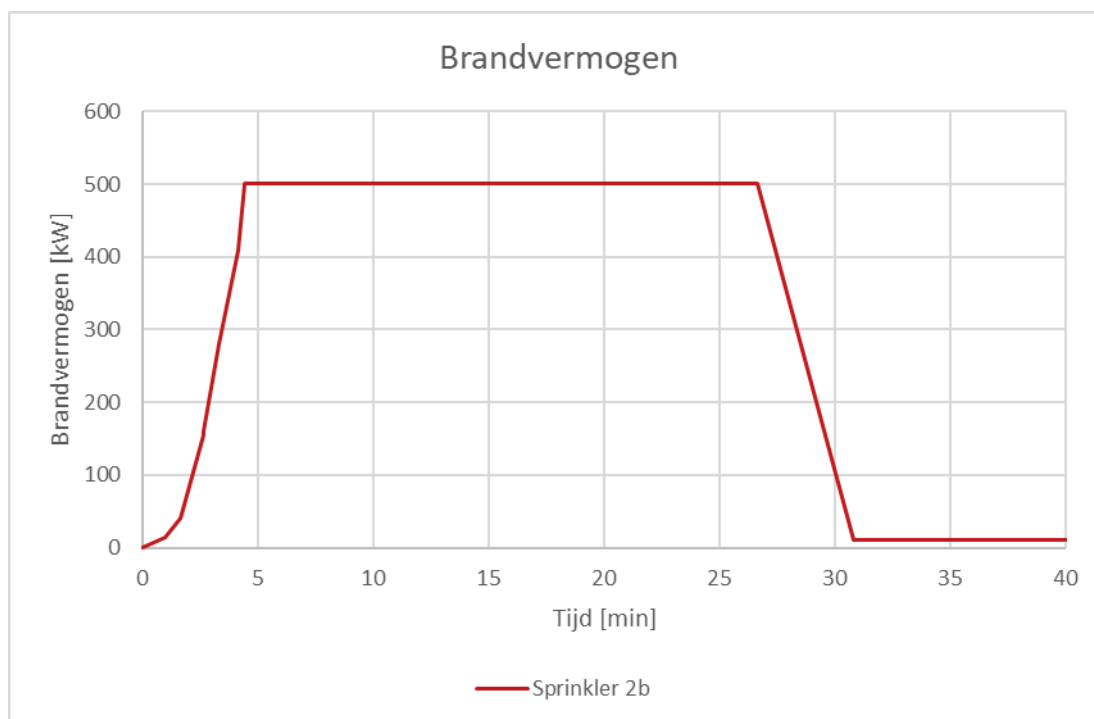


Figuur 2.10 Brandvermogen scenario met sprinkler (2a)

De brandvermogensdichtheid van een bank in brand kan zo'n 1000 kW/m² zijn (Särdqvist, 1993). Een sprinklerinstallatie met een sproeidichtheid van bijvoorbeeld 2,04 l/min heeft een maximaal theoretisch koelend vermogen van ongeveer 100 kW/m². Bij een sproeidichtheid van 4 l/min is dit ongeveer 200 kW/m² (er vanuit gaande dat 100 % van het water verdampt en opwarmt tot 300 °C). De brandvermogensdichtheid van een bank in brand kan dus hoger zijn dan het koelend vermogen van een sprinklerinstallatie. Om die reden is bij deze variant rekening gehouden met het doorstijgen van het brandvermogen na activatie van de sprinklerinstallatie. De yields voor een zuurstof gecontroleerde situatie zijn toegepast vanaf het moment dat de 500 kW wordt bereikt.

Sprinkler 2b

Het brandvermogensscenario is grotendeels gelijk aan sprinkler 2a; het brandvermogen blijft echter langer op 500 kW, zodat de volledige bank verbrandt (de oppervlakte onder de grafiek is gelijk aan het basisscenario) zie figuur 2.11.



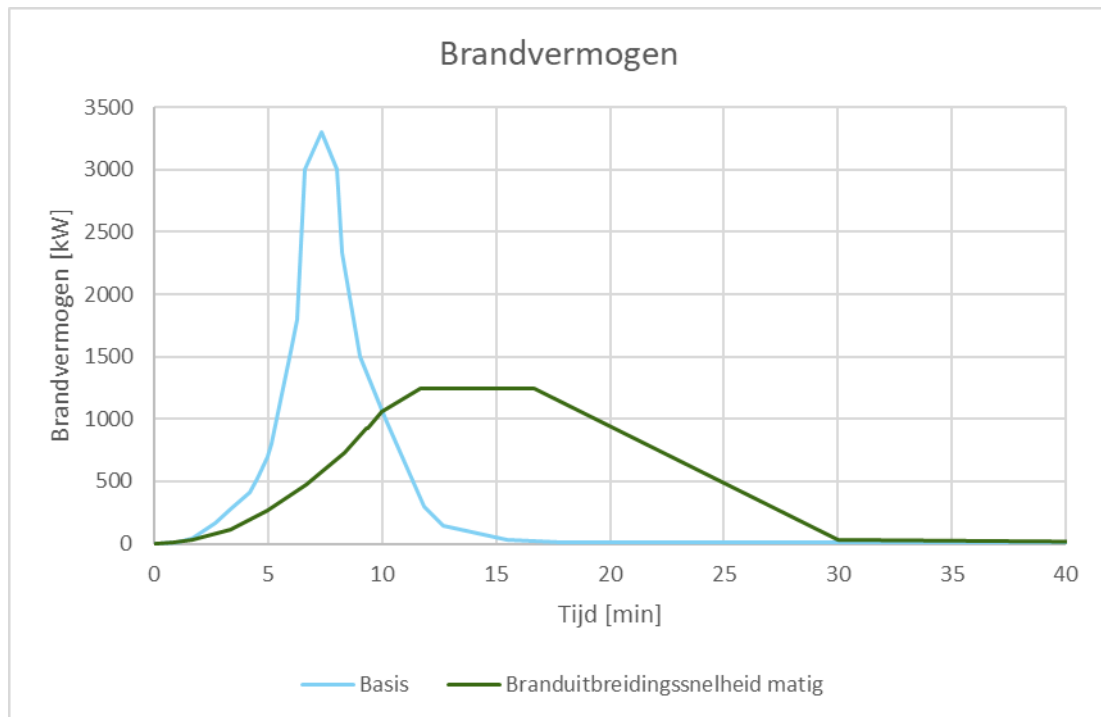
Figuur 2.11 Brandvermogen scenario met sprinkler (2b)

Uit brandproeven is gebleken dat een bank in brand in combinatie met een automatische blusinstallatie nog steeds tot gevolg kan hebben dat nagenoeg de volledige bank verbrandt (Brandweeracademie, 2020b; Exova WarringtonFireGent NV & Universiteit Gent, 2016). Bij het scenario sprinkler 1 komt ongeveer 4 % van de energie uit het basisscenario vrij. Voor scenario sprinkler 2a is dit ongeveer 40 %. Het scenario sprinkler 2b is een afspiegeling van een brand die beperkt wordt in het brandvermogen, maar waarbij de bank wel nagenoeg volledig uitbrandt. In dit scenario blijft het piekbrandvermogen lager, maar is de totale energieafgifte tijdens het volledige brandscenario gelijk aan het basisscenario.

2.6.3 Branduitbreidingsnelheid matig

Als brandscenario is in de basis uitgegaan van een bank in brand (zie paragraaf 2.3.1). Van meubilair (met polyurethaan schuimvulling) is bekend dat het snel en hevig brandt (Brandweeracademie, 2017, 2021a). Wanneer dit meubilair als zwaarste brandscenario vervalt (doordat brandveilig meubilair wordt toegepast), dan verandert het verloop van de brand in de woning. Als maatregel is het verloop van het brandvermogen daarom aangepast in dit scenario. Ook de brandvermogensdichtheid is aangepast. Er is een brand gemodelleerd met een kwadratisch toenemend oppervlak en brandvermogen (t-square fire). De brand heeft een matige branduitbreidingsnelheid en een brandvermogensdichtheid van 250 kW/m². Dit zijn de standaard waarden voor woningen in de Eurocode (NEN-EN 1991-1-2+C3:2019) en het fysisch brandmodel (Adviesburo Nieman B.V., 2007). De piek van het brandvermogen is vastgelegd op 1250 kW. Voor deze piek wordt het brandvermogen al beperkt door de beschikbare hoeveelheid zuurstof. Na 1000 seconden loopt het brandvermogen verder terug. In figuur 2.12 is het verloop van het brandvermogen voor dit scenario te zien in vergelijking met het basisscenario. De energieafgifte gedurende het gehele brandverloop is, vanwege de langere brandduur, voor het scenario met branduitbreidingsnelheid matig hoger dan bij het basisscenario. Alleen het verloop van het brandvermogen is aangepast ten opzichte van het basisscenario (bank). De overige

brandkenmerken zijn gelijk gehouden aan het basisscenario . De yields (hoeveelheid vrijkomende stoffen) zijn bijvoorbeeld gelijk gehouden aan het basisscenario. Dit betekent dat er voor de hoeveelheid vrijkomende stoffen nog steeds wordt uitgegaan van materialen vergelijkbaar met het verbranden van schuimkunststoffen. Dit is vooral voor het vrijkomen van roet een sterk conservatieve aanname als er geen schuimkunststoffen, maar cellulose materialen branden. Voor het vrijkomen van koolstofmonoxide is het ook een conservatieve aanname, maar in mindere dan voor het vrijkomen van roet.



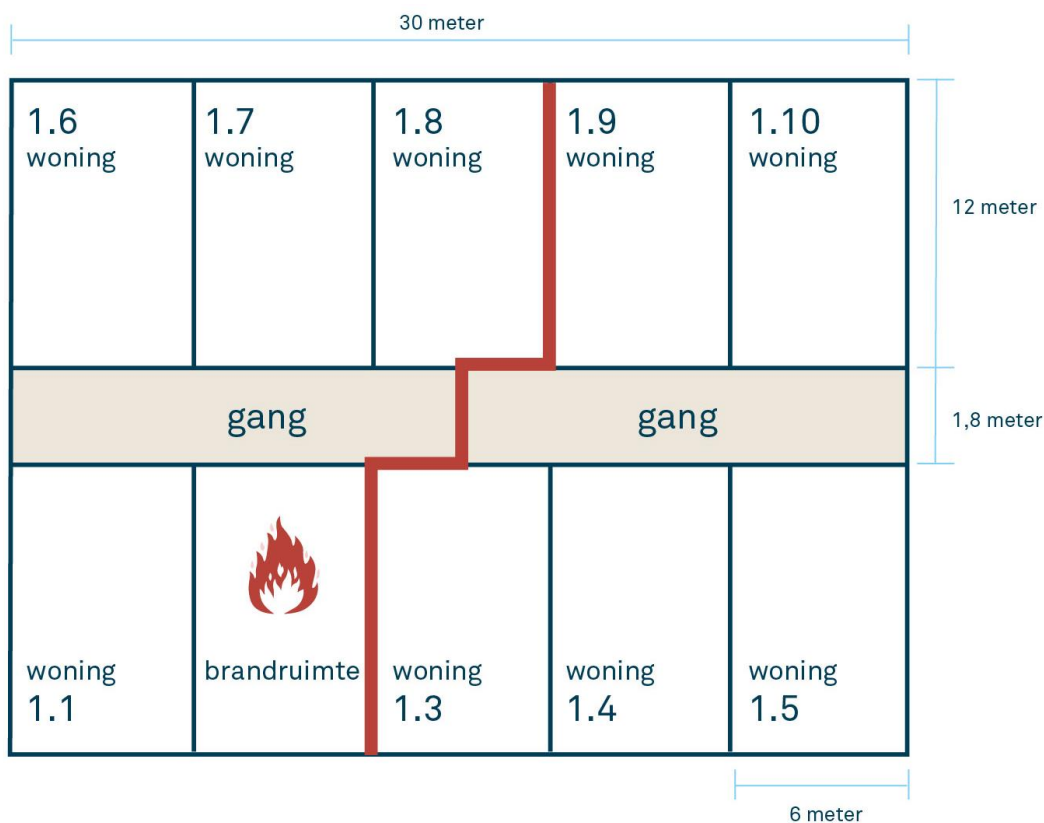
Figuur 2.12 Brandvermogen basisscenario en scenario branduitbreidingsnelheid matig

2.6.4 Betere interne luchtdichtheid

Wanneer de inwendige scheidingsconstructie tussen woningen en tussen woningen en de gang een kleiner lekkageoppervlak hebben (dus: een betere luchtdichtheid), kan dat ervoor zorgen dat er minder rook verspreid wordt vanuit de brandruimte naar de vluchtroute of andere woningen. Hierbij is uitgegaan van een lekkageoppervlak dat 50 % kleiner is dan in het basisscenario.

2.6.5 Extra subbrandcompartiment vluchtroute

Wanneer rook zich vanuit de brandruimte verspreidt naar de gang, kan de rook de vluchtroute blokkeren voor andere woningen die aan deze gang zijn gelegen. Wanneer de vluchtroute wordt opgedeeld in twee of meer delen, kan hierdoor het aantal woningen waarvoor de vluchtroute wordt belemmerd verlaagd worden. Omdat het volume van de vluchtroute door het opdelen ervan afneemt, kan dit echter een toename veroorzaken van de rookconcentratie in de vluchtroute die aan de brandruimte is gelegen (kleiner volume van de vluchtroute en een gelijke hoeveelheid rook die in de vluchtroute stroomt). Om te bepalen wat het effect is van het opdelen van de vluchtroute in twee delen, is de configuratie in figuur 2.13 gesimuleerd. Hierbij zijn aan beide gangdelen vijf woningen gelegen.



Figuur 2.13 Plattegrond woongebouw met corridorontsluiting met gang in twee delen

2.6.6 Combinatie van maatregelen

Hieronder worden twee combinaties van maatregelen beschreven.

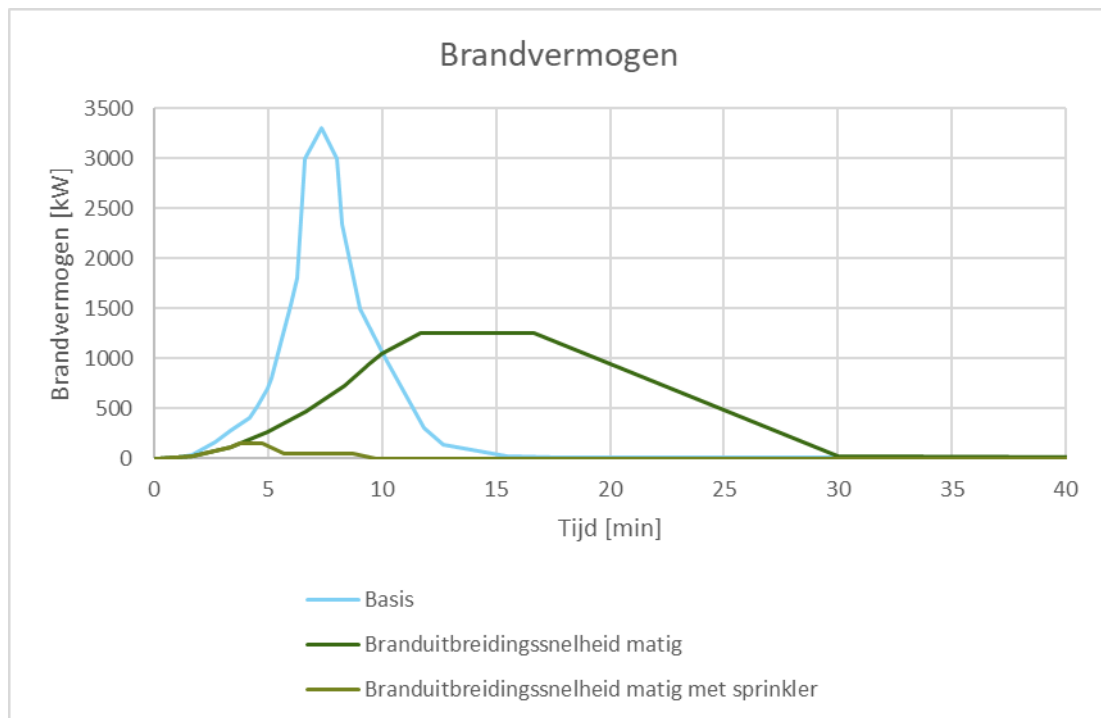
Branduitbreidingsnelheid matig met sprinkler

In dit scenario is naast brandveilig meubilair ook een sprinklerinstallatie toegepast. Het verloop van het brandvermogen is tot activatie van de sprinklerinstallatie gelijk aan het brandvermogensverloop voor de brand met branduitbreidingsnelheid matig.

Na activatie van de sprinklerinstallatie blijft het brandvermogen gelijk. Het brandvermogen loopt op een gelijke wijze als bij de maatregel sprinkler 1 weer terug naar 0 kW. In figuur 2.14 is het verloop van het brandvermogen voor dit scenario te zien in vergelijking met het basisscenario en het scenario met branduitbreidingsnelheid matig. De yields zijn in dit geval gelijk aan het scenario sprinkler 1.

Branduitbreidingsnelheid matig met sprinkler en betere interne luchtdichtheid

In dit scenario is naast brandveilig meubilair en een sprinklerinstallatie ook een betere interne luchtdichtheid toegepast (zie paragraaf 2.6.4). Het scenario is een combinatie van de luchtdichtheid van het scenario betere interne luchtdichtheid en het brandvermogensverloop en de yields van het scenario branduitbreidingsnelheid matig met sprinkler.



Figuur 2.14 Brandvermogen scenario branduitbreidingsnelheid matig met sprinkler in vergelijking met andere scenario's

2.7 Kwaliteit van het onderzoek

In elk onderzoek worden keuzes gemaakt die de uitkomst kunnen beïnvloeden. Daarnaast is er altijd enige mate van onzekerheid in de uitkomsten van een onderzoek. In deze paragraaf worden onzekerheden en keuzes benoemd en wordt de invloed daarvan op de uitkomsten beschouwd. Hiermee wordt invulling gegeven aan de uitvragen van de ATGB, waarin verzocht wordt om informatie over de mate van zekerheid van de gegeven antwoorden.

Als eerste is gekozen voor drie typen gebouwen met vaststaande kenmerken, zoals een bepaalde inwendige hoogte en woningoppervlakte. Een verandering van de inwendige hoogte kan ervoor zorgen dat een rooklaag sneller daalt en er mogelijk sneller of trager rook wordt verspreid naar de vluchtroute en andere woningen. De impact van een lichte verandering (< 15 %) van de plafondhoogte op de uitkomsten is naar verwachting beperkt. Een ander woningoppervlak kan ervoor zorgen dat een brand eerder of later zuurstof gecontroleerd raakt. Het kan ook zorgen voor een snellere of tragere drukopbouw in de brandruimte. Het oppervlak van de brandruimte zal daarmee van invloed zijn op de rookverspreiding. De verwachting (op basis van expert judgement) is dat de invloed op de beschikbare veilige tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden buiten de brandruimte beperkt zijn, zolang het oppervlak van de woningen slechts beperkt afwijkt (< 30 %).

Er is gekozen om de woningen niet nader in te delen in ruimtes. Dit vergroot het aantal variabelen in de rookverspreiding dermate dat het bepalen van beschikbare veilige tijden voor vluchten of overleven erg complex wordt. Het nader indelen van ruimtes kan zorgen voor extra barrières in de rookverspreiding. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn wanneer de brand plaatsvindt in een ruimte die niet direct aan de vluchtroute gelegen is. In dat geval zal de rookverspreiding in de woning belemmerd worden, waardoor rookverspreiding naar de

vluchtroute later zal plaatsvinden. De verspreiding naar een boven- of naastgelegen woning kan in dit geval echter net zo snel verlopen als bij een niet ingedeelde ruimte (wanneer er een directe verbinding is tussen de ruimtes in de twee woningen). In het geval binnendeuren openstaan in de woning is een extra (rook)barrière vrijwel direct teniet gedaan. Door uit te gaan van een niet ingedeelde woning wordt verwacht dat een reëel beeld van de rookverspreiding wordt gegeven.

Voor de bepaling van de mate van rookverspreiding en thermische belasting op constructies en scheidingen is gewerkt met zone-simulatie-software. Dergelijke software kan nooit een volledig juiste afspiegeling van een echte brand geven. Een betrouwbare en reële keuze van uitgangspunten is verder fundamenteel voor het behalen van voldoende accurate resultaten uit de zone-simulaties. Om die reden is een validatiestudie uitgevoerd met de experimentresultaten van het praktijkonderzoek naar rookverspreiding in woongebouwen (Brandweeracademie, 2020b). Op basis van deze validatiestudie zijn de brandkenmerken zo realistisch mogelijk gemaakt. Om mogelijke spreiding in de uitgangspunten van de zone-simulaties mee te nemen, is bovendien een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Met deze voorzorgsmaatregelen is ervoor gezorgd dat de resultaten van de zone-simulaties een zo juist mogelijke afspiegeling van een praktijksituatie geven.

Het menselijk gedrag bij een brand kan van persoon tot persoon sterk verschillen en kan van invloed zijn op de brand en de rookverspreiding. Zo kan door het openen van deuren de rookverspreiding veranderen, en kan de toestroom van zuurstof naar de brand toenemen. Bovendien kunnen personen brandveiligheidsmaatregelen onklaar maken of onvoldoende onderhouden. Ook kunnen zij gedrag vertonen dat hun vlucht- of overlevingsmogelijkheden negatief beïnvloedt. Als gevolg van vluchten door de rook kunnen personen bijvoorbeeld gedesoriënteerd raken. Het volledig meenemen van het menselijk gedrag in de zone-simulaties is niet mogelijk. Om de impact van het menselijk gedrag op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden toch in zekere mate in beeld te brengen, is een kwalitatieve analyse van het relevante menselijk gedrag uitgevoerd. Op die manier worden de belangrijkste factoren in het menselijk gedrag beoordeeld op hun impact op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden.

3 AST-RST-analyse

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de AST-RST-analyse voor persoonlijke veiligheid en thermische belasting gepresenteerd en geanalyseerd. Dit gebeurt voor zowel het ontvluchtings- als het stay-in-place-concept. De resultaten uit de gevoeligheidsanalyses worden gepresenteerd als gemiddelde tijden met bijbehorende standaardafwijkingen. Op basis hiervan is een cumulatieve kansverdeling gegeven voor de betrouwbaarheid van de persoonlijke veiligheid en thermische belasting van constructie of scheidingen. Alle resultaten van de AST-RST-analyses zijn weergegeven in bijlage C. De resultaten van de zonesimulaties zijn op te vragen bij het NIPV.

3.1 Analyse persoonlijke veiligheid

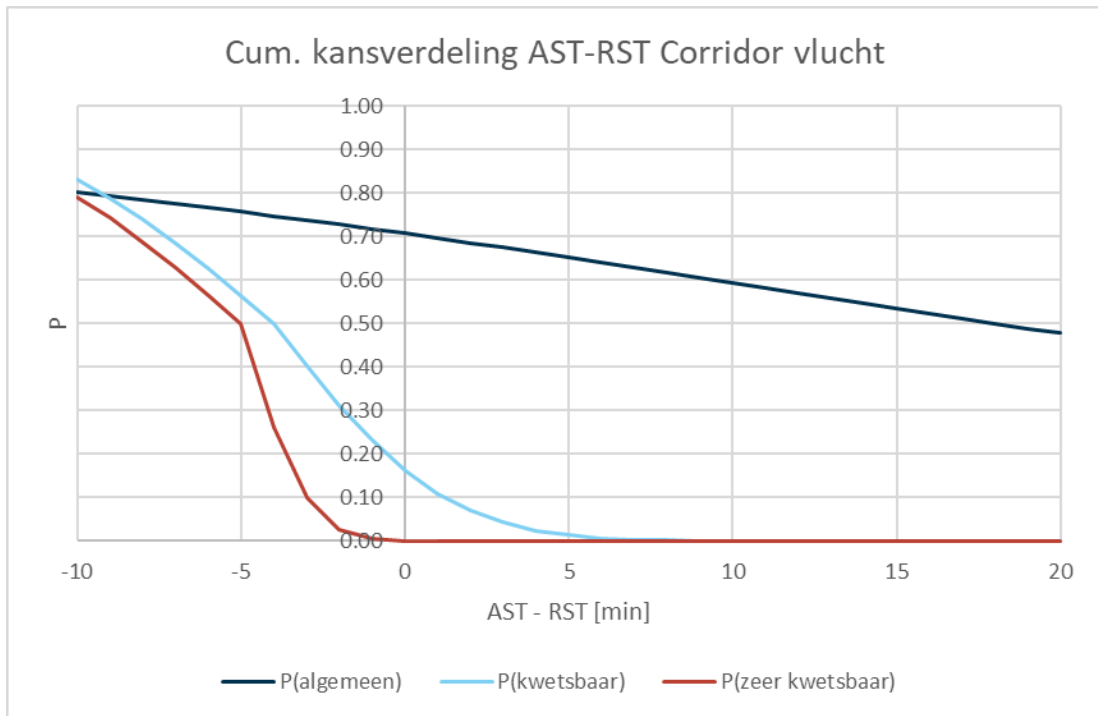
3.1.1 Ontvluchtingsconcept

De beschikbare veilige vluchttijd (AST) hangt af van het gebouwtype en de doelgroep. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de beschikbare veilige vluchttijden in gemiddelden en standaardafwijkingen (SD).

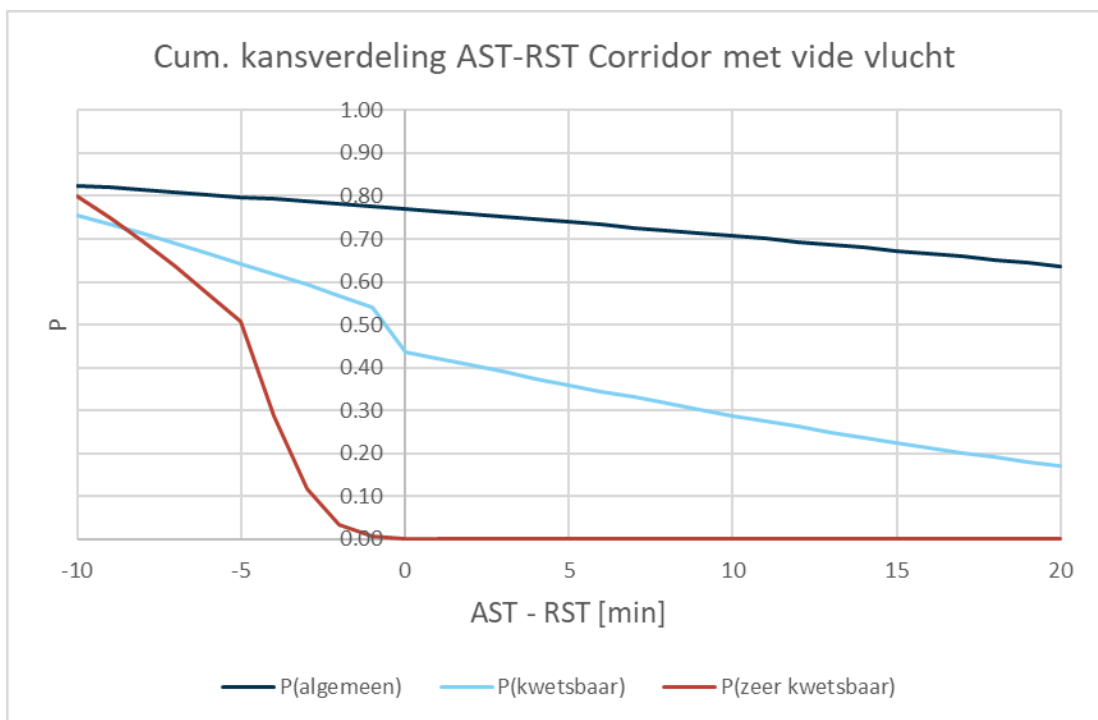
Tabel 3.1 AST in het ontvluchtingsconcept

Gebouwtype	AST algemeen [min]		AST kwetsbaar [min]		AST zeer kwetsbaar [min]	
	Gemiddeld	SD	Gemiddeld	SD	Gemiddeld	SD
Corridor	27,9	-32,4, +39,9	6	-2, +-4	5	-1,7, +1,3
Corridor met vide	48,1	-51,3, +61,2	10,6	-14,2, +25,1	5,1	-1,6, +1,4
Atrium	55,9	-30,5, +37,9	31,8	-14,7, +18,4	18,8	-19,6, +8,2

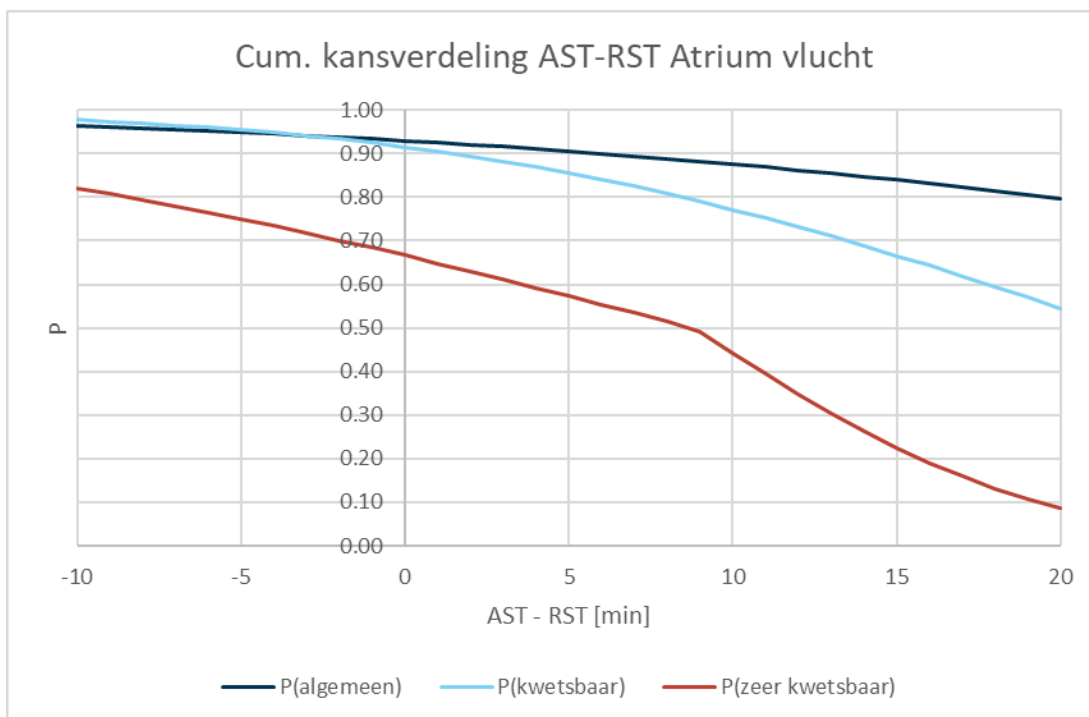
De benodigde veilige vluchttijd (RST) is vastgelegd in paragraaf 2.3.1. De gemiddelde benodigde veilige vluchttijd is tien minuten. De cumulatieve kansverdeling op basis van de verdeling van beschikbare veilige vluchttijd en benodigde veilige vluchttijd is voor de drie gebouwtypen en drie doelgroepen weergegeven in figuur 3.1 tot en met figuur 3.3. Voor deze grafieken geldt: een positieve tijd op de x-as betekent een langere beschikbare veilige vluchttijd dan de benodigde veilige vluchttijd.



Figuur 3.1 Cumulatieve kansverdeling AST - RST gebouwtype corridor voor het ontvluchtingsconcept



Figuur 3.2 Cumulatieve kansverdeling AST - RST gebouwtype corridor met vide voor het ontvluchtingsconcept



Figuur 3.3 Cumulatieve kansverdeling AST - RST gebouwtype atrium voor het ontvluchtingsconcept

De betrouwbaarheid van het ontvluchtingsconcept wordt gedefinieerd als de kans dat de beschikbare veilige vluchttijd (AST) langer is dan de benodigde veilige vluchttijd (RST): $P(AST > RST)$. Deze betrouwbaarheid varieert tussen 0 en 1. De betrouwbaarheid geeft tevens een indicatie van de faalkans (onbetrouwbaarheid) van het ontvluchtingsconcept (Faalkans (F) = $1 -$ betrouwbaarheid (P)). De waarden voor de betrouwbaarheid moeten als relatieve waarden worden gezien en passen bij de gehanteerde methode, bijbehorende uitgangspunten en randvoorwaarden. De betrouwbaarheid voor de drie gebouwtypen en doelgroepen is weergegeven in tabel 3.2

Tabel 3.2 Betrouwbaarheid bij het ontvluchtingsconcept

Gebouwtype	P(AST>RST)		
	Algemeen	Kwetsbaar	Zeer kwetsbaar
Corridor	0,71	0,16	0
Corridor met vide	0,77	0,44	0
Atrium	0,93	0,92	0,66

Op basis van deze resultaten worden hieronder een aantal analyses gedaan.

Brandcondities

Voor nagenoeg alle gevallen is zicht de brandconditie waarbij als eerste het toetscriterium overschreden wordt. De verspreiding van roet naar de vluchtroute is hierbij hetgeen wat zorgt voor het belemmeren van de zichtlengte in de vluchtroute. Voor het atrium geldt dat voor de algemene en kwetsbare doelgroep de brandconditie verstikkende gassen als eerste

het toetscriterium overschrijdt. Omdat het atrium een groter volume heeft dan de corridor of corridor met vide blijft de zichtlengte in het atrium gedurende langere tijd voldoende.

Omdat belemmerd zicht in de vluchtroute veelal de doorslaggevende brandconditie is, zijn de stochastische variabelen die een relatie hebben met de snelheid van de roetproductie en de verspreiding van roet van de brandruimte naar de gang het meest van invloed op de beschikbare veilige vluchttijd. De roetproductie van de brand (soot-yield), de vermenigvuldigingsfactor van de brandduur (brandvermogen komt eerder in de tijd vrij) en een slechtere interne luchtdichtheid (groter intern lekkageoppervlak) zijn stochastische variabelen die in veel gevallen sterk van invloed zijn op de beschikbare veilige vluchttijd. Ook het later openen van de deur van de brandruimte is bij aantal gevallen van invloed op de beschikbare veilige vluchttijd. Wanneer de deur van de brandruimte op een later moment geopend wordt, is er meer rook in de brandruimte aanwezig en stroomt er daardoor ook meer rook naar de vluchtroute. Dit is vooral van invloed bij de gebouwtypen corridor en corridor met vide. Bij het gebouwtype atrium is de invloed kleiner vanwege het grotere volume van het atrium waarin de rook zich kan verspreiden (opmengen van de rook in de lucht in het atrium). Ook de variabelen die hiervoor niet genoemd zijn, zijn soms van invloed in specifieke gevallen (combinatie doelgroep en gebouwtype). Uiteindelijk is nagenoeg elke variabele in meer of mindere mate van invloed op de hoeveelheid roet die wordt geproduceerd of verspreid en daarmee op de beschikbare veilige vluchttijd.

Doelgroepen

Er is een groot verschil tussen de betrouwbaarheid van een veilige ontvluchting per doelgroep. Voor de (zeer) kwetsbare doelgroep is het ontvluchtingsconcept voor corridor-situaties met het huidige voorzieningenniveau onvoldoende betrouwbaar (onbetrouwbaar) om een veilige ontvluchting te creëren (0 tot 44 % betrouwbaar). Oftewel: in de meeste situaties (56 tot 100 %) is de benodigde veilige vluchttijd langer dan de beschikbare veilige vluchttijd en is een veilige ontvluchting niet mogelijk. De conclusie dat het huidige voorzieningenniveau onvoldoende is voor (zeer) kwetsbare doelgroepen, werd al eerder getrokken in het onderzoek naar rookverspreiding in woongebouwen uit 2020 (Brandweeracademie, 2020b). In dit onderzoek is geconstateerd dat alleen aanvullende bron- en effectmaatregelen effectief kunnen zijn om voor alle doelgroepen de vluchtmogelijkheden te verbeteren.

Bij de algemene doelgroep is de betrouwbaarheid voor een veilige ontvluchting hoger dan bij de andere doelgroepen. Hoewel de betrouwbaarheid hoger is, is er ook bij deze doelgroep sprake van een faalkans (7 tot 29 %) waarbij een veilige ontvluchting niet mogelijk is. In de meeste situaties (71 tot 93 %) is de benodigde veilige vluchttijd (RST) echter korter dan de beschikbare veilige vluchttijd en is een veilige ontvluchting mogelijk.

Gebouwtypen

De betrouwbaarheid is het hoogste bij het gebouwtipe atrium en het laagste bij het gebouwtipe corridor. Dit heeft te maken met het grotere volume van de vluchtroute waarin de rook uit de brandruimte zich kan verspreiden (opmengen). Een groter volume van de vluchtroute is dus voordelig voor de zichtlengte aldaar. Hierbij kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt:

- > In de methode is geen rekening gehouden met lokale ophoping ofwel niet homogene opmenging.
- > Een brand in de vluchtroute zelf is niet beoordeeld; deze kan tot andere resultaten leiden.

Er zitten ook nadelen aan een groter volume van de vluchtroute. Bij het gebouwtipe corridor met vide worden (bij de gehanteerde configuratie) twee keer zoveel woningen bedreigd door de rook als bij het gebouwtipe corridor. Bij het gebouwtipe atrium is dit drie keer zoveel. Op het moment dat de vluchtroute toch belemmerd raak door de rook, is het gevolg daardoor groter dan bij het gebouwtipe corridor. Om een goed vergelijk mogelijk te maken van de verschillende gebouwtypen zou niet alleen naar het individuele risico gekeken moeten worden, maar ook naar het groepsrisico voor alle personen in het gebouw.

Benodigde veilige vluchttijd (RST)

De benodigde veilige vluchttijd is voor het gebouwtipe corridor en corridor met vide de belangrijkste stochastische variabele en heeft de grootste invloed op de kans dat de beschikbare veilige vluchttijd groter is dan de benodigde veilige vluchttijd ($AST > RST$). De benodigde veilige vluchttijd is voor het gebouwtipe atrium niet meer de belangrijkste stochastische variabele en is nauwelijks van invloed op de algemene doelgroep. Dit komt doordat de zichtlengte in het atrium voor de algemene doelgroep meer dan 30 minuten voldoende blijft. Voor de (zeer) kwetsbare doelgroep is de benodigde veilige vluchttijd wel van invloed bij het gebouwtipe atrium, maar ook voor deze doelgroep is dit niet de bepalende stochastische variabele.

Samengevat

In vrijwel alle gevallen is de zichtlengte in de vluchtroute de bepalende factor voor de beschikbare veilige vluchttijd. Wanneer roetproductie van de brand afneemt of minder rook (roet) van de brandruimte naar de vluchtroute wordt verspreid, zal de beschikbare veilige vluchttijd toenemen. De kans dat personen tijdig kunnen vluchten kan, naast het verlengen van de beschikbare veilige vluchttijd, ook vergroot worden als de benodigde veilige vluchttijd afneemt. Om dit te kunnen bereiken is het noodzakelijk om personen snel te kunnen waarschuwen bij brand in het gebouw. Hoe kwetsbaarder de doelgroep, des te korter de beschikbare veilige vluchttijd is en hoe kleiner de kans is dat personen tijdig het gebouw kunnen ontvluchten. Om een betrouwbaar ontvluchttingsconcept voor alle doelgroepen te realiseren, zijn aanvullende maatregelen voor de kwetsbare doelgroepen noodzakelijk.

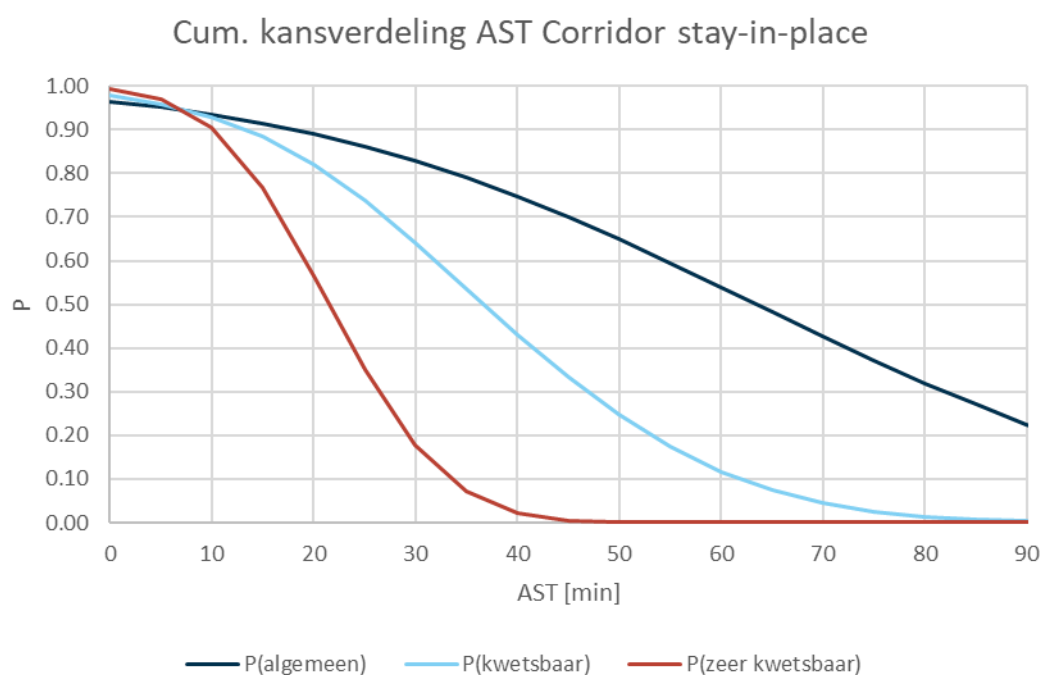
3.1.2 Stay-in-place-concept

De beschikbare veilige verblijftijd (AST) hangt af van het gebouwtipe en de doelgroep. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de beschikbare veilige verblijftijden in gemiddelden en standaardafwijkingen.

Tabel 3.3 AST in het stay-in-place-concept

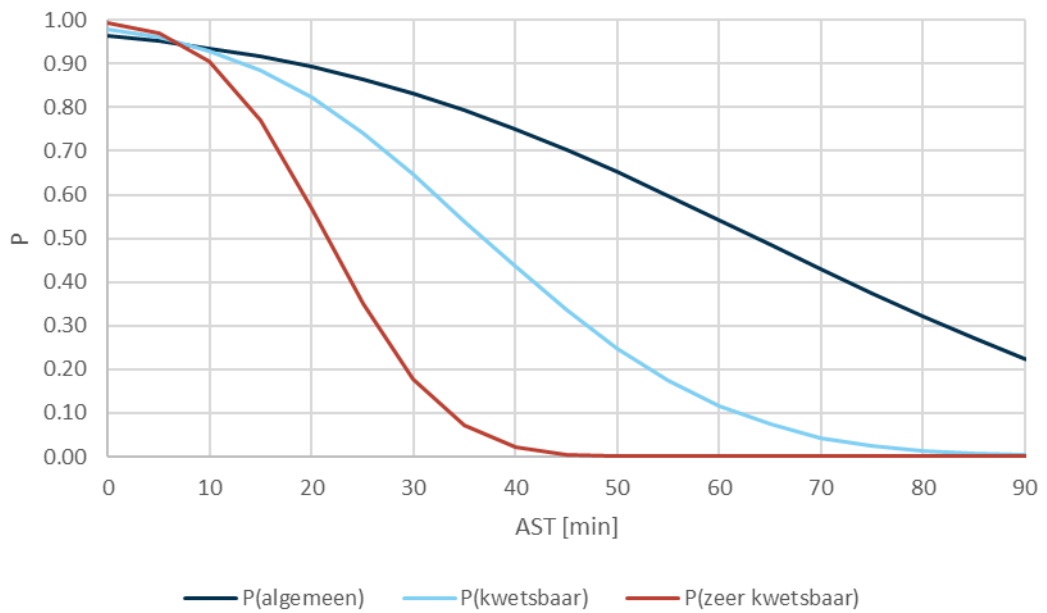
Gebouwtipe	AST algemeen [min]		AST kwetsbaar [min]		AST zeer kwetsbaar [min]	
	Gemiddeld	SD	Gemiddeld	SD	Gemiddeld	SD
Corridor	63,5	-35,3, +35,2	36,6	-18,1, +19,6	21,4	-8,7, +9,3
Corridor met vide	63,8	-35,3, +34,8	36,8	-18,2, +19,4	21,5	-8,8, +9,2
Atrium	56,1	-30,6, +38	32	-14,8, +18,4	19,1	-6,7, +8,3

De benodigde veilige verblijftijd (RST) is vastgelegd in paragraaf 2.3.1. De benodigde veilige verblijftijd is voor het stay-in-place-concept vastgesteld op 90 minuten. De cumulatieve kansverdeling wordt daarom weergegeven op basis van enkel de beschikbare veilige verblijftijd. De cumulatieve kansverdeling van de beschikbare veilige verblijftijd is voor de drie gebouwtypen en drie doelgroepen weergegeven in figuur 3.4 tot en met figuur 3.6.



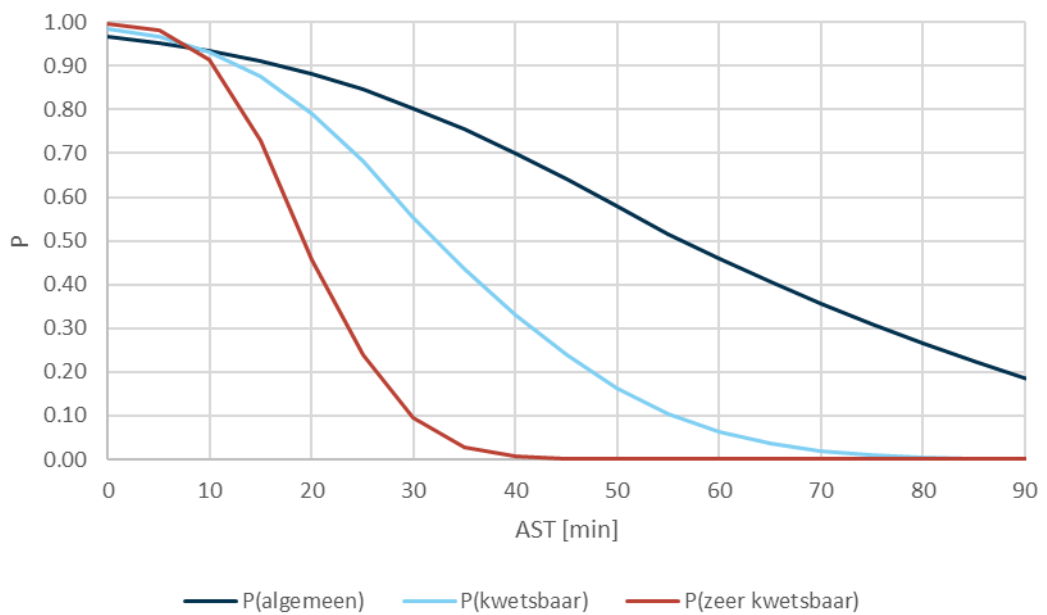
Figuur 3.4 Cumulatieve kansverdeling AST gebouwtipe corridor voor het stay-in-place-concept

Cum. kansverdeling AST Corridor met vide stay-in-place



Figuur 3.5 Cumulatieve kansverdeling AST gebouwtype corridor met vide voor het stay-in-place-concept

Cum. kansverdeling AST Atrium stay-in-place



Figuur 3.6 Cumulatieve kansverdeling AST gebouwtype atrium voor het stay-in-place-concept

De betrouwbaarheid van het stay-in-place-concept kan gedefinieerd worden als de kans dat de beschikbare veilige verblijftijd langer is dan de benodigde veilige verblijftijd in de woning: $P(AST > RST)$. Deze betrouwbaarheid is voor de drie gebouwtypen en drie doelgroepen weergegeven voor een benodigde veilige verblijftijd van 90 minuten in tabel 3.4 en voor een benodigde veilige verblijftijd van 60 minuten in tabel 3.5.

Tabel 3.4 Betrouwbaarheid bij het stay-in-place-concept voor RST = 90 minuten

Gebouwtype	Betrouwbaarheid P (AST>RST)		
	Algemeen	Kwetsbaar	Zeer kwetsbaar
Corridor	0,23	0	0
Corridor met vide	0,23	0	0
Atrium	0,19	0	0

Tabel 3.5 Betrouwbaarheid bij het stay-in-place-concept voor RST = 60 minuten

Gebouwtype	Betrouwbaarheid P (AST>RST)		
	Algemeen	Kwetsbaar	Zeer kwetsbaar
Corridor	0,54	0,12	0
Corridor met vide	0,54	0,12	0
Atrium	0,46	0,06	0

De benodigde veilige verblijftijd is afhankelijk van meerdere factoren. In principe geldt bij een stay-in-place-concept dat deze tijd ten minste de tijd van de gehele brandduur dient te zijn. Ook nadat de brand uit is, kan er echter nog rook aanwezig zijn in het gebouw. Er moet dus iets gedaan worden om de 'normale' omstandigheden terug te brengen. In de huidige praktijk wordt dit gedaan door de brandweer, maar omdat de brandweer enkel een inspanningsverplichting en geen resultaatverplichting heeft (Brandweeracademie, 2014), is het niet wenselijk om dit op te nemen in het preventieve concept van een gebouw.

Voor de inzet van de brandweer geldt daarnaast ook dat de snelheid van de inzet van meerdere factoren afhankelijk is. Hoe groter het gebouw is, des te meer woningen verkend en eventueel geventileerd moeten worden. Hoe hoger de woning is gelegen waar de brand is, des te langer het inzet gereed maken voor de brandweer duurt. En hoe meer rook er in de vluchtroute hangt, des te lastiger het voor de brandweer is om de brand te lokaliseren. Het vorderen door een vluchtroute die vol met rook hangt, neemt ook meer tijd in beslag. De inzet van de brandweer kan zorgen voor extra rookverspreiding door bijvoorbeeld het blussen van de brand, het ventileren van het gebouw en het voortbewegen door vluchtroutes (Brandweeracademie, 2020b). Omdat de snelheid waarmee de brandweer de omstandigheden in het gebouw naar de 'normale' situatie terug kan brengen afhangt van het gebouw, de brand en de bewoners, is de betrouwbaarheid zowel voor een benodigde veilige verblijftijd van 60 als van 90 minuten weergegeven.

De bovenstaande redenen geven aan dat het terugbrengen van de omstandigheden in het gebouw naar de 'normale' situatie niet altijd zonder meer binnen 60 minuten zal plaatsvinden. Mogelijk kunnen ook andere maatregelen bijdragen aan de veiligheid van personen, zoals het tijdelijk verplaatsen van personen naar het balkon of het zelf ventileren van de woning door het openen van ramen. Deze maatregelen zijn in dit onderzoek niet beoordeeld. Op basis van de bovenstaande redenen wordt in het vervolg van de rapportage uitgegaan van een benodigde veilige verblijftijd van 90 minuten.

Op basis van de bovenstaande resultaten worden hieronder een aantal analyses gedaan.

Brandcondities

In alle gevallen wordt als eerste het toetscriterium van de verstikkende gassen overschreden. De verspreiding van rook naar andere woningen is hierbij hetgeen wat zorgt voor de overschrijding. De beschikbare veilige verblijftijd is het kortst in de woning boven de brandruimte, gevolgd door de woning naast de brandruimte. De beschikbare veilige verblijftijd is op de bouwlaag van de brand het langst in de woningen die aan de andere zijde van de gang dan de brandruimte gelegen zijn. Bij deze woningen aan de andere zijde van de gang geldt dat er twee barrières zijn om de rook tegen te houden: de scheiding tussen brandruimte en vluchtroute en de scheiding tussen vluchtroute en de woning aan de andere zijde van de gang.

Omdat de verspreiding van verstikkende gassen bepalend is voor de beschikbare veilige verblijftijd, zijn de inwendige luchtdichtheid en de koolmonoxideproductie (CO-yield) de stochastische variabelen die de grootste invloed hebben (in negatieve zin) op de beschikbare veilige verblijftijd.

Doelgroepen

Net als bij het ontvluchtingsconcept geldt: hoe kwetsbaarder de doelgroep (gevoeliger voor de brandcondities warmte, verstikkende gassen en zicht), des te lager de betrouwbaarheid van het stay-in-place-concept. Hoe kwetsbaarder de doelgroep, des te groter het risico is bij een brand. De betrouwbaarheid voor de algemene doelgroep varieert, afhankelijk van het type gebouw, tussen de 19 en 23 %. Voor de (zeer) kwetsbare doelgroep is de betrouwbaarheid op basis van de gehanteerde methode 0 %. De betrouwbaarheid bij het stay-in-place-concept is voor alle doelgroepen aanmerkelijk lager dan bij het ontvluchtingsconcept. Dat de betrouwbaarheid lager is, kan worden verklaard door het feit dat de huidige voorzieningen uit de bouwregelgeving niet zijn afgestemd op een stay-in-place-concept en daarmee niet zijn afgestemd op de benodigde veilige verblijftijd in het gebouw. Daarnaast is de betrouwbaarheid van het ontvluchtingsconcept voor de (zeer) kwetsbare doelgroep ook relatief laag.

Gebouwtypen

De betrouwbaarheid is voor alle gebouwtypen ongeveer gelijk. Dit komt omdat de rookverspreiding naar andere woningen (bijvoorbeeld naar de woning boven de brandruimte) niet sterk verschilt per gebouwtipe.

Samengevat

In vrijwel alle gevallen is de verspreiding van verstikkende gassen de bepalende factor voor de beschikbare veilige verblijftijd. Wanneer de productie van verstikkende gassen bij brand wordt beperkt of minder rook (verstikkende gassen) van de brandruimte naar andere

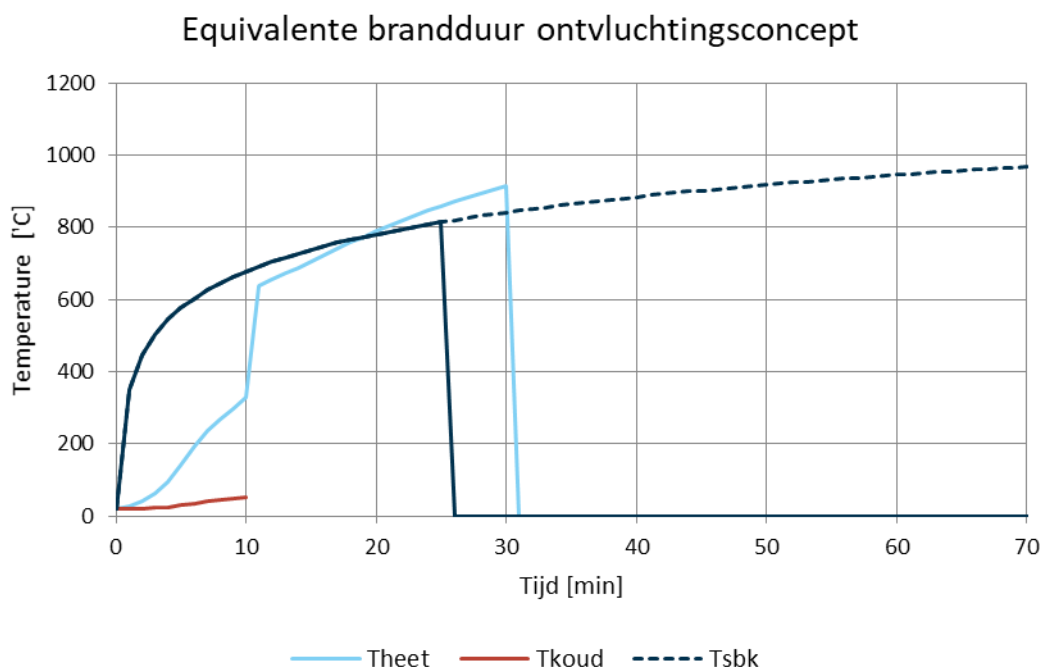
woningen wordt verspreid, zal de beschikbare veilige verblijftijd toenemen. Hoe kwetsbaarder de doelgroep, des te korter de beschikbare veilige verblijftijd en hoe kleiner de kans is dat personen veilig in het gebouw kunnen verblijven. Om een betrouwbaar stay-in-place-concept voor alle doelgroepen te realiseren, zijn aanvullende maatregelen voor alle doelgroepen noodzakelijk. De betrouwbaarheid van het stay-in-place-concept is voor alle doelgroepen en gebouwtypen lager dan bij het ontvluchtingsconcept.

3.2 Analyse thermische belasting constructie en scheidingsen

Naast het risico van rookverspreiding moet er voor het stay-in-place-concept ook gekeken worden naar het risico van de uitbreiding van brand (naar een andere woning) en het bezwijken van de draagconstructie. Deze risico's zijn ook van belang voor het veilig verblijven van personen in het gebouw. In deze paragraaf worden de resultaten van de AST-RST-analyse voor de thermische belasting op constructies en scheidingsen gepresenteerd en geanalyseerd. De resultaten van deze analyses zijn opgenomen in bijlage C.

3.2.1 Ontvluchtingsconcept

Voor het bepalen van de betrouwbaarheid voor de doelstellingen voorkomen uitbreiding van brand (naar een andere woning) en voorkomen bezwijken van de draagconstructie wordt als eerste gekeken naar de equivalente brandduur (in minuten standaard brandkromme) voor de natuurlijke brand (zoals beschreven in paragraaf 2.4.1) bij het ontvluchtingsconcept. Voor het ontvluchtingsconcept is uitgegaan van een benodigde veilige vluchttijd van 30 minuten (de totale vluchttijd waarbij de vluchtroute beschikbaar moet zijn). De equivalente brandduur voor het ontvluchtingsconcept is te zien in figuur 3.7.



Figuur 3.7 Equivalente brandduur voor het ontvluchtingsconcept

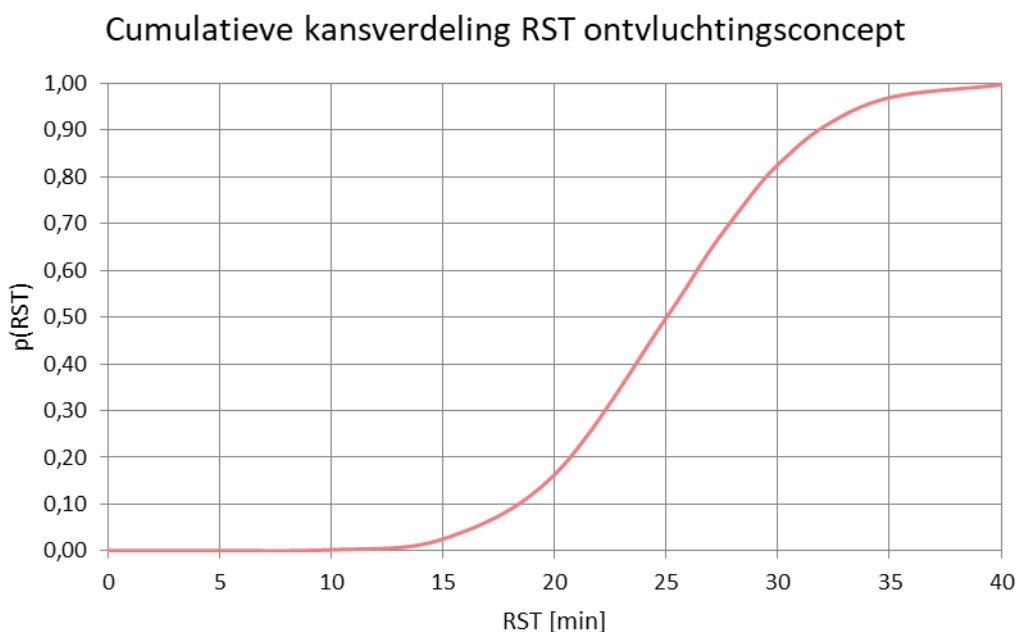
De equivalente brandduur, in minuten standaard brandkromme, bedraagt voor het ontvluchtingsconcept 25 minuten. Dit is de benodigde veilige vluchttijd (RST) in minuten standaard brandkromme. De beschikbare veilige vluchttijd (AST) volgt uit de prestatie-eisen

in het Bouwbesluit / Bbl. Tussen een woning en de extra beschermde vluchtroute geldt een WBDBO van 30 minuten. De beschikbare vluchttijd is voor het ontvluchtingsconcept dus 30 minuten. In principe geldt voor de AST-RST tussen een woning en de extra beschermde vluchtroute op basis van de equivalente brandduur: $AST - RST = 30 - 25 =$ een marge van 5 minuten standaard brandkromme.

Wat deze marge betekent voor de betrouwbaarheid van de scheidingsconstructies tussen een woning en de extra beschermde vluchtroute is bepaald door middel van een gevoeligheidsanalyse van de belangrijkste stochastische variabelen, zie paragraaf 2.4.1. De resultaten van deze analyse zijn weergegeven in bijlage C. Uit de gevoeligheidsanalyse volgt de spreiding van de benodigde veilige vluchttijd voor het ontvluchtingsconcept:

- > gemiddeld: 25 minuten standaard brandkromme
- > standaardafwijking: -5,1 , +5,3 minuten standaard brandkromme.

Deze spreiding geeft de cumulatieve kansverdeling zoals weergegeven in figuur 3.8.



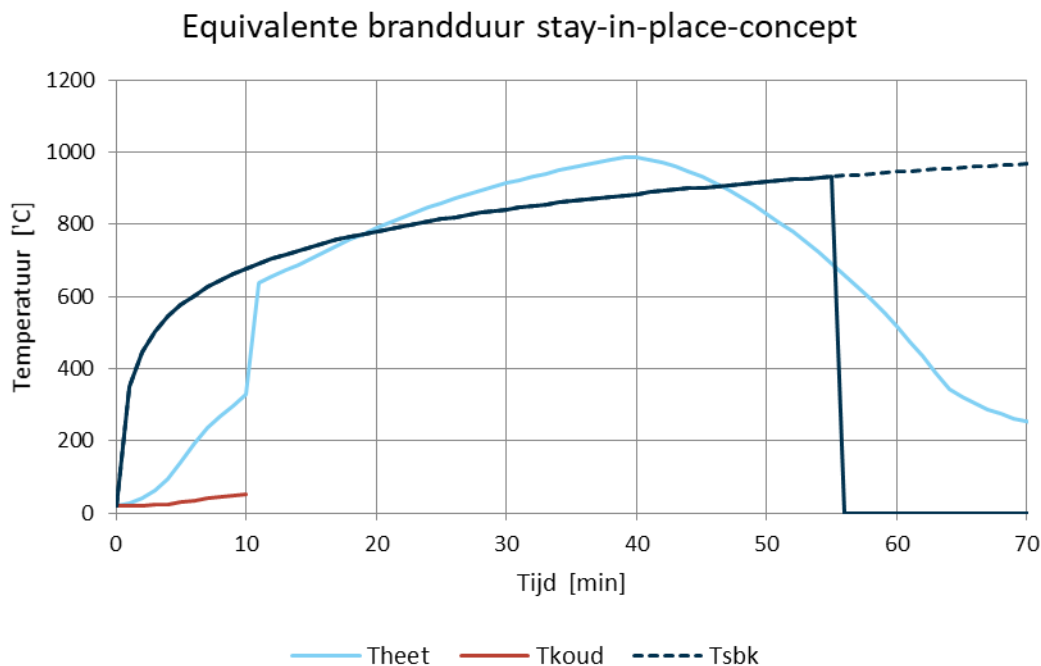
Figuur 3.8 Cumulatieve kansverdeling RST voor het ontvluchtingsconcept

Uit figuur 3.8 blijkt dat de kans op een veilige ontvluchting, $P(AST > RST)$, bij een WBDBO van 30 minuten tussen woningen en de extra beschermde vluchtroute 83 % bedraagt. Met andere woorden: de betrouwbaarheid op een veilige ontvluchting in het ontvluchtingsconcept vanuit de thermische belasting op constructies is 83 % bij een benodigde veilige vluchttijd van maximaal 30 minuten.

3.2.2 Stay-in-place-concept

Voor de bepaling van betrouwbaarheid voor de doelstellingen voorkomen uitbreiding van brand (naar een andere woning) en voorkomen bezwijken van de draagconstructie wordt als eerste gekeken naar de equivalente brandduur (in minuten standaard brandkromme) voor de natuurlijke brand (zoals beschreven in paragraaf 2.4.1). In tegenstelling tot het ontvluchtingsconcept is de benodigde verblijftijd in het stay-in-place-concept gelijk aan de totale natuurlijke brandduur. Op basis van simulaties bedraagt deze brandduur 64 minuten

(totdat de brandstof is opgebrand). De bepaling van de equivalente brandduur voor het stay-in-place-concept is weergegeven in figuur 3.9.



Figuur 3.9 Equivalente brandduur voor het stay-in-place-concept

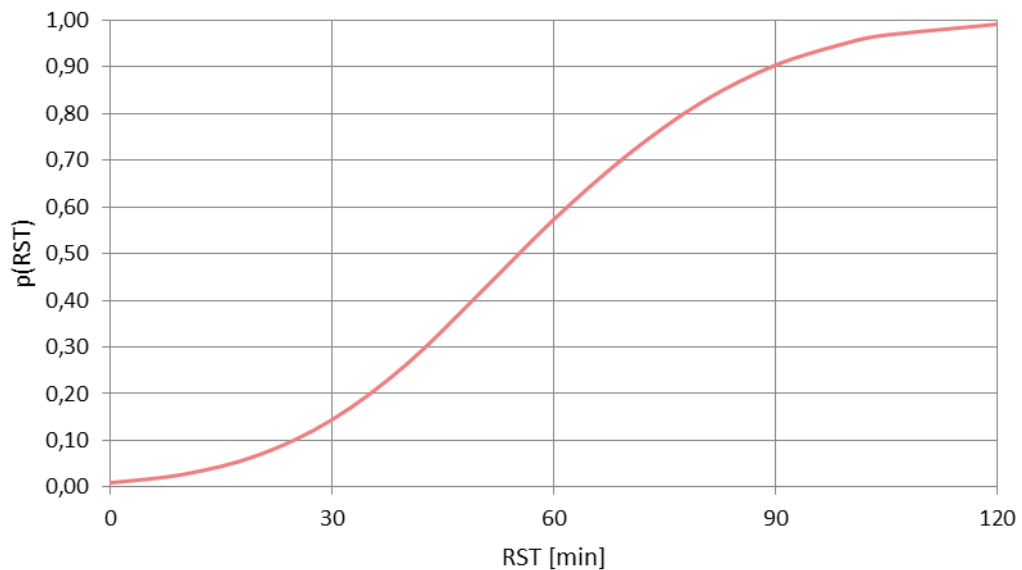
De equivalente brandduur, in minuten standaard brandkromme, bedraagt voor het stay-in-place-concept 55 minuten. Dit is de benodigde veilige verblijftijd (RST) in minuten standaard brandkromme. De beschikbare veilige verblijftijd (AST) volgt uit de prestatie-eisen in het Bouwbesluit / Bbl. Tussen woningen onderling geldt een WBDBO van 60 minuten. De beschikbare verblijftijd is voor het stay-in-place-concept dus 60 minuten. In principe geldt voor de AST-RST tussen woningen onderling op basis van de equivalente brandduur: $AST - RST = 60 - 55 =$ een marge van 5 minuten standaard brandkromme.

Wat deze marge betekent voor de betrouwbaarheid van de scheidingsconstructies tussen woningen is bepaald door middel van een gevoeligheidsanalyse van de belangrijkste stochastische variabelen, zie paragraaf 2.4.1. De resultaten van deze analyse zijn weergegeven in bijlage C. Uit de gevoeligheidsanalyse volgt de spreiding van de benodigde veilige verblijftijd voor het stay-in-place-concept:

- > gemiddeld: 55 min standaard brandkromme
- > standaardafwijking: -23,6 , +26,7 min standaard brandkromme.

Deze spreiding geeft de cumulatieve kansverdeling zoals weergegeven in figuur 3.10.

Cumulatieve kansverdeling RST stay-in-place-concept



Figuur 3.10 Cumulatieve kansverdeling RST voor het stay-in-place-concept

Uit figuur 3.10 blijkt dat bij een WBDBO tussen woningen van 60 minuten de kans op een veilig verblijf, $P(\text{AST} > \text{RST})$, 57 % bedraagt. Met andere woorden: de betrouwbaarheid van een veilig verblijf in het gebouw voor een stay-in-place-concept vanuit de thermische belasting op constructies bedraagt 57 % bij een benodigde veilige verblijftijd (RST = totale natuurlijke brandduur) van 64 minuten.

3.2.3 Samenvatting

Om een gelijk niveau van veiligheid te behalen bij een stay-in-place-concept, mag de betrouwbaarheid van de scheidingsconstructie tussen woningen niet lager zijn dan de betrouwbaarheid van de scheidingsconstructie tussen de woning en de extra beschermde vluchtroute bij een ontvluchtingsconcept. Om een gelijk niveau van veiligheid te behalen moet de betrouwbaarheid van de scheidingsconstructie tussen woningen dus verhoogd worden van 57 % (betrouwbaarheid stay-in-place bij 60 minuten WBDBO) naar 83 % (betrouwbaarheid ontvluchting bij 30 minuten WBDBO). In figuur 3.10 is te zien dat de WBDBO van de scheidingsconstructie dan verhoogd moet worden naar 80 minuten. In de praktijk betekent dat een verhoging van de WBDBO-eis tussen woningen van 60 naar 90 minuten.

Het ontvluchtingsconcept volgens het Bouwbesluit / Bbl gaat uit van redundante vluchtroutes. Deze redundantie ontbreekt in het stay-in-place-concept.¹⁶ Om het gebrek aan redundantie in het stay-in-place-concept te compenseren, zou de betrouwbaarheid moeten worden verhoogd en daarmee de faalkans beperkt tot circa $P(\text{f|fi}) = (0,17)^2 = 0,029$. Met andere woorden: de betrouwbaarheid moet worden verhoogd tot 97 %. In figuur 3.10 is te zien dat de WBDBO van de scheidingsconstructie dan verhoogd moet worden naar 105 minuten. In de praktijk betekent dat een verhoging van de WBDBO-eis tussen brandcompartimenten naar 120 minuten.

¹⁶ Tenzij de buitenruimte bij een woning als redundante voorziening wordt aangemerkt om gedurende enige veilige tijd te verblijven

Hierbij moet worden opgemerkt dat de redundantie in vluchtroutes volgens het Bouwbesluit / Bbl alleen aanwezig is voor verticale vluchtroutes en niet voor het horizontale deel in de corridor. Dat houdt in dat het volledig compenseren van het gebrek aan redundantie in het stay-in-place-concept een te conservatief uitgangspunt is. In elk geval kan worden gesteld dat de WBDBO van 60 minuten tussen woningen in het stay-in-place-concept moet worden vergroot naar 80 tot 105 minuten. Een verhoging van de WBDBO met 30 minuten tussen woningen ten opzichte van de voorschriften in het Bouwbesluit / Bbl lijkt een passende verhoging van eenzelfde betrouwbaarheid te bereiken voor het stay-in-place-concept.

De draagconstructie van een woongebouw waarin het stay-in-place-concept wordt toegepast, moet ook voldoende betrouwbaar zijn. Om dit te bereiken moet de weerstand tegen brand van de draagconstructie van een woongebouw ten minste even groot zijn als van de brandcompartimentering en daarnaast 30 minuten hoger zijn dan de eis aan de instandhouding van de draagconstructie volgens het Bouwbesluit / Bbl. Oftewel: eenzelfde mate van verhoging van de weerstand tegen brand als voor de scheidingsconstructie tussen woningen onderling.

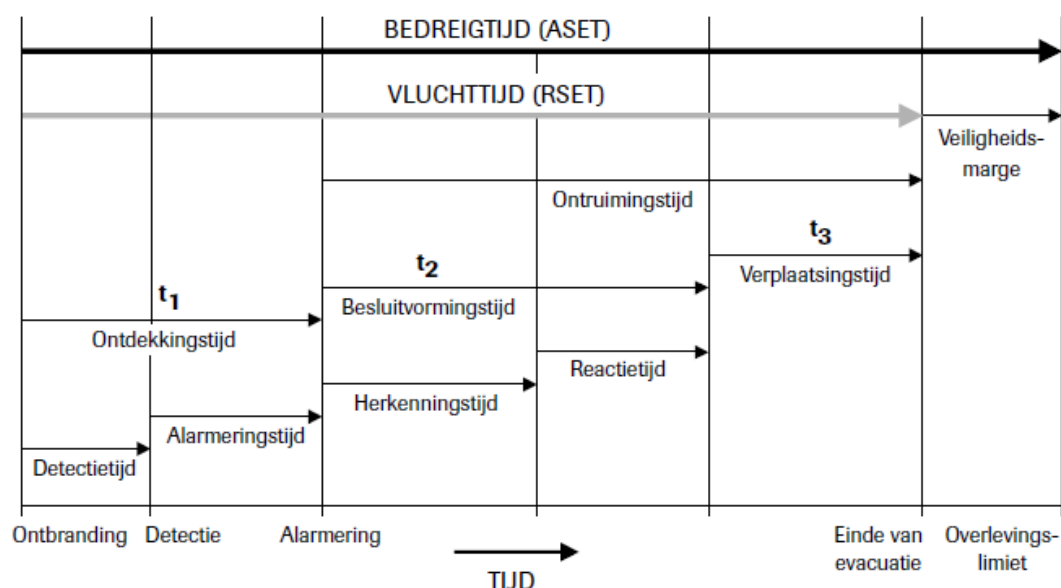
Naast het verhogen van de weerstand tegen brand van draag- en scheidingsconstructies bij toepassing van het stay-in-place-concept, is het ook mogelijk om de thermische belasting te verlagen met behulp van een automatische blusinstallatie.

4 Analyse menselijk gedrag

In dit hoofdstuk wordt de kwalitatieve analyse van het menselijk gedrag besproken. Er wordt toegelicht welk gedrag personen kunnen vertonen bij zowel een ontvluchtungs- als een stay-in-place-concept. Ook worden de belangrijkste relevante factoren van het menselijk gedrag beoordeeld op hun impact op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden.

4.1 Menselijk gedrag bij een ontvluchtungsconcept

In deze paragraaf volgt een analyse van menselijk gedrag tijdens het vluchten. Dit doen we aan de hand van de verschillende fases van de ontvluchting (ontdekking, besluitvorming en verplaatsing, zie figuur 4.1).



Figuur 4.1 Tijdlijn ontvluchting (Kobes, 2008)

4.1.1 Ontdekking

Er zijn veel verschillende signalen die van invloed zijn op het al dan niet interpreteren van een situatie die wijst op brand door een bewoner. De kans dat een bewoner een situatie interpreteert als brand neemt toe naarmate hij of zij daarover een aantal of een consistente reeks signalen ontvangt (bijvoorbeeld rook, vlammen én hitte). Andere factoren die de kans vergroten dat de bewoner een brand als zodanig herkent, zijn onder meer het waarnemen van sociale signalen (personen horen schreeuwen of anderen zien handelen), signalen ontvangen van officiële bronnen (bijvoorbeeld de brandweer), aanwijzingen ontvangen van bekende bronnen (bijvoorbeeld vrienden of familie). Factoren die de interpretatie van signalen die wijzen op brand kunnen belemmeren, zijn: blootstelling aan giftige gassen uit rook gedurende een bepaalde periode (Kuligowski, 2009), alcoholgebruik, verminderd bewustzijn en/of bepaalde beperkingen (visueel, geestelijk et cetera).

Op plaatsen waar bewoners dicht bij het vuur (en wakker) zijn, kunnen de eerste signalen van de brand (geur, zichtbare rook of vlammen) al in een heel vroeg stadium worden waargenomen (Gamache, 2002). Wanneer bewoners verder van de brand verwijderd zijn, bijvoorbeeld in een andere ruimte, kan de brand tot een aanzienlijke omvang groeien voordat de signalen worden waargenomen en herkend. In deze gevallen wordt de brand waarschijnlijk ontdekt door het geluid van de brand, brekend glas, geur, zichtbare rook of vlammen. Zodra signalen die wijzen op brand worden herkend, gaan personen die zich niet in de onmiddellijke nabijheid van de brand bevinden, deze signalen normaal gesproken onderzoeken om de bevestiging te krijgen dat het daadwerkelijk om brand gaat. Vervolgens kunnen zij acties ondernemen zoals het activeren van een alarm, anderen in de buurt waarschuwen en vluchten (Garrett, 1999).

4.1.2 Besluitvorming

Na het ontvangen van signalen en het interpreteren van deze signalen als brand, zullen bewoners bij een ontvluchtingsconcept normaal gesproken overgaan tot vluchten. Deze fysieke beweging wordt echter pas gestart na een vertragingperiode: de 'pre-movement tijd' (besluitvormingstijd). De duur van deze fase waarin wordt overgegaan tot vluchten is afhankelijk van de ontvangst, perceptie en interpretatie van de signalen door bewoners en de omstandigheden waarmee ze worden geconfronteerd. Denk hierbij aan brandomstandigheden, acties van anderen, alarmtype, nabijheid van het incident, enzovoort (Geoerg et al., 2019). De pre-movement tijd is onderzocht in verschillende studies (Forsberg, Kjellström, Frantzich, Mossberg, & Nilsson, 2019; Kobes, Helsloot, De Vries, & Post, 2010; Olsson & Regan, 2001). Algemeen kan worden gesteld dat de gemiddelde pre-movement tijd minder dan vijf minuten bedraagt. In woongebouwen speelt hierbij mee dat de pre-movement tijd langer zal duren dan in andere bouwtypen, omdat bewoners mogelijk slapen of niet aangekleed zijn waardoor zij niet direct zullen vluchten. De tijden voor evacuatie zijn daarom over het algemeen langer dan bij andere bouwtypen (British Standards Institution, 2004; NFPA, 2012). Ook kan het zijn dat bewoners emotioneel zodanig verbonden zijn aan het gebouw of hun spullen, dat zij terughoudender zijn om hun eigendom te verlaten of zelfs besluiten om terug te keren naar hun woning tijdens het vluchten. Daarnaast verloopt de informatieverspreiding langzamer door compartimentering en kunnen sociale verbanden het vluchtgedrag vertragen (Ronchi & Nilsson, 2013).

4.1.3 Verplaatsing

De standaard loopsnelheid waar het Bouwbesluit / Bbl op gebaseerd is, is 1 m/s. In de Nota van toelichting van het Bbl staat hierover het volgende:

De grenswaarde van 30 m hangt samen met het uitgangspunt dat personen 30 seconden met ingehouden adem en een snelheid van 1 m/s door een ruimte met rook kunnen lopen.

Deze snelheid zal in de praktijk bij veel personen lager liggen. Denk aan ouderen of personen die minder mobiel zijn. Hun loopsnelheid kan lager liggen doordat zij gebruikmaken van hulpmiddelen zoals een rollator of wandelstok of hulp van anderen nodig hebben om te vluchten. Ook individuele factoren zoals reactievermogen, vertrouwdheid met het gebouw en sociale normen kunnen van invloed zijn op de bewegingssnelheid (Geoerg et al., 2019). Zelfs personen die in een normale situatie als 'gemiddeld mobiel' worden aangemerkt, zijn in geval van brand mogelijk niet zo mobiel als wordt aangenomen. Met name in gebouwen waar trappen afgedaald moeten worden, kunnen 'tijdelijke beperkingen' invloed hebben op

de snelheid van vluchten. Deze tijdelijke beperkingen kunnen ontstaan door de brand, bijvoorbeeld door een lichamelijke reactie op rook en hitte, maar ook door herstel van operaties, overgewicht, astma, zwangerschap en dergelijke (Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid Nibra, 2008). Daarnaast ontstaat bij brand vaak groepsvorming; zo zal een gezin bij elkaar blijven. De groep zal een natuurlijke leider volgen, waarbij de snelheid van de groep wordt bepaald door de langzaamste persoon. Bovendien is het gezien de belemmering door rook (optische dichtheid, warmte en giftigheid van de rook) ook maar de vraag of aan de standaard loopsnelheid kan worden voldaan.

Technische voorzieningen kunnen de veiligheid in een gebouw verhogen. Zo kunnen gesloten deuren zorgen voor het beperken van de rookverspreiding. Daarom zijn werkende deurdrangers belangrijk: hierdoor hangt het sluiten van deuren niet af van personen die daar tijdens het vluchten waarschijnlijk niet aan denken. Deurdrangers kunnen echter slecht onderhouden zijn of onklaar gemaakt worden, omdat ze in de praktijk als belemmerend ervaren worden in het dagelijkse gebruik. De kans hierop is echter per 1 juli 2021 kleiner dan voorheen, omdat volgens het Bouwbesluit 2012 de verplichting geldt dat deurdrangers op woningtoegangsdeuren alleen bij brand mogen functioneren. Deurdrangers kunnen overigens zorgen voor een langere benodigde veilige vluchttijd (verplaatsingstijd), bijvoorbeeld voor personen die vluchten met een rollator. Het is belangrijk dat voorzieningen worden afgestemd op de wijze van ontvluchten van de bewoners in een gebouw.

Samengevat

Bij een ontvluchtingsconcept zijn verschillende factoren van invloed op de benodigde ontvluchtingstijd. Ten eerste zal een bewoner de signalen die hij/zij ontvangt moeten interpreteren als signalen die wijzen op brand. Na deze fase zullen bewoners bij een ontvluchtingsconcept over het algemeen overgaan tot vluchten, waarbij rekening gehouden moet worden met een pre-movement tijd. Wanneer bewoners daadwerkelijk overgaan tot vluchten, kan hun loopsnelheid in de praktijk lager liggen dan waar in huidige regelgeving van wordt uitgegaan. Dit heeft te maken met (tijdelijke) verminderde mobiliteit, individuele factoren zoals reactievermogen, de vertrouwdheid met het gebouw en groepsvorming.

4.2 Gevolgen van menselijk gedrag voor het ontvluchtingsconcept

In deze paragraaf wordt beschreven wat de gevolgen voor de ontvluchting kunnen zijn van het menselijk gedrag zoals beschreven in bovenstaande paragraaf. De volgende gedragingen kunnen van invloed zijn:

- > Een brand wordt later ontdekt waardoor later wordt gestart met vluchten en de vluchtroute al geblokkeerd kan zijn door rook.
- > Personen vluchten door de rook.
- > Personen hebben een langere vluchttijd in de vluchtroute.
- > De deur van de brandruimte blijft openstaan na het ontvluchten van de brandruimte, bijvoorbeeld door een deurdranger die niet goed (meer) functioneert.

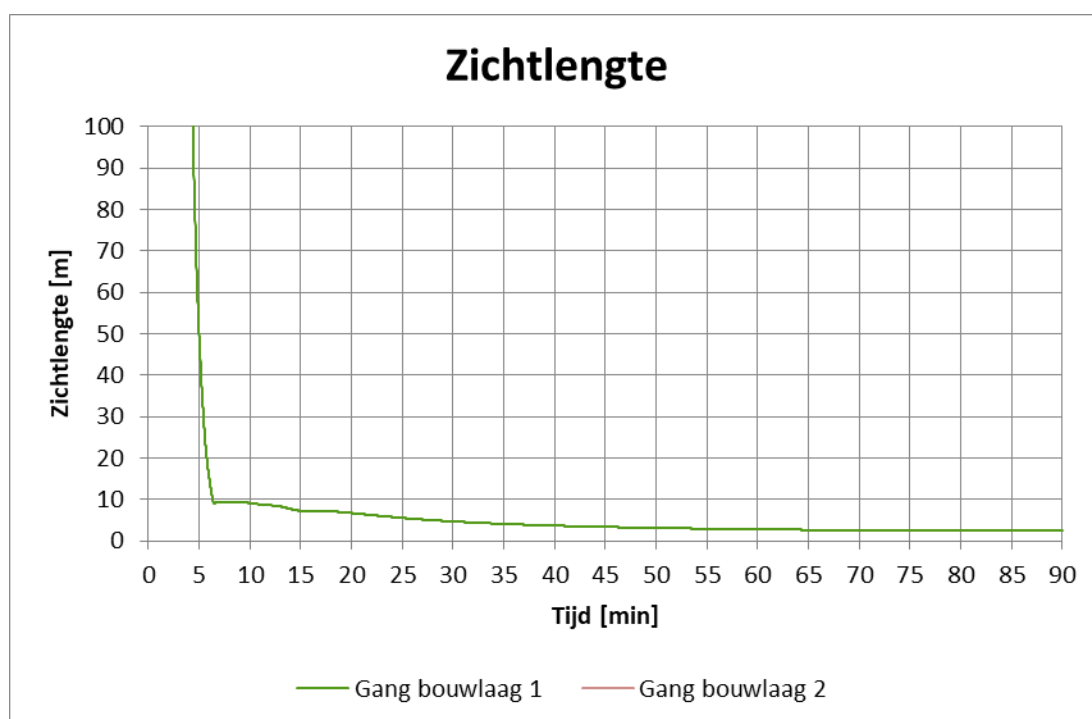
Hieronder wordt omschreven wat de gevolgen van deze gedragingen kunnen zijn. Dit gebeurt aan de hand van de resultaten van het gebouwtype met corridorontsluiting zonder variaties. Vervolgens wordt omschreven wat het effect is bij de andere twee gebouwtypen:

corridorontsluiting met vides en atrium. De resultaten van de zone-simulaties die hiervoor zijn uitgevoerd zijn op te vragen bij het NIPV.

4.2.1 Later vluchten en een langere vluchttijd

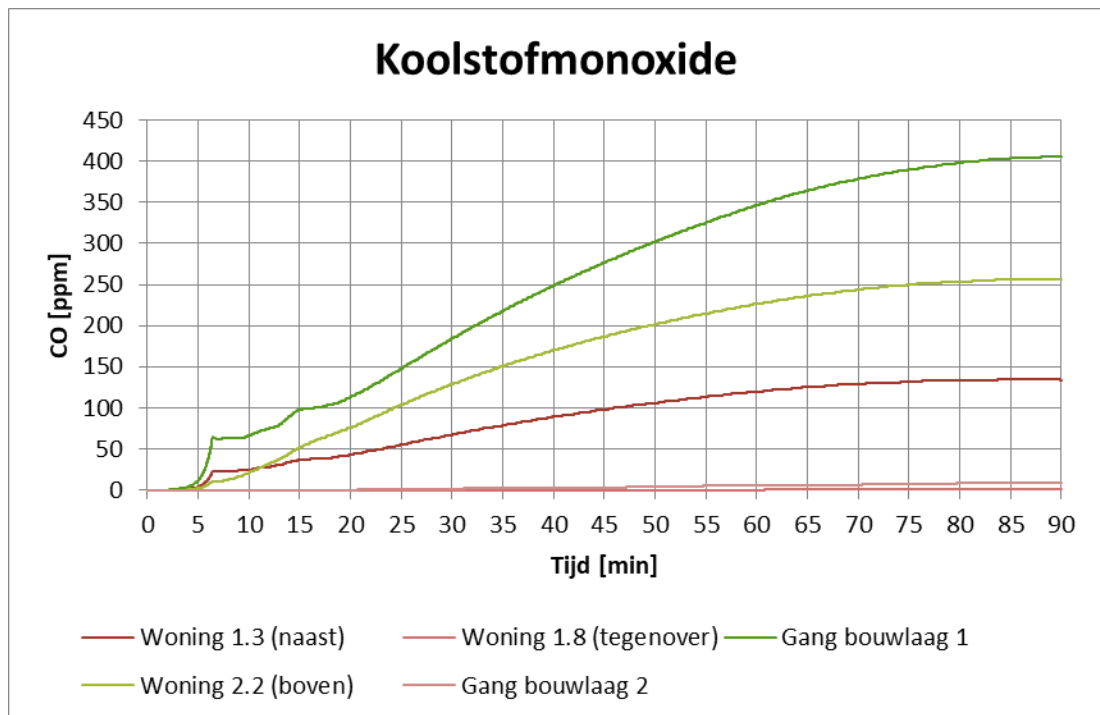
Het later ontdekken van de brand, het door de rook vluchten en een langere vluchttijd hebben gevolgen voor de blootstelling (dosis) aan warmte en/of verstikkende gassen. Hierbij kan sprake zijn van een versterkend effect: meer rook in de vluchtroute kan een snellere desoriëntatie tot gevolg hebben, en een snellere desoriëntatie kan vervolgens weer leiden tot een langere benodigde veilige vluchttijd in de vluchtroute.

Of vluchten uit een woning grotere risico's met zich meebrengt dan het verblijven in de woning, hangt sterk af van de omstandigheden in de desbetreffende woning en in de vluchtroute daaraan grenzend. In figuur 4.2 is de zichtlengte in de vluchtroute op de eerste bouwlaag (bouwlaag brandruimte) weergegeven. De zichtlengte in de gang op bouwlaag twee blijft meer dan 100 meter gedurende 90 minuten.



Figuur 4.2 Zichtlengte gang basismodel woongebouw met corridorontsluiting

De concentratie koolmonoxide is sterk bepalend voor de blootstelling aan verstikkende gassen tijdens het vluchten. De concentratie verschilt sterk voor de verschillende ruimtes in het woongebouw met corridorontsluiting (zie figuur 4.3)



Figuur 4.3 Koolstofmonoxideconcentratie in enkele woningen en gangen op de twee bouwlagen voor het woongebouw met corridorontsluiting

Woningen bouwlaag brandruimte

In figuur 4.2 is te zien dat de zichtlengte in de vluchtroute (gang) op bouwlaag van de brandruimte (bouwlaag 1) na bijna 28 minuten daalt tot minder dan 5 meter. Dit betekent dat na 28 minuten het toetscriterium voor de brandconditie zicht voor de algemene doelgroep in deze gang wordt overschreden. Vluchten via deze gang is op basis van dit criterium niet meer goed mogelijk.

In figuur 4.3 is te zien dat de concentratie koolstofmonoxide in de gang op de eerste bouwlaag oploopt tot meer dan 400 ppm. Bij de woning direct naast de brandruimte (woning 1.3) loopt de concentratie koolstofmonoxide op tot 135 ppm. Voor de (zeer) kwetsbare doelgroep geldt dat het toetscriterium voor verstikkende gassen wordt overschreden bij een verblijf van 90 minuten in deze woning. Indien vluchten niet (meer) mogelijk is, is het verblijven in de woning ook geen alternatief. Indien een buitenruimte beschikbaar is, zou hier enige tijd verbleven kunnen worden. Als er ramen zijn die open kunnen, zou enige tijd verbleven kunnen worden in de raamopening, uiteraard indien men hiertoe in staat is.

In de woning aan de andere zijde van de gang op de eerste bouwlaag (woning 1.8) blijft de concentratie koolstofmonoxide lager dan 10 ppm. In deze woning kunnen alle doelgroepen tenminste 60 minuten veilig verblijven. Vluchten via de gang is op basis van het toetscriterium voor de brandconditie zicht niet mogelijk. Ook de concentratie koolmonoxide is in de gang (meer dan 400 ppm) fors hoger dan in de woning (10 ppm). Vluchten leidt tot blootstelling aan slechtere condities dan verblijven in de woning.

Personen kunnen door signalen die wijzen op brand toch besluiten om te gaan vluchten. Doordat het zicht in de vluchtroute ernstig belemmerd is, kan de vluchttijd langer zijn. Om in beeld te brengen wat het effect hiervan is, is in tabel 4.1 de beschikbare veilige vluchttijd (AST) weergegeven voor woning 1.8 in het woongebouw met corridorontsluiting bij

verschillende benodigde veilige vluchttijden in de vluchtroute. De beschikbare veilige vluchttijd is hier bepaald op basis van de dosis verstikkende gassen die personen oplopen gedurende de verblijftijd in de woning en de vluchttijd in de gang die daarop volgt.

Tabel 4.1 Beschikbare veilige vluchttijd (AST) vanuit woning 1.8 in het woongebouw met corridorontsluiting bij verschillende vluchttijden in de gang

Benodigde veilige vluchttijd in de gang [min.]	Beschikbare veilige vluchttijd AST [min.] per doelgroep		
	Algemeen	Kwetsbaar	Zeer kwetsbaar
2	> 60	> 60	35
5	> 60	> 60	18,4
10	> 60	31,8	5,1

Uit tabel 4.1 blijkt dat een langere benodigde veilige vluchttijd in de vluchtroute (gang) kan leiden tot een kortere beschikbare veilige vluchttijd. Dit geldt vooral voor de zeer kwetsbare doelgroep. Omdat de concentratie verstikkende gassen gedurende langere tijd in de vluchtroute hoger is dan in woning 1.8, kan een langere vluchttijd in de gang zorgen voor het overschrijden van het toetscriterium voor verstikkende gassen en daarmee voor het verkorten van de beschikbare veilige vluchttijd. Voor de algemene en kwetsbare doelgroep heeft dit niet of nauwelijks gevolgen voor de beschikbare veilige vluchttijd (> 30 minuten). Bij de zeer kwetsbare doelgroep is dat wel het geval. De beschikbare veilige vluchttijd neemt af, terwijl deze doelgroepen door een beperkte zichtlengte in de gang juist meer vluchttijd nodig hebben.

Woningen tweede bouwlaag

De zichtlengte in de vluchtroute op de tweede bouwlaag (bovenliggende verdieping) blijft meer dan 50 meter gedurende 90 minuten, waardoor vluchten voor alle doelgroepen op basis van dit criterium goed mogelijk is.

Uit figuur 4.3 blijkt dat de concentratie koolstofmonoxide voor woning 2.2 (de woning boven de brandruimte) tot boven de 250 ppm oploopt. Voor de corridor (gang) op de tweede bouwlaag geldt dat de concentratie koolstofmonoxide lager is dan 10 ppm. Hoe langer iemand in woning 2.2 verblijft, hoe hoger de blootstelling aan verstikkende gassen zal zijn. Bij een langer verblijf is echter ook een ontvluchting na 30 minuten nog mogelijk. De zichtlengte in de gang op de tweede bouwlaag is voldoende voor een veilige ontvluchting en de concentratie koolstofmonoxide in de vluchtroute is lager dan in de woning.

Andere bouwtypen

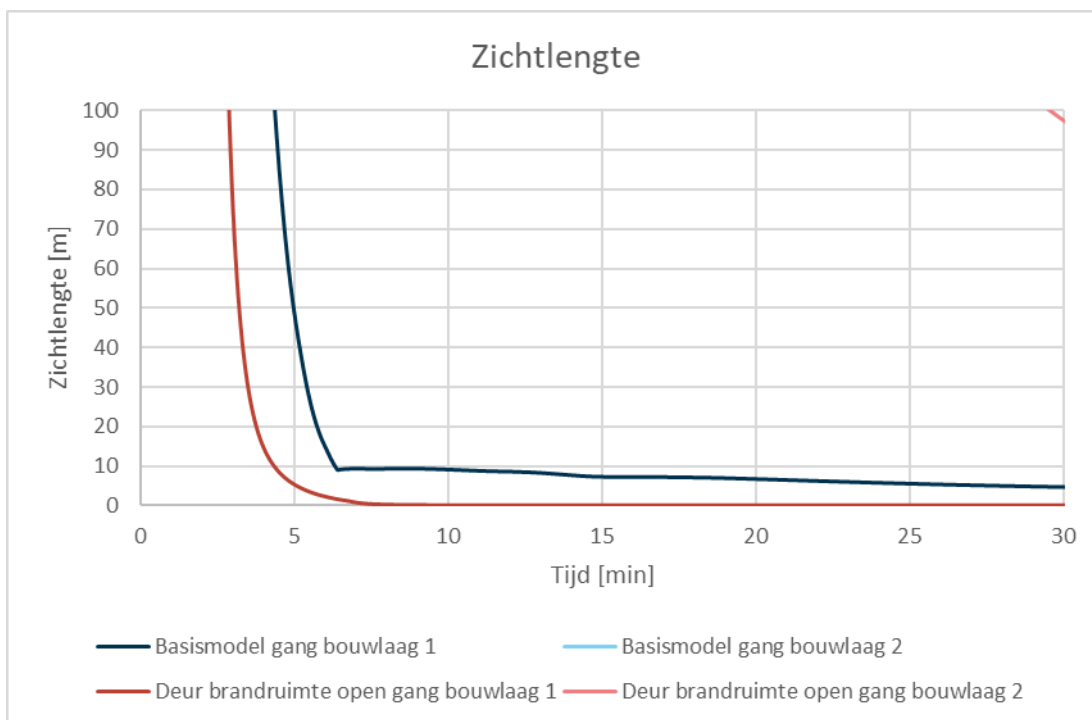
Het effect van later vluchten en een langere vluchttijd is hiervoor beschreven voor het woongebouw met corridorontsluiting. Bij een dergelijk woongebouw is de koolstofmonoxideconcentratie in de gang op bouwlaag 1 (piek 400 ppm) fors hoger dan in de gang op bouwlaag 2 (piek 8 ppm). Hierdoor neemt de AST op bouwlaag 1 voor de zeer kwetsbare groep sterk af bij een langere benodigde veilige vluchttijd in de gang. Dit is niet het geval op bouwlaag 2, omdat de concentratie koolstofmonoxide gedurende lange tijd laag blijft.

Bij het woongebouw met een door vides gekoppelde gemeenschappelijke verkeersruimte worden de verstikkende gassen die vanuit de brandruimte de gang op stromen, verdeeld over de gangen op beide bouwlagen. De koolstofmonoxideconcentratie is in de gang op bouwlaag 1 daarom lager dan bij het woongebouw met corridorontsluiting (piek 250 ten opzichte van 400 ppm). De koolstofmonoxideconcentratie is in de gang op bouwlaag 2 juist hoger dan bij het woongebouw met corridorontsluiting (piek 150 ten opzichte van 8 ppm). Het effect van een langere benodigde veilige vluchttijd in de vluchtroute op bouwlaag 1 is bij dit type woongebouw daarom minder groot dan bij het woongebouw met corridorontsluiting. De afname van de beschikbare veilige vluchttijd voor woning 1.8 zal daarom minder groot zijn dan aangegeven in tabel 4.1. Voor woning 2.2 op bouwlaag 2 echter, zal er nu ook sprake zijn van een afname van de beschikbare veilige vluchttijd, in tegenstelling tot de situatie bij een corridorontsluiting. Hoewel de concentratie koolstofmonoxide in woning 2.2 bij een corridor met gekoppelde vides hoger is dan in de gang op bouwlaag 2 en daarmee vluchten de beste optie lijkt, kan deze ontvluchting sterk belemmerd worden door een beperkte zichtlengte op de gang.

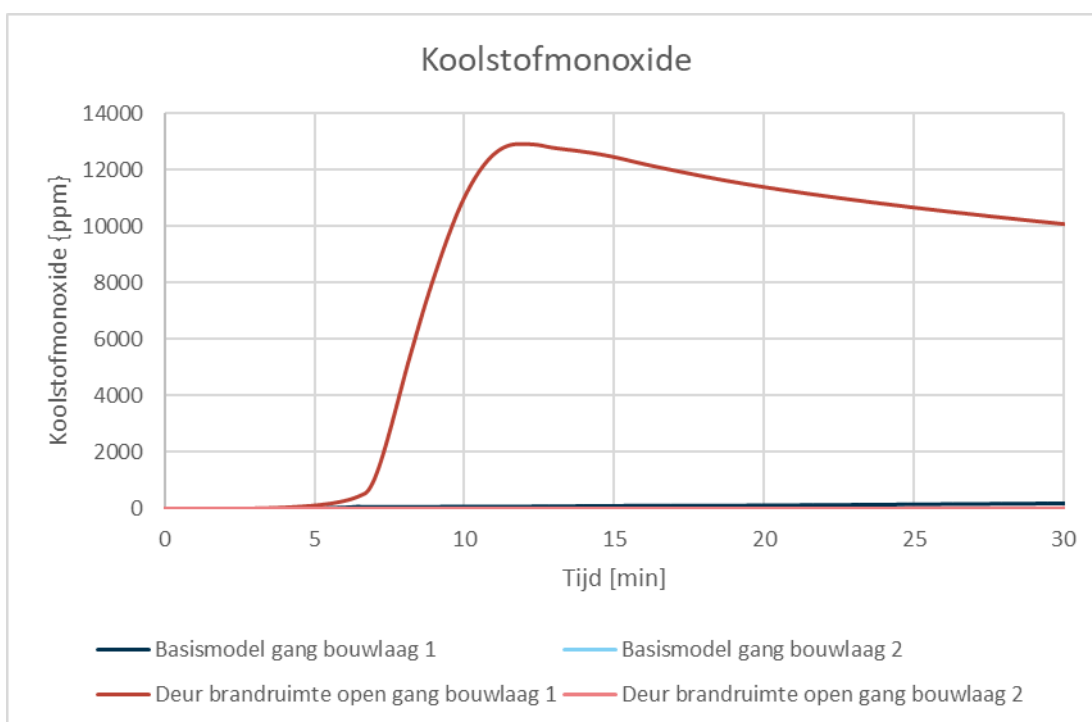
Voor het woongebouw met ontsluiting via een atrium geldt dat het effect van een langere benodigde veilige vluchttijd voor het atrium relatief beperkt is. Vanwege het grote volume van het atrium blijft de concentratie koolstofmonoxide in het atrium laag (piekconcentratie 24 ppm). De zichtlengte in het atrium blijft voor de algemene en kwetsbare doelgroep langere tijd voldoende. Voor de zeer kwetsbare doelgroep wordt het toetscriterium voor de brandconditie zicht na 30 minuten overschreden.

4.2.2 Deur van de brandruimte blijft openstaan

Zoals eerder is opgemerkt, functioneert een zelfsluitende deur in de praktijk niet altijd goed. In zo'n geval kan de deur bij het vluchten uit de woning open blijven staan, waardoor rook zich makkelijker naar de vluchtroute kan verspreiden. Een open deur van de brandruimte heeft ook als gevolg dat er extra zuurstof naar de brand kan worden toegevoerd. De brand kan daardoor langer toenemen in brandvermogen en wordt pas op een later moment zuurstof gecontroleerd. Dit zorgt ook voor een toename van de rookproductie. Welke gevolgen dit heeft voor de zichtlengte en de koolstofmonoxideconcentratie in de gangen op bouwlaag 1 en 2 is te zien in figuur 4.4 en figuur 4.5.



Figuur 4.4 Zichtlengte in de gangen voor het woongebouw met corridorontsluiting bij deur brandruimte open / dicht



Figuur 4.5 Concentratie koolstofmonoxide in de gangen voor het woongebouw met corridorontsluiting bij deur brandruimte open / dicht

In figuur 4.4 is te zien dat de zichtlengte in de gang op bouwlaag 1 binnen enkele minuten nadat de deur tussen de brandruimte en de gang wordt geopend minder is dan één meter. In figuur 4.5 is te zien dat de concentratie koolstofmonoxide in de gang op bouwlaag 1 binnen enkele minuten nadat de deur tussen de brandruimte en de gang wordt geopend, stijgt tot concentraties die zelfs voor de algemene doelgroep binnen 1-2 minuten tot overschrijding

van het toetscriterium voor verstikkende gassen kunnen leiden. Hieruit kan worden geconcludeerd dat vluchten via de gang op bouwlaag 1 binnen enkele minuten na het openen van de deur van de brandruimte niet meer mogelijk is. Dit betekent voor personen in andere woningen aan de gang dat zij afhankelijk zijn van een redding door de brandweer. Eenzelfde conclusie werd ook getrokken in het onderzoek naar rookverspreiding (Brandweeracademie, 2020b).

In paragraaf 4.4.3 is beschreven welk effect een open deur van de brandruimte heeft op de beschikbare veilige verblijftijden in de woning. Daaruit blijkt bovendien dat personen niet gedurende langere tijd veilig in hun woning kunnen verblijven wanneer de corridor is geblokkeerd door rook. Ook deze conclusie werd reeds getrokken in het onderzoek naar rookverspreiding (Brandweeracademie, 2020b).

Voor de gang op bouwlaag 2 is er eveneens sprake van een verslechtering van de zichtlengte en een toename van verstikkende gassen bij een openstaande deur van de brandruimte. Dit geldt echter in mindere mate dan voor bouwlaag 1. De zichtlengte bedraagt na dertig minuten nog meer dan 50 meter.

Uit de bovenstaande resultaten kan worden geconcludeerd dat het sluiten van de deur na het ontvluchten van de brandruimte een belangrijke voorwaarde is om veilig te kunnen vluchten via de gang waaraan de brandruimte is gelegen.

Andere gebouwtypen

Het effect van het openen van deur naar de gang is beschreven voor het woongebouw met corridorontsluiting. Voor het woongebouw met een door vides gekoppelde verkeersruimte geldt dat er twee keer zoveel zuurstof aanwezig is in de gangen in vergelijking met het woongebouw met corridorontsluiting zonder vides: het volume is immers ook twee keer zo groot. De rook kan zich door de vides snel verder verspreiden naar bouwlaag 2. Door de beschikbare zuurstof kan de brand, nog meer dan bij het woongebouw met corridorontsluiting zonder vides, langer door blijven branden met een hoger brandvermogen. De grotere hoeveelheid rook die hierbij vrijkomt, kan zich zowel naar de corridor op bouwlaag 1 als naar bouwlaag 2 verspreiden. De vluchtroute op zowel bouwlaag 1 als 2 wordt als gevolg van de (snellere) rookverspreiding ongeveer even snel belemmerd als bij het woongebouw met corridorontsluiting zonder vides. Dit betekent dat vluchtroute van tweemaal zoveel woningen wordt belemmerd (en dus dat er sprake is van een groter groepsrisico).

Bij het woongebouw met ontsluiting via een atrium geldt ook dat er meer zuurstof beschikbaar is en dat een belemmerde vluchtroute betekent dat voor veel meer woningen veilig vluchten niet mogelijk is (en dus dat er sprake is van een groter groepsrisico).

Uit het bovenstaande blijkt nog meer dan bij een woongebouw met corridorontsluiting dat het sluiten van de deur van de brandruimte na het vluchten een belangrijke voorwaarde is om het vluchten uit andere woningen mogelijk te maken.

4.3 Menselijk gedrag bij een stay-in-place-concept

4.3.1 Voorzieningen in het gebouw

Bij een stay-in-place-concept geldt het uitgangspunt dat bewoners, wanneer er geen brand in de eigen woning is, in hun woning blijven. De veiligheid van een dergelijke situatie kan

gewaarborgd worden door bouwkundige maatregelen. Zo kan (brand)compartimentering helpen om de condities ter plaatse te verbeteren en overwogen worden als maatregel om het stay-in-place-concept mogelijk te maken (Ronchi & Nilsson, 2013). Ook kan met een combinatie van bronmaatregelen (bijvoorbeeld brandveilig meubilair of een sprinklerinstallatie) en effectmaatregelen (bijvoorbeeld rookwerendheid) worden bereikt dat bewoners gedurende langere tijd veilig in de eigen woning kunnen verblijven (Brandweeracademie 2020b).

Het in goede staat houden van brandveiligheidsvoorzieningen gedurende de gehele levensfase van een gebouw is een belangrijke voorwaarde voor het stay-in-place-concept. Deurdrangers op een deur kunnen bijvoorbeeld zorgen dat de deur van de brandruimte na het ontvluchten snel weer sluit. Dit beperkt de verspreiding van rook naar de vluchtroute en naar andere woningen. Om deze en andere voorzieningen goed te laten functioneren is het belangrijk dat personen er tijdens het dagelijks gebruik geen hinder ondervinden, dat de voorzieningen geen of weinig onderhoud nodig hebben en dat noodzakelijk onderhoud als urgent wordt gezien.

4.3.2 Drang om te vluchten

Naast de brandveiligheidsvoorzieningen in een gebouw zal ook rekening gehouden moeten worden met menselijk gedrag. Ook al kan het voor bewoners bij brand soms de meest veilige optie zijn om in hun woning blijven, dan nog kunnen zij dat als onveilig ervaren. In de praktijk blijkt dat bepaalde triggers (het ruiken en/of zien van rook of vlammen, gestommel op de gang, geroep door burens enzovoort) de drang om te willen vluchten kunnen aanwakkeren. Zo kan een kleine hoeveelheid rook die vanuit de vluchtroute in de woning komt al leiden tot de dringende behoefte om te vluchten, ook al kunnen de overlevingsmogelijkheden nog goed zijn. In dergelijke situaties kunnen bewoners toch besluiten om bijvoorbeeld de toegangsdeur van hun woning kort te openen, hetgeen ertoe kan leiden dat de omstandigheden in de woning snel verslechteren. Het is dan ook van belang om bij een stay-in-place-concept tijdens een brand te zorgen voor duidelijke communicatie richting bewoners over de ontwikkeling van de brand en/of de te ondernemen acties.

4.3.3 Weerstand tegen stay-in-place

Naast de hier voor genoemde 'triggers' die de behoefte om te willen vluchten kunnen aanwakkeren, kan er ook sprake zijn van een algemene weerstand tegen een stay-in-place-concept. Een uitvraag onder huurders van flats in Engeland laat zien dat het opvolgen van het advies om gedurende een brand elders in het gebouw in de eigen woning te blijven, kan leiden tot weerstand.¹⁷ Bijna driekwart (72 %) van de huurders gaf aan dat zij de richtlijn om in te eigen woning te blijven zullen negeren als er brand elders in het gebouw is en hun flat niet wordt aangetast door brand of rook. Redenen die hiervoor werden aangegeven zijn:

- > Geen vertrouwen hebben in het vermogen van het gebouw om de verspreiding van rook en vuur te stoppen (39 %).
- > Het principe om in de eigen woning te moeten blijven niet begrijpen (28 %).
- > Het heft in eigen handen willen nemen (61 %).

Daarnaast werd aangegeven dat slechts 25 % van de huurders het jaar voorafgaand aan dit Engelse onderzoek gerustgesteld is of met de verhuurder gesproken heeft over brandveiligheid in hun pand. Bij deze resultaten dient wel te worden opgemerkt dat ze

¹⁷ <https://www.firedoorsafetyweek.co.uk/news-events/stay-put-advice/>.

afkomstig zijn uit 2018, dus na de brand in de Grenfell Tower. Mogelijk is dit van invloed geweest op de reacties van respondenten.

Wanneer in de praktijk een stay-in-place-concept niet lijkt te werken (zoals bij de Grenfell Tower) is het voor de hulpdiensten zowel mentaal als fysiek lastig om tijdens een incident over te schakelen naar een gedeeltelijke of volledige ontruiming (Adviescommissie Toepassing en Gelijkwaardigheid Bouwvoorschriften, 2020). Het in een gevorderd stadium van de brand moeten overgaan tot vluchten kan worden bemoeilijkt door de ontwikkeling van de brand en de daarmee samengaan rookverspreiding. Dit laatste gaat in de praktijk vaak samen met het openstaan van deuren. Het openen van deuren kan zowel gedaan zijn door bewoners tijdens hun vlucht uit het gebouw, maar ook doordat hulpdiensten deuren forceren of er slangen doorheen voeren.

Samenvatting

Bij een stay-in-place-concept kan de veiligheid van bewoners gedurende een bepaalde periode vergroot worden door het nemen van brandveiligheidsvoorzieningen. Ondanks het treffen van deze voorzieningen, waardoor het gedurende langere tijd in de woning blijven een veilige optie kan zijn, kan de situatie door bewoners toch als onveilig worden ervaren, waardoor ze mogelijk toch gaan vluchten. Dit kan leiden tot het openen van deuren waardoor zowel de omstandigheden om onder te kunnen vluchten zullen verslechteren, als die waaronder in de woning kan worden verbleven. Ook kan er sprake zijn van algemene weerstand tegen een stay-in-place-concept, waardoor het lastig is om bewoners ervan te overtuigen dat in de woning blijven bij een brand een veilige optie kan zijn.

4.4 Gevolgen menselijk gedrag voor het stay-in-place-concept

In deze paragraaf wordt beschreven wat de gevolgen kunnen zijn van het menselijk gedrag zoals beschreven in paragraaf 4.3. De volgende gedragingen van personen kunnen van invloed zijn op het stay-in-place-concept:

- > Personen gaan toch vluchten.
- > Iemand opent de deur van de woning naar de gang om te kijken wat er aan de hand is in het gebouw.
- > De deur van de brandruimte blijft openstaan na het ontvluchten van die ruimte, bijvoorbeeld door een deurdranger die niet goed (meer) functioneert.

Hieronder wordt voor deze gedragingen omschreven wat daarvan de gevolgen kunnen zijn. Dit gebeurt aan de hand van de resultaten van het gebouwtype corridorontsluiting zonder variaties. Vervolgens wordt omschreven wat het effect is bij de andere de andere twee gebouwtypen: corridorontsluiting met vides en atrium. De resultaten van de zone-simulaties die hiervoor zijn uitgevoerd zijn op te vragen bij het NIPV.

4.4.1 Personen gaan toch vluchten

Wanneer personen een brand of signalen van brand zien, ruiken of horen, kunnen ze willen vluchten. Nadat ze dergelijke signalen hebben ontvangen, is het zicht in de vluchtroute vaak al belemmerd door rook. Het vluchten zal door de aanwezige rook meer tijd in beslag nemen en er is een grotere kans op desoriëntatie. Omdat het vluchten langer duurt, kan de dosis verstikkende gassen en de warmte waaraan personen worden blootgesteld tijdens het

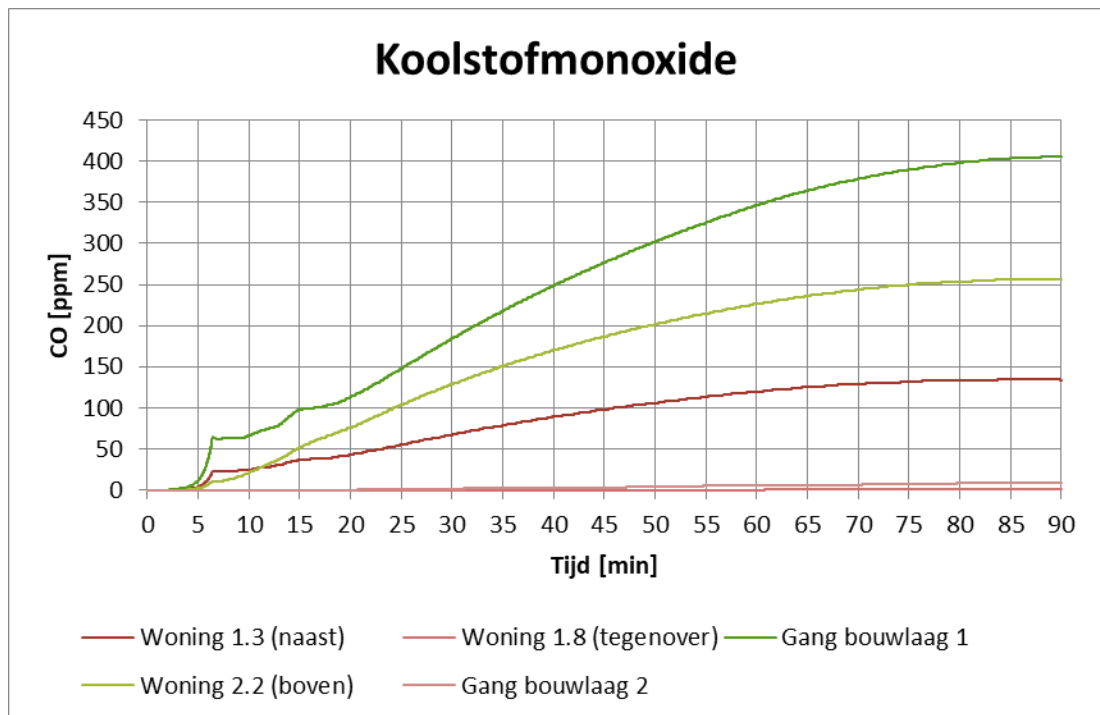
vluchten groter zijn. De kans dat hierdoor iemand bewusteloos raakt, neemt daardoor toe. De afname van de beschikbare veilige vluchttijd (AST) bij een langere vluchttijd is weergegeven in tabel 4.1. Zeker voor de meer kwetsbare doelgroepen, die vaak al meer vluchttijd nodig hebben vanwege bijvoorbeeld een lagere loopsnelheid, kan een langere benodigde veilige vluchttijd (RST) leiden tot het overschrijden van het toetscriterium voor verstikkende gassen. Voor het woongebouw met corridorontsluiting vindt dit effect uitsluitend plaats op bouwlaag 1. Bij het woongebouw met een door vides gekoppelde verkeersruimte vindt dit effect plaats op zowel bouwlaag 1 als 2, maar in mindere mate dan bij het woongebouw met corridorontsluiting op bouwlaag 1 (door een groter volume waarover de rook zich kan verdelen en gedurende langere tijd een lagere concentratie van verstikkende gassen). Bij het gebouwtype atrium is de afname van de beschikbare veilige vluchttijd door verstikkende gassen bij een langere benodigde veilige vluchttijd beperkt. Vanwege het strengere toetscriterium voor de zeer kwetsbare doelgroep kan het zicht in het atrium het vluchten voor deze groep wel belemmeren.

4.4.2 Openen van de deur tussen de woning en de corridor

Wanneer personen een brand of signalen van brand zien, ruiken of horen, kunnen ze de behoefte voelen om te gaan kijken wat er gebeurt, ook als ze mogelijk weten dat het de bedoeling is in hun woning te blijven gedurende een brand. Om te kunnen beoordelen wat er aan de hand is, wordt de woningtoegangsdeur naar de vluchtroute geopend. De gevolgen hiervan zijn afhankelijk van een aantal factoren:

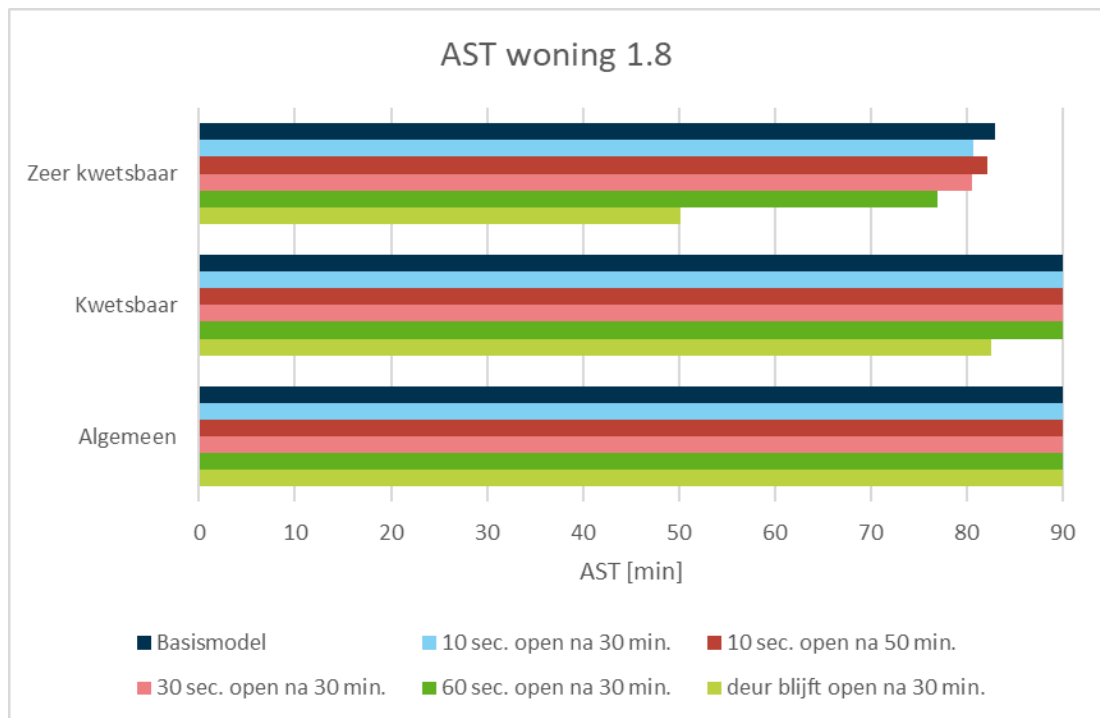
- > de hoeveelheid rook in de vluchtroute
- > de hoeveelheid rook in de woning
- > het tijdstip waarop de deur wordt geopend
- > de tijdsduur dat de deur open blijft.

Wanneer de hoeveelheid rook in de woning groter is dan in de vluchtroute, zullen de omstandigheden in de woning gunstiger worden wanneer de woningtoegangsdeur wordt geopend. Als de hoeveelheid rook in de vluchtroute echter groter is dan in de woning, verslechteren de omstandigheden in de woning dan juist. De concentratie koolstofmonoxide is bepalend voor de overlevingsmogelijkheden in de woning. Deze concentratie in de verschillende woningen en gangen van het woongebouw met corridorontsluiting is weergegeven in figuur 4.6.



Figuur 4.6 Koolstofmonoxideconcentratie in enkele woningen en gangen op de twee bouwlagen in het woongebouw met corridorontsluiting

In figuur 4.6 is te zien dat de concentratie koolstofmonoxide in woning 2.2 de hoogste waarde bereikt (alleen de brandruimte heeft een hogere concentratie koolstofmonoxide). De concentratie koolstofmonoxide is in woning 2.2 fors hoger dan in de gang op bouwlaag 2. Het openen van de deur tussen woning 2.2 en de gang op bouwlaag 2 geeft daarom een verbetering van de overlevingsmogelijkheden in woning 2.2. Voor woning 1.3 geldt dat de concentratie koolstofmonoxide bijna 70 % lager is dan in de corridor op bouwlaag 1. Het openen van de deur tussen woning 1.3 en de gang zorgt dan ook voor een verslechtering van de overlevingsmogelijkheden in woning 1.3. De mate van verslechtering is echter beperkt, omdat het verschil in concentratie tussen gang en deze woning ook beperkt is. Het verschil in concentratie koolstofmonoxide is het grootst tussen woning 1.8 en de gang op bouwlaag 1. Het openen van de deur tussen woning 1.8 en de gang op bouwlaag 1 kan daarom een duidelijke verslechtering van de overlevingsmogelijkheden veroorzaken in woning 1.8. In figuur 4.7 is weergegeven wat de invloed is van het openen van de deur op de beschikbare veilige verblijftijd in woning 1.8 voor het woongebouw met corridorontsluiting.



Figuur 4.7 AST woning 1.8 woongebouw met corridor als gevolg van openen deur woning 1.8

In figuur 4.7 is te zien dat het kort openen (10 tot 60 seconden) van de deur van woning 1.8 naar de gang een beperkt effect heeft op de beschikbare veilige verblijftijd. Bij het openen van de deur gedurende 60 seconden is het grootste effect te zien bij de zeer kwetsbare doelgroep. De afname van de beschikbare veilige verblijftijd bedraagt 6 minuten.

Als personen door de rook op de gang niet meer in staat zijn om hun voordeur van de woning te sluiten, dan bedraagt de afname van de beschikbare veilige verblijftijd voor de kwetsbare doelgroep ongeveer 8 minuten en voor de zeer kwetsbare ongeveer 33 minuten. Voor de algemene doelgroep geldt dat de concentratie koolstofmonoxide in de woning ook toeneemt bij het openen van de deur; dit heeft echter geen gevolgen voor de beschikbare veilige verblijftijd: het toetscriterium voor verstikkende gassen wordt voor deze doelgroep niet overschreden. De zichtlengte in deze woning daalt echter wel tot 14 meter. Dit kan tot gevolg hebben dat personen de behoefte krijgen om toch te gaan vluchten.

Samengevat

Het kort openen (60 seconden) en vervolgens weer sluiten van de deur hoeft niet direct tot een forse verslechtering van de beschikbare veilige verblijftijd te leiden. Het zien van rook op de gang en rook die de woning intrekt, kan wel zorgen voor een toenemende behoefte om toch te gaan vluchten. Uit de resultaten blijkt daarnaast dat ook de plaats van de woningen ten opzichte van de brand sterk bepalend is voor het antwoord op de vraag of vluchten of blijven zitten het verstandigst is. Dit maakt dat het lastig is om tijdens een incident een goed handelingsperspectief te geven aan personen die in de woningen verblijven.

Effect bij andere bouwtypen

Het bovenstaande effect voor het openen van woningtoegangsdeur naar de gang is beschreven voor het woongebouw met een corridorontsluiting. Bij het woongebouw met

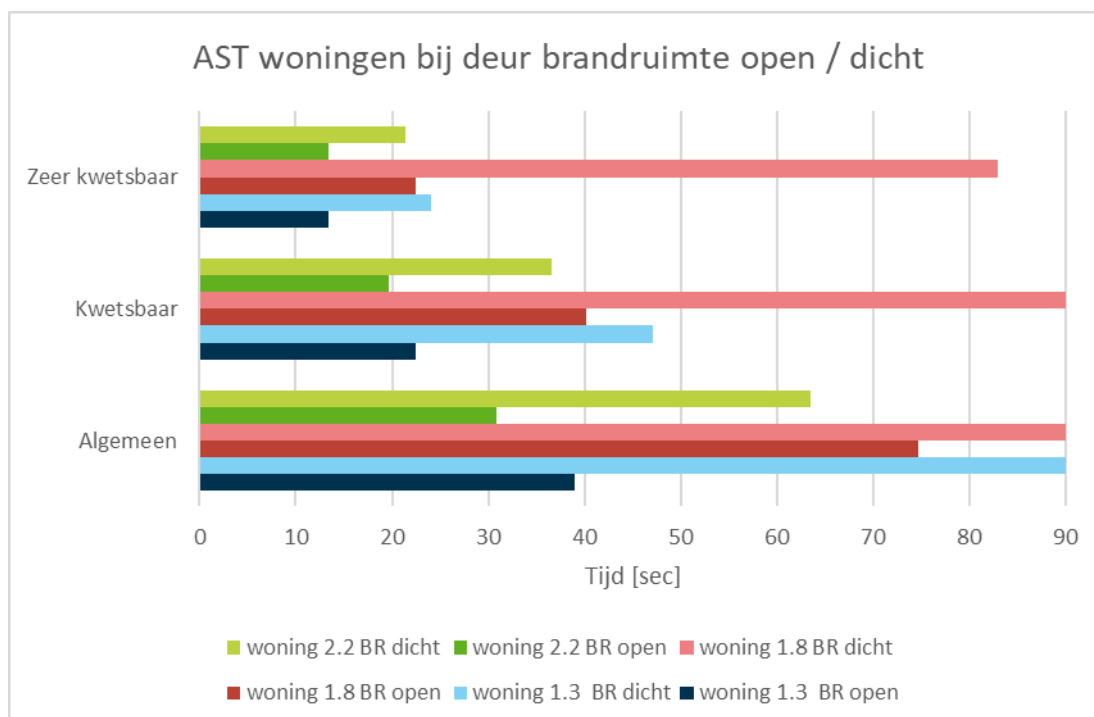
corridorontsluiting is de koolstofmonoxideconcentratie in de gang op bouwlaag 1 (piek 400 ppm) fors hoger dan in de gang op bouwlaag 2 (piek 8 ppm).

Bij het woongebouw met een door vides gekoppelde verkeersruimte wordt de koolstofmonoxide die vanuit de brandruimte de gang op stroomt, verdeeld over de gemeenschappelijke verkeersruimten op de twee bouwlagen. De koolstofmonoxideconcentratie is in de gemeenschappelijke verkeersruimte op bouwlaag 1 daarom lager dan bij het woongebouw met corridorontsluiting (piek 230 ppm ten opzichte van 400 ppm). De koolstofmonoxideconcentratie is in de gang op bouwlaag 2 juist hoger dan bij het woongebouw met corridorontsluiting (piek 150 ppm ten opzichte van 8 ppm). Het effect van het openen van de deur naar de gang op bouwlaag 1 is bij het woongebouw met een door vides gekoppelde verkeersruimte minder groot dan bij het woongebouw met corridorontsluiting, maar op bouwlaag 2 is het effect juist groter. De afname van de beschikbare veilige verblijftijd in woning 1.8 als gevolg van het openen van de deur naar de gang is daarom minder groot, maar nog steeds aanwezig. Voor woning 2.2 neemt het risico op afname van de beschikbare veilige verblijftijd toe door het openen van de deur. Dit komt omdat de concentratie koolstofmonoxide in de gang op bouwlaag 2 bij het woongebouw met woongebouw met een door vides gekoppelde verkeersruimte hoger is dan in het woongebouw met corridorontsluiting.

Voor het woongebouw met ontsluiting via een atrium geldt dat het effect van het openen van de deur naar het atrium relatief beperkt is. Vanwege het grote volume van het atrium blijft de concentratie koolstofmonoxide in het atrium laag (piekconcentratie 24 ppm).

4.4.3 Deur van de brandruimte blijft openstaan

Zoals reeds vermeld, kan een zelfsluitende deur in de praktijk niet goed functioneren. Bij een niet functionerende deurdrager kan de deur bij het vluchten uit de woning open blijven staan. Hierdoor kan rook zich makkelijker naar de vluchtroute verspreiden. Via de vluchtroute kan de rook weer andere woningen bereiken. Een open deur van de brandruimte heeft ook als gevolg dat er extra toevoer van zuurstof naar de brand kan plaatsvinden. De brand kan daardoor langer toenemen in brandvermogen en wordt pas op een later moment zuurstof gecontroleerd. Dit zorgt ook voor een toename van de rookproductie. Welke gevolgen dit heeft voor de beschikbare veilige vluchttijd in de woningen is te zien in figuur 4.8.



Figuur 4.8 AST woningen woongebouw met corridorontsluiting bij de deur van de brandruimte open of dicht

In figuur 4.8 is te zien dat een open deur van de brandruimte voor alle woningen en alle doelgroepen leidt tot een kortere beschikbare veilige tijd. In woning 1.8 is de beschikbare veilige tijd voor de algemene en kwetsbare doelgroep bij een gesloten deur van de brandruimte meer dan 90 minuten. De rook moet om woning 1.8 binnen te dringen zowel door de wand tussen brandruimte en gang als door de wand tussen de gang en woning 1.8. Deze dubbele barrière zorgt voor een beperkte rookdoorgang naar woning 1.8. Op het moment dat de deur van de brandruimte open blijft staan, is er echter sprake van een enkele barrière. De beschikbare veilige verblijftijd neemt daardoor af tot 75 minuten voor de algemene doelgroep, 40 minuten voor de kwetsbare doelgroep en 22 minuten voor de zeer kwetsbare doelgroep. Ook in de andere woning neemt de beschikbare veilige verblijftijd af als de deur van de brandruimte open blijft staan. Hierbij geldt dat de afname relatief het grootst is voor de algemene doelgroep. Het effect voor de zeer kwetsbare en kwetsbare doelgroep is minder groot, omdat de beschikbare veilige verblijftijd voor deze groepen in woning 1.3 en woning 2.2 in beginsel al relatief kort is (bij een gesloten deur van de brandruimte).

Samengevat

Uit de bovenstaande resultaten kan worden geconcludeerd dat het sluiten van de woningtoegangsdeur na het ontvluchten van de brandruimte een belangrijke voorwaarde is om rookverspreiding naar andere woningen tegen te gaan. Wanneer de deur van de brandruimte open blijft staan, leidt dit tot een kortere beschikbare veilige verblijftijd in alle woningen en voor alle doelgroepen.

Effect bij andere bouwtypen

Het bovenstaande effect voor het openen van de deur tussen de woning en de gang is beschreven voor het woongebouw met corridorontsluiting. In het woongebouw met een door vides gekoppelde verkeersruimte is tweemaal zoveel zuurstof aanwezig is in de gangen dan

in het woongebouw met corridorontsluiting. De rook kan zich door de vides snel verder verspreiden naar bouwlaag 2. Door de beschikbare zuurstof kan de brand, nog meer dan bij het woongebouw met corridorontsluiting zonder vides, langer door blijven branden met een hoger brandvermogen. De grotere hoeveelheid rook die hierbij vrijkomt, kan zich zowel naar de corridor op bouwlaag 1 als naar bouwlaag 2 verspreiden. Via deze gangen kan de rook doordringen in alle aan die gangen gelegen woningen. De beschikbare veilige tijd neemt hierdoor niet alleen af, maar er worden in vergelijking met het woongebouw met corridorontsluiting ook meer woningen bedreigd (met groter groepsrisico tot gevolg).

Bij het woongebouw met ontsluiting via een atrium geldt ook dat er meer zuurstof beschikbaar is dan in het woongebouw met corridorontsluiting (en gekoppelde vides). Ook worden er nog meer woningen gelijktijdig bedreigd door de rook (leidend tot een groter groepsrisico).

Uit het bovenstaande blijkt dat – nog meer dan bij een woongebouw met corridorontsluiting – het sluiten van de deur van de brandruimte een belangrijke voorwaarde is om een veilig verblijf in de andere woningen mogelijk te maken.

5 Risico's en maatregelen bij een ontvluchtingsconcept

In dit hoofdstuk wordt de analyse van de AST-RST voor persoonlijke veiligheid en het menselijk gedrag als vertrekpunt genomen om de risico's te beschrijven van het ontvluchttingsconcept. Vervolgens wordt gekeken naar reductiemogelijkheden van deze risico's door het nemen van aanvullende maatregelen. Als laatste worden voorstellen of aanpassingen gedaan om de risico's te beperken en daarmee het ontvluchttingsconcept te verbeteren.

5.1 Risico's bij ontvluchting

De risico's voor de verschillende doelgroepen in het ontvluchttingsconcept volgen enerzijds uit de analyse van de verhouding tussen de beschikbare veilige vluchttijd (AST) en de benodigde veilige vluchttijd (RST) voor vluchten (hoofdstuk 3). Anderzijds volgens de risico's uit het menselijk gedrag (hoofdstuk 4) wanneer dit afwijkt van het standaard scenario voor ontvluchting.

5.1.1 AST-RST-analyse persoonlijke veiligheid

Uit de AST-RST-analyse voor persoonlijke veiligheid (zie paragraaf 3.1.1) volgt de betrouwbaarheid van het ontvluchttingsconcept. Deze betrouwbaarheid wordt gedefinieerd als de kans dat de beschikbare veilige vluchttijd langer is dan de benodigde veilige vluchttijd: $P(AST > RST)$. Deze betrouwbaarheid is weergegeven als een betrouwbaarheidsfactor tussen 0 en 1. De betrouwbaarheid geeft tevens een indicatie van de faalkans (onbetrouwbaarheid) van het ontvluchttingsconcept (Faalkans (F) = 1 – betrouwbaarheid (P)). De waarden voor de betrouwbaarheid moeten als relatieve waarden worden gezien en passen bij de gehanteerde methode, bijbehorende uitgangspunten en randvoorwaarden. De betrouwbaarheid voor de drie gebouwtypen en doelgroepen is weergegeven in tabel 5.1.

Tabel 5.1 Betrouwbaarheid bij het ontvluchttingsconcept

Gebouwtype	P(AST>RST)		
	Algemeen	Kwetsbaar	Zeer kwetsbaar
Corridor	0,71	0,16	0
Corridor met vide	0,77	0,44	0
Atrium	0,93	0,92	0,66

Op basis van de AST-RST-analyse voor de persoonlijke veiligheid kunnen de volgende algemene conclusies getrokken worden:

- > In vrijwel alle gevallen is de zichtlengte in de vluchtroute de bepalende factor voor de AST. Wanneer er minder roet vrijkomt bij de brand of minder roet van brandruimte naar de vluchtroute wordt verspreid, kan de beschikbare veilige vluchttijd verlengd worden.
- > De kans dat personen tijdig kunnen vluchten kan, naast het verlengen van de beschikbare veilige vluchttijd, ook vergroot worden door de benodigde veilige vluchttijd te verkorten. Om dit te kunnen bereiken moeten personen snel gewaarschuwd worden wanneer er brand is in het gebouw.
- > Hoe kwetsbaarder de doelgroep, des te kleiner de kans is dat personen tijdig het gebouw kunnen ontluchten. Om een betrouwbaar ontvluchtingsconcept voor alle doelgroepen te realiseren, zijn aanvullende maatregelen noodzakelijk voor de kwetsbare doelgroepen.

5.1.2 Menselijk gedrag

Uit paragraaf 4.1 en 4.2 blijkt dat menselijk gedrag van invloed is op de risico's bij een ontvluchtingsconcept. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden in gedrag dat vooral gevolgen heeft voor het individuele risico als gedrag dat van invloed is op het groepsrisico.

Individueel risico

Later vluchten en een langere vluchttijd zijn vooral van invloed op het individuele risico van de personen die later vluchten en/of een langere vluchttijd nodig hebben. Dit individuele risico is sterk afhankelijk van het type gebouw en de plaats in het gebouw ten opzichte van de brandruimte waar zich de individuele personen bevinden.

Bij een corridorontsluiting (met of zonder vides) is dit gedrag vooral van invloed op het individuele risico van personen in woningen grenzend aan de gang(en) (ofwel: de vluchtroute). Doordat de vluchtroute belemmerd is en in de vluchtroute slechtere condities aanwezig kunnen zijn dan in de woningen, neemt het individuele risico voor personen toe als zij vluchten. Daarbij geldt ook dat er sprake kan zijn van een versterkend effect: later vluchten kan betekenen dat in de vluchtroute sprake is van verslechterde condities. Deze verslechterde condities (bijvoorbeeld slecht zicht en een verhoogde concentratie verstikkende gassen) zorgen voor een langere benodigde veilige vluchttijd, die weer leidt tot een langere blootstelling en dus tot een afname van de beschikbare veilige vluchttijd. Dit is met name een risico bij personen die in staat zijn om te vluchten en tot de zeer kwetsbare doelgroep behoren. Daarnaast is het individuele risico afhankelijk van de plaats ten opzichte van de brandruimte. Voor personen in woningen die grenzen aan de brandruimte (naastgelegen en bovenliggende woning) kan een langer verblijf in de woning ook tot een toename van het individuele risico leiden.

Bij een atriumontsluiting is het individuele risico van later vluchten en/of langer vluchten relatief beperkt. Alleen voor de zeer kwetsbare doelgroep neemt het risico na verloop van tijd (na 30 minuten) toe, doordat de vluchtroute door beperkt zicht belemmerd raakt.

Groepsrisico

Uit paragraaf 4.2 blijkt dat bij alle bouwtypen het sluiten van de deur van de brandruimte na het vluchten een belangrijke voorwaarde is om het vluchten uit andere woningen mogelijk te maken. Oftewel: er is sprake van een toename van het groepsrisico als de deur van de brandruimte na ontvluchting niet wordt gesloten. Hoewel de kans hierop door toepassing van

deurdrangers die alleen bij brand functioneren sterk wordt verkleind, blijkt uit de analyse van het menselijk gedrag de afhankelijkheid van deze voorziening voor het kunnen vluchten uit overige woningen. Het groepsrisico neemt toe naarmate er meer woningen aan de vluchtroute zijn gelegen. Hoewel het volume van de vluchtroute bij een atriumontsluiting flink groter is dan bij een corridorontsluiting, zal ook de rookverspreiding naar de vluchtroute groter zijn, waardoor de vluchtroute van meer woningen belemmerd wordt.

5.2 Reductiemogelijkheden voor risico's

In paragraaf 2.6 zijn maatregelen beschreven die tot een mogelijke reductie van de risico's behorend bij het ontvluchtingsconcept kunnen leiden. Deze maatregelen zijn verwerkt in de simulaties van de corridorsituatie. De simulatieresultaten hiervan zijn weergegeven in tabel 5.2 en figuur 5.1. De volledige resultaten van de zone-simulaties zijn op te vragen bij het NIPV.

Tabel 5.2 AST en verschil in AST met basisscenario voor de situaties met maatregelen (A: algemene doelgroep, K: kwetsbare doelgroep, ZK: zeer kwetsbare doelgroep)

Nr.	Maatregel	Verschillende doelgroepen					
		Absolute tijden [minuten]			Verschil met basis-scenario [minuten]		
		A	K	ZK	A	K	ZK
0	Basis	27,9	6	5	-	-	-
1	Drukvereffening	> 30	6,4	5,6	> 2,1	0,4	0,6
2	Sprinkler 1	> 30	> 30	> 30	> 2,1	> 24	> 25
3	Sprinkler 2a	> 30	8,1	5,1	> 2,1	2,1	0,1
4	Sprinkler 2b	22,5	8,1	5,1	- 5,4	2,1	0,1
5	Branduitbreidingsnelheid matig	22	9,2	6,8	- 5,9	3,2	1,8
6	Betere interne luchtdichtheid	> 30	6,2	5,2	> 2,1	0,2	0,2
7a	Gang in twee delen (deel brandruimte)	10	5,5	4,4	-17,9	-0,5	-0,6
7b	Gang in twee delen (andere deel)	> 30	> 30	> 30	> 2,1	> 24	> 25
8	Combinatie1 (2 + 5): Sprinkler met branduitbreidingsnelheid matig	> 30	> 30	> 30	> 2,1	> 24	> 25
9	Combinatie 2 (2 + 5 + 6): Sprinkler met branduitbreidingsnelheid matig en betere inwendige luchtdichtheid	> 30	> 30	> 30	> 2,1	> 24	> 25



Figuur 5.1 AST bij basisscenario en bij scenario met maatregelen

Uit tabel 5.2 en figuur 5.1 blijkt dat bijna alle maatregelen een positief effect hebben op de beschikbare veilige vluchttijd. Uitzonderingen hierop zijn extra subbrandcompartimentering van de gang (7 - gang in twee delen), branduitbreidingssnelheid matig (5 - enkel voor de algemene doelgroep) en sprinkler 2b (4 - enkel voor de algemene doelgroep). Hieronder worden de resultaten nader toegelicht.

5.2.1 Gang in twee delen (7a en 7b)

Uit de resultaten blijkt dat een extra subbrandcompartimentering in de vluchtroute (gang) niet tot een verbetering van de condities leidt. Er is sprake van een omgekeerd effect: voor alle doelgroepen treedt een verslechtering op. De beschikbare veilige vluchttijd in de vluchtroute neemt voor alle doelgroepen af (7a). Een nuancering van de resultaten is echter noodzakelijk: de verslechtering van de condities geldt alleen voor dat deel van de vluchtroute waaraan de brandwoning is gelegen (vier woningen). Voor het andere deel van de vluchtroute in het naast gelegen subbrandcompartiment (de overige vijf woningen) treedt een verbetering van de condities op door de aanwezigheid van een extra barrière in de vluchtroute (een rookwerende scheiding). In dit deel van de vluchtroute is sprake van een forse toename van de beschikbare veilige vluchttijd (7b). Hierbij moet wel worden vermeld dat eventuele vluchtbewegingen tussen de gangdelen niet zijn meegenomen in de beoordeling.

De nuancering in de resultaten maakt duidelijk dat er bij deze maatregel een verschil is tussen het individuele risico en het groepsrisico van gebouwgebruikers. De gehanteerde methode focust, in overeenstemming met de bouwregelgeving, op het individuele risico van gebouwgebruikers met betrekking tot de ontvluchting. Door de gang in twee delen te splitsen, neemt het individuele risico van personen aan het bedreigde deel van de vluchtroute toe (in vier woningen), terwijl het aantal woningen en daarmee het aantal personen aan het bedreigde deel van de vluchtroute is afgenomen (eveneens in vier woningen) ten opzichte van de basissituatie (negen woningen). Hoewel niet onderzocht, kan worden verwacht dat het groepsrisico van bouwlaag 1 afneemt door een extra subbrandcompartimentering in de vluchtroute. Of dit groepsrisico voldoende afneemt, is echter onduidelijk, omdat een beoordelingskader ontbreekt. Een dergelijk onderscheid in individueel risico en groepsrisico is al eerder aangegeven in 5.1.2 en is ook van toepassing bij andere gebouwtypen, zie paragraaf 5.2.7.

5.2.2 Tragere branduitbreiding (5)

Deze variant geeft de resultaten weer bij toepassing van brandveilig meubilair. Hierbij komt het brandscenario met meubilair (basisscenario) te vervallen en is in plaats daarvan sprake van een brand met matige branduitbreidingssnelheid (conform Eurocode). In het basisscenario is gebruikgemaakt van een bank als brandobject, zie 2.3.1 en bijlage A. Uit eerder onderzoek is gebleken dat een inventaris van organisch materiaal (onder andere brandveilig meubilair) in combinatie met een gesloten deur tot een sterke verbetering van vlucht- en overlevingsmogelijkheden leidt voor alle doelgroepen (Brandweercademie, 2020b). Met brandveilig meubilair bestaat de inventaris echter nog niet enkel uit meubilair van organisch materiaal. Om die reden is hier gekozen voor een brandscenario met branduitbreidingssnelheid matig en yields voor de productie van gassen overeenkomstig met het basisscenario. Uit de resultaten blijkt dat er voor de (zeer) kwetsbare doelgroep sprake is van een verbetering van de condities en daarmee een toename van de beschikbare veilige vluchttijd ten opzichte van het basisscenario. De toename is echter beperkt tot enkele minuten (1,8 tot 3,2 minuten), omdat nog steeds sprake is van forse rookproductie en rookverspreiding. Voor de algemene doelgroep is er een afname van de beschikbare vluchttijd (5,9 minuten). Dit wordt veroorzaakt door een brand die later zuurstof gecontroleerd wordt en vervolgens gedurende een langere tijd roet produceert. Hierdoor wordt het toetscriterium voor zicht in de gang eerder overschreden dan bij de simulatie met een bank in brand. Zoals in paragraaf 2.6.3 is vermeld, is in het scenario met tragere branduitbreiding geen lagere roetproductie per kg brandstof meegenomen. Dit is een conservatief uitgangspunt. Bij een lagere roetproductie zal naar verwachting geen verslechtering optreden voor de algemene doelgroep.

5.2.3 Drukvereffening (1) en betere interne luchtdichtheid (6)

Uit de resultaten blijkt dat deze twee maatregelen vooral effectief zijn voor de algemene doelgroep. Er is een sprake van een toename van de beschikbare veilige vluchttijd voor deze groep tot meer dan de benodigde ontvluchtingstijd van 30 minuten, terwijl de toename voor de (zeer) kwetsbare doelgroep beperkt is.

De toegepaste drukvereffening (1) als maatregel is in dit geval uitgevoerd middels een afvoerventilator die de brandruimte op onderdruk moet houden om zo rookverspreiding tegen te gaan. Daarnaast voert de afvoerventilator de rook af. De hoeveelheid afgevoerde rook is sterk afhankelijk van het debiet. In de gekozen uitvoering is de afvoer dusdanig, dat

die voor de algemene doelgroep een sterke verbetering oplevert. Zoals in paragraaf 2.8.1 is aangegeven, moeten de resultaten voor deze maatregel slechts als indicatief worden gezien. Nader onderzoek naar de toepasbaarheid van deze maatregel is dan ook noodzakelijk.

De verbetering ten opzichte van het basisscenario door het toepassen van een betere interne luchtdichtheid is voor de zeer kwetsbare en kwetsbare doelgroep beperkt. Hieruit kan worden opgemaakt dat een verbetering van de interne luchtdichtheid bij deze groepen alleen een verbetering oplevert in combinatie met bronmaatregelen. Als enkel effectmaatregel is een betere interne luchtdichtheid minder effectief voor deze doelgroepen.

5.2.4 Sprinkler (2, 3 en 4)

Uit de resultaten blijkt dat er grote verschillen zijn tussen de sprinklersscenario's. Bij sprinklersscenario 1 (maatregel 2) is een forse verbetering van de condities te zien voor alle doelgroepen. De beschikbare veilige verblijftijd neemt voor alle groepen flink toe tot meer dan de ontvluchtingstijd van 30 minuten. In deze variant is de sprinklerinstallatie in staat om de brand te blussen. Oftewel: het koelende vermogen (de sproeidichtheid) is afgestemd op het brandvermogen (de brandvermogensdichtheid) wanneer de sprinklerinstallatie in werking treedt.

Bij sprinklersscenario 2a (maatregel 3) is er ook een verbetering en daarmee een toename van de beschikbare veilige verblijftijd te zien voor de algemene en kwetsbare doelgroep. Voor de zeer kwetsbare doelgroep is niet of nauwelijks een verbetering te zien. Bij sprinklersscenario 2b (maatregel 4) is er een verbetering te zien voor de kwetsbare doelgroep, voor de zeer kwetsbare doelgroep is er niet of nauwelijks een verbetering. Voor de algemene doelgroep is bij sprinklersscenario 2b een verslechtering te zien (5,4 minuten). Dit wordt veroorzaakt door een brand die later zuurstof gecontroleerd wordt, en daardoor gedurende een langere tijd roet produceert. Hierdoor wordt het toetscriterium voor zicht in de gang eerder overschreden dan bij de simulatie met een bank in brand.

De scenario's 2a en 2b kunnen worden gezien als conservatieve scenario's waarbij de sprinklerinstallatie de brand niet blust maar onder controle houdt, en waarbij een (groot) deel van het brandende voorwerp verbrandt. In deze scenario's is het koelend vermogen van de sprinklers volgens de huidige ontwerpnormen te laag om een brand in meubilair met schuimkunststoffen (snel) te blussen. Beide sprinklersscenario's representeren dus een situatie waarbij het koelend vermogen (de sproeidichtheid) van de sprinklerinstallatie niet is afgestemd op het brandvermogen (de brandvermogensdichtheid) tijdens inwerkingtreding van de sprinklerinstallatie. Overigens blijkt uit statistiek uit de Verenigde Staten dat bij het toepassen van een sprinklerinstallatie het risico op slachtoffers met 87 % afneemt, en dat als er nog sprake is van slachtoffers deze voor 90 % in de brandruimte vallen (Ahrens, 2017).

Scenario 1 correspondeert met een scenario waarbij de brand wel wordt geblust. Oftewel: een sprinklerinstallatie die is afgestemd op een:

- > scenario waarbij de brand wordt geblust
- > brandscenario anders dan in meubilair of
- > brandscenario met brandveilig meubilair.

Een sprinklerinstallatie is een effectieve maatregel om de vluchtveiligheid aanzienlijk te verbeteren als deze is ontworpen om de brand te blussen.

5.2.5 Combinaties van maatregelen (8 en 9)

Deze beide combinaties van maatregelen beschrijven in basis een tragere branduitbreiding in combinatie met een sprinklerinstallatie, waarbij bij maatregel 9 daarnaast ook sprake is van een verbeterde interne luchtdichtheid. De resultaten van een tragere branduitbreiding in combinatie met een sprinklerinstallatie (maatregel 8) zijn vergelijkbaar met de resultaten van sprinkler 1 (maatregel 2). De tragere branduitbreiding is in dit scenario niet de maatgevende parameter en heeft niet of nauwelijks effect op de beschikbare veilige vluchttijd, omdat de sprinklerinstallatie is afgestemd op het brandvermogensscenario van de inrichting. In dit scenario is een sprinklerinstallatie die is afgestemd op het brandvermogensscenario en dus op blussen van de brand de maatgevende parameter. Dit laat zien dat een adequate¹⁸ sprinklerinstallatie flexibiliteit geeft in de toepassing van materialen in de inventaris, zolang de sprinklerinstallatie daarop is afgestemd.

Uit de resultaten van een tragere branduitbreiding in combinatie met een sprinklerinstallatie en een verbeterde interne luchtdichtheid (maatregel 9) blijkt dat voor alle doelgroepen sprake is van een forse toename van de beschikbare veilige vluchttijd tot meer dan de ontvluchtingstijd van 30 minuten.

5.2.6 Andere maatregelen

Er is gekozen om een aantal specifieke maatregelen en combinaties van maatregelen te onderzoeken. Er zijn echter ook andere maatregelen denkbaar die de beschikbare veilige vluchttijd kunnen verlengen, zoals bijvoorbeeld het creëren van overdruk in of het ventileren van de vluchtroute. Met name deze laatste optie, het ventileren van de vluchtroute, kan interessant zijn, omdat daardoor de vluchtroute na verloop van tijd weer bruikbaar wordt. Voorbeelden van een dergelijke maatregel zijn onder andere openomen in de onderzoeken van Hopkin et al. (Hopkin, Spearpoint, Hopkin, & Wang, 2022) en VIPA (Steunpunt Welzijn, 2021). De maatregel bestaat uit een ventilatiesysteem (ontrokkingsinstallatie) waarbij sprake is van natuurlijke toevoer en mechanische afvoer in de vluchtroute. Het systeem dient zo ontworpen te zijn dat het bij rookverspreiding naar de vluchtroute in staat is om de rook binnen enige tijd na het sluiten van de deur van de brandruimte af te voeren. Er dient wel voorkomen te worden dat na inwerkingtreding meer rookverspreiding naar de vluchtroute kan plaatsvinden.

Rookverspreiding door het openen van de deur van de brandruimte naar de vluchtroute wordt in beginsel dus niet voorkomen en de vluchtroute kan nog steeds gedurende enige tijd na het sluiten van de deur belemmerd zijn. Dan is vluchten niet veilig mogelijk. Na verloop van tijd wordt de vluchtroute door de afvoer van de rook echter weer veilig. Een dergelijk systeem werkt alleen in combinatie met gesloten deuren en is afhankelijk van een centrale sturing in de vluchtroute. De beschreven werking van deze maatregel moet als indicatief worden gezien. Nader onderzoek naar de toepasbaarheid van deze maatregel is noodzakelijk. Andere mogelijke maatregelen zijn niet beoordeeld en vallen buiten dit onderzoek.

5.2.7 Andere gebouwtypen

De genoemde maatregelen zijn niet nader beoordeeld voor de gebouwtypen corridor-ontsluiting met gekoppelde vides en de atriumontsluiting. Op basis van de bovenstaande analyse mag eenzelfde resultaat verwacht worden bij deze gebouwtypen. De verschillende

¹⁸ Adequaet betekent ontworpen en ingericht op blussen (voldoende debiet) met een daarbij behorende kwaliteit.

maatregelen zullen over het algemeen tot een toename van de beschikbare veilige vluchttijd leiden.

5.2.8 Menselijk gedrag en maatregelen

Uit de eerdere analyse blijkt dat de invloed van het menselijk gedrag op het individuele risico sterk afhankelijk is van het type gebouw en de plaats in het gebouw ten opzichte van de brandruimte waar zich de personen bevinden. Dit komt omdat in het basisscenario al rookverspreiding heeft plaatsgevonden voordat de ontvluchting uit de andere woningen is gestart. De mate van rookbelemmering in de vluchtroute en de verspreiding van rook ten opzichte van de plaats in het gebouw bepalen vervolgens of veilig vluchten nog mogelijk is.

Uit de analyse van het menselijk gedrag met betrekking tot het groepsrisico komt naar voren dat het sluiten van de deur van de brandruimte na het vluchten een belangrijke voorwaarde is om het vluchten uit de andere woningen mogelijk te maken. Het sluiten van de deur is een belangrijke voorwaarde, omdat er rookverspreiding naar de vluchtroute kan plaatsvinden zolang de deur openstaat. Het groepsrisico neemt toe naarmate er meer woningen aan de vluchtroute zijn gelegen.

Uit beide risico's kan worden opgemaakt dat de invloed van menselijk gedrag kan worden gereduceerd als de rookproductie en daarmee de rookverspreiding naar de vluchtroute kan worden beperkt. Het beperken van de rookproductie en daarmee de rookverspreiding kan met bronbeperkende maatregelen. Oftewel: de effectiviteit van bronbeperkende maatregelen is minder afhankelijk van het beschreven gedrag tijdens de ontvluchting. Op basis van de beschreven maatregelen geldt dit voor een tragere branduitbreiding in combinatie met een sprinklerinstallatie. De andere beschreven maatregelen zijn effectmaatregelen, waarvan de effectiviteit afhankelijker is van menselijk gedrag. Dit geldt overigens ook voor de al in de regelgeving op genomen effectmaatregelen zoals zelfsluitende deuren en brand- en rookwerende scheidingen.

5.2.9 Samenvatting

De combinatie van bron- (sprinklerinstallatie voor blussing afgestemd op de bron) en effectmaatregelen (verbeterde interne luchtdichtheid) is het meest effectief voor alle doelgroepen in het beperken van de risico's bij een ontvluchtingsconcept. Een sprinklerinstallatie voor blussing afgestemd op de bron is als individuele bronmaatregel ook effectief in het beperken van de risico's voor alle doelgroepen. Andere sprinklers (die geen snelle blussing doen) als individuele bronmaatregel zijn minder effectief, met name voor de zeer kwetsbare doelgroep. Een sprinklerinstallatie als bronmaatregel is het minst afhankelijk van het menselijk gedrag bij vluchten. De individuele bronmaatregel tragere branduitbreiding levert een beperkte verbetering van de risico's voor de (zeer) kwetsbare doelgroep. De individuele effectmaatregelen drukvereffening en verbeterende interne luchtdichtheid beperken vooral de risico's voor de algemene doelgroep en zijn niet effectief voor de kwetsbare doelgroepen.

De effectmaatregel waarbij extra subbrandcompartimentering in de vluchtroute wordt toegepast, levert een toename van het individuele risico op bij een ontvluchtingsconcept voor alle doelgroepen. Naar verwachting zal het groepsrisico in het ontvluchtingsconcept bij deze maatregel echter kunnen afnemen, omdat minder personen zijn aangewezen op het bedreigde deel van de vluchtroute.

5.3 Voorstel voor eisen in het Bouwbesluit / Bbl

Uit het onderzoek blijkt dat met de maatregel extra subbrandcompartimentering het individuele risico toeneemt en dat niet kan worden vastgesteld of het groepsrisico voldoende afneemt, omdat daarvoor een beoordelingskader ontbreekt. Uit het onderzoek blijkt ook dat deze maatregel geen oplossing biedt voor de (zeer) kwetsbare doelgroep. Het doorvoeren van deze maatregel in het Bouwbesluit / Bbl wordt daarom afgeraden.

Een aanzienlijke beperking van de risico's van rookverspreiding kan voor alle doelgroepen worden bereikt door een combinatie van bron- en effectmaatregelen. Voordat dergelijke maatregelen kunnen worden vertaald in concrete grenswaarden en bepalingsmethoden voor het Bouwbesluit / Bbl, is nader onderzoek dan wel een maatschappelijk debat nodig over de volgende onderwerpen:

- > Het onderscheid tussen de algemene en (zeer) kwetsbare doelgroepen:
 - Wat is het acceptabele veiligheidsniveau voor kwetsbare doelgroepen?
 - Is een verschil in veiligheidsniveau tussen doelgroepen acceptabel?
 - Zo ja, welk verschil in veiligheidsniveau is acceptabel?
- > Als denkrichting voor het onderscheid tussen doelgroepen worden de volgende twee mogelijkheden gegeven:
 - Optie 1: het introduceren van doelgroep differentiatie (algemeen / (zeer) kwetsbaar in het Bouwbesluit / Bbl met op de doelgroep afgestemde brandveiligheidsvoorzieningen.
Concreet betekent dit dat voor de (zeer) kwetsbare doelgroep zwaardere maatregelen worden voorgeschreven dan voor de algemene doelgroep. Hiermee wordt beoogd het veiligheidsniveaus van de verschillende doelgroepen zo uniform mogelijk te houden. De handhaafbaarheid van deze optie is mogelijk beperkt, omdat de (kwetsbaarheid van) de doelgroep in een bepaalde woonomgeving in de loop van de tijd sterk kan wisselen of veranderen.
 - Optie 2: het introduceren van brandveiligheidsvoorzieningen (bron- en effectmaatregelen) die voor alle doelgroepen hetzelfde zijn.
Met deze keuze wordt geaccepteerd dat er tussen de doelgroepen verschil in veiligheidsniveau zal blijven bestaan. Door de toename van de vergrijzing zullen deze verschillen mogelijk worden vergroot. Echter: de toepassing van bronmaatregelen (sprinklerinstallatie, brandveilige meubilair) geeft wel meer flexibiliteit voor bijvoorbeeld het huisvesten van verschillende doelgroepen en de ontwikkeling van nieuwe woonvormen. Bovendien is de handhaafbaarheid groter.
- > Het onderscheid tussen het individuele risico en het groepsrisico, waarbij voor de beoordeling van het groepsrisico een beoordelingskader dient te worden ontwikkeld.

Ook voor verbouw-situaties geldt in algemene zin dat een combinatie van bron- en effectmaatregelen voor alle doelgroepen effectief is. Bij een te verbouwen gebouw is er echter een grote mate van onzekerheid over de brandveiligheid en de brandveiligheidsvoorzieningen van het bestaande gebouw (met name de kwaliteit van de brand- en rookwerende scheidingsconstructies). Bovendien: het voorschrijven van bron- en effectmaatregelen in een te verbouwen gebouw is in strijd met de systematiek van de bouwregelgeving waarbij de verbouw-eisen uitsluitend van toepassing zijn op de te verbouwen gedeelten van het gebouw.

6 Risico's en maatregelen bij een stay-in-place-concept

In dit hoofdstuk worden de analyses van de AST-RST voor zowel persoonlijke veiligheid als de thermische belasting en het menselijk gedrag als vertrekpunt genomen om de risico's te beschrijven van het stay-in-place-concept. Vervolgens wordt gekeken naar reductiemogelijkheden van deze risico's door het treffen van aanvullende maatregelen. Als laatste worden voorstellen gedaan waarmee een eerste richting wordt gegeven aan een stay-in-place-concept.

6.1 Risico's bij stay-in-place

De risico's voor de verschillende doelgroepen in het stay-in-place-concept volgen enerzijds uit de analyses van de beschikbare veilige verblijftijd (AST) ten opzichte van de benodigde veilige verblijftijd (RST) voor persoonlijke veiligheid en thermische belasting (hoofdstuk 3). Anderzijds volgens de risico's uit het menselijk gedrag (hoofdstuk 4) als dit gedrag afwijkt van het standaard scenario voor een stay-in-place-concept.

6.1.1 AST-RST-analyse persoonlijke veiligheid

Uit de AST-RST-analyse voor persoonlijke veiligheid in paragraaf 3.1.2 volgt de betrouwbaarheid van het stay-in-place-concept. Deze betrouwbaarheid wordt gedefinieerd als de kans dat de beschikbare veilige verblijftijd langer is dan de benodigde veilige verblijftijd: $P(AST > RST)$. Deze betrouwbaarheid is weergegeven als een betrouwbaarheidsfactor tussen 0 en 1. De betrouwbaarheid geeft tevens een indicatie van de faalkans (onbetrouwbaarheid) van het stay-in-place-concept (Faalkans (F) = 1 – betrouwbaarheid (P)). De waarden voor de betrouwbaarheid moeten als relatieve waarden worden gezien en passen bij de gehanteerde methode, bijbehorende uitgangspunten en randvoorwaarden. De betrouwbaarheid voor de drie gebouwtypen en doelgroepen is weergegeven in tabel 6.1.

Tabel 6.1 Betrouwbaarheid bij het stay-in-place-concept

Gebouwtype	Betrouwbaarheid P (AST>RST)		
	Algemeen	Kwetsbaar	Zeer kwetsbaar
Corridor	0,23	0	0
Corridor met vide	0,23	0	0
Atrium	0,19	0	0

Op basis van de AST-RST-analyse voor de persoonlijke veiligheid kunnen de volgende algemene conclusies getrokken worden:

- > In vrijwel alle gevallen is de verspreiding van verstikkende gassen de bepalende factor voor de beschikbare veilige verblijftijd. Wanneer er minder verstikkende gassen vrijkomen bij de brand en of minder verstikkende gassen van de brandruimte naar andere woningen worden verspreid, kan de beschikbare veilige verblijftijd toenemen.
- > Hoe kwetsbaarder de doelgroep, des te kleiner is de kans dat personen veilig in het gebouw kunnen verblijven. Om de kans op een veilig verblijf voor alle doelgroepen te realiseren, zijn aanvullende maatregelen voor de kwetsbare doelgroepen noodzakelijk.
- > De betrouwbaarheid van het stay-in-place-concept op basis van de huidige maatregelen uit het Bouwbesluit / Bbl is voor alle doelgroepen en gebouwtypen lager dan het ontvluchtingsconcept.

6.1.2 AST-RST-analyse thermische belasting

Om een gelijk niveau van veiligheid te behalen bij een stay-in-place-concept, mag de betrouwbaarheid van de scheidingsconstructie tussen woningen niet lager zijn dan bij een ontvluchtingsconcept tussen de woning en de extra beschermde vluchtroute. Om een gelijk niveau van veiligheid te behalen, moet de betrouwbaarheid van de scheidingsconstructie tussen woningen dus verhoogd worden. Dit betekent dat de WBDBO van de scheidingsconstructie bij het stay-in-place-concept verhoogd moet worden naar 80 tot 105 minuten. Een verhoging van de WBDBO met 30 minuten tussen woningen ten opzichte van de voorschriften in het Bouwbesluit / Bbl lijkt een passende verhoging om eenzelfde betrouwbaarheid te bereiken voor het stay-in-place-concept.

De draagconstructie van een woongebouw waarin het stay-in-place-concept wordt toegepast, moet ook voldoende betrouwbaar zijn. Om dit te bereiken moet de weerstand tegen brand van de draagconstructie van het woongebouw ten minste even groot zijn als van de brandcompartimentering en daarnaast 30 minuten hoger zijn dan de eis aan de instandhouding van de draagconstructie volgens het Bouwbesluit / Bbl. Oftewel: er moet sprake zijn van eenzelfde mate van verhoging van de weerstand tegen brand als voor de scheidingsconstructie tussen woningen onderling.

6.1.3 Menselijk gedrag

Uit paragraaf 4.3 en 4.4 blijkt dat menselijk gedrag van invloed is op de risico's bij een stay-in-place-concept. Omdat personen het als onveilig kunnen ervaren om gedurende de brand in hun woning te blijven, kunnen zij deuren openen, waardoor zowel de omstandigheden zullen verslechteren waaronder gevlucht kan worden, als die waaronder in de woning kan worden gebleven. Het kort openen van de deur hoeft echter niet direct tot een forse verslechtering van de beschikbare veilige verblijftijd te leiden, zolang de deur na het openen maar weer wordt gesloten.

Het zien van rook op de gang en rook die de woning intrekt kan zorgen voor een grotere behoefte om tóch te vluchten. Het vluchten zal door de aanwezige rook meer tijd in beslag nemen; bovendien is er een grotere kans op desoriëntatie. Omdat het vluchten langer duurt, kan de dosis verstikkende gassen en de warmte waaraan personen worden blootgesteld tijdens het vluchten groter zijn. De kans dat hierdoor iemand bewusteloos raakt, wordt dan groter. Zeker voor de zeer kwetsbare doelgroep, die vaak al meer vluchttijd nodig hebben vanwege bijvoorbeeld een lagere loopsnelheid, kan een langere benodigde veilige vluchttijd leiden tot het overschrijden van het toetscriterium voor verstikkende gassen.

Er kan sprake zijn van algemene weerstand tegen een stay-in-place-concept, waardoor het lastig is om bewoners ervan te overtuigen dat in de woning blijven bij een brand en niet vluchten een veilige optie is. Risicocommunicatie tijdens een incident kan helpen om personen te overtuigen om in hun woning te blijven. Uit de resultaten blijkt daarnaast dat met name de locatie van de woningen ten opzichte van de locatie van de brand sterk bepalend is of vluchten of blijven zitten verstandig is. Dit maakt dat het lastig is om tijdens een incident een goed handelingsperspectief te geven aan personen die in hun woning verblijven.

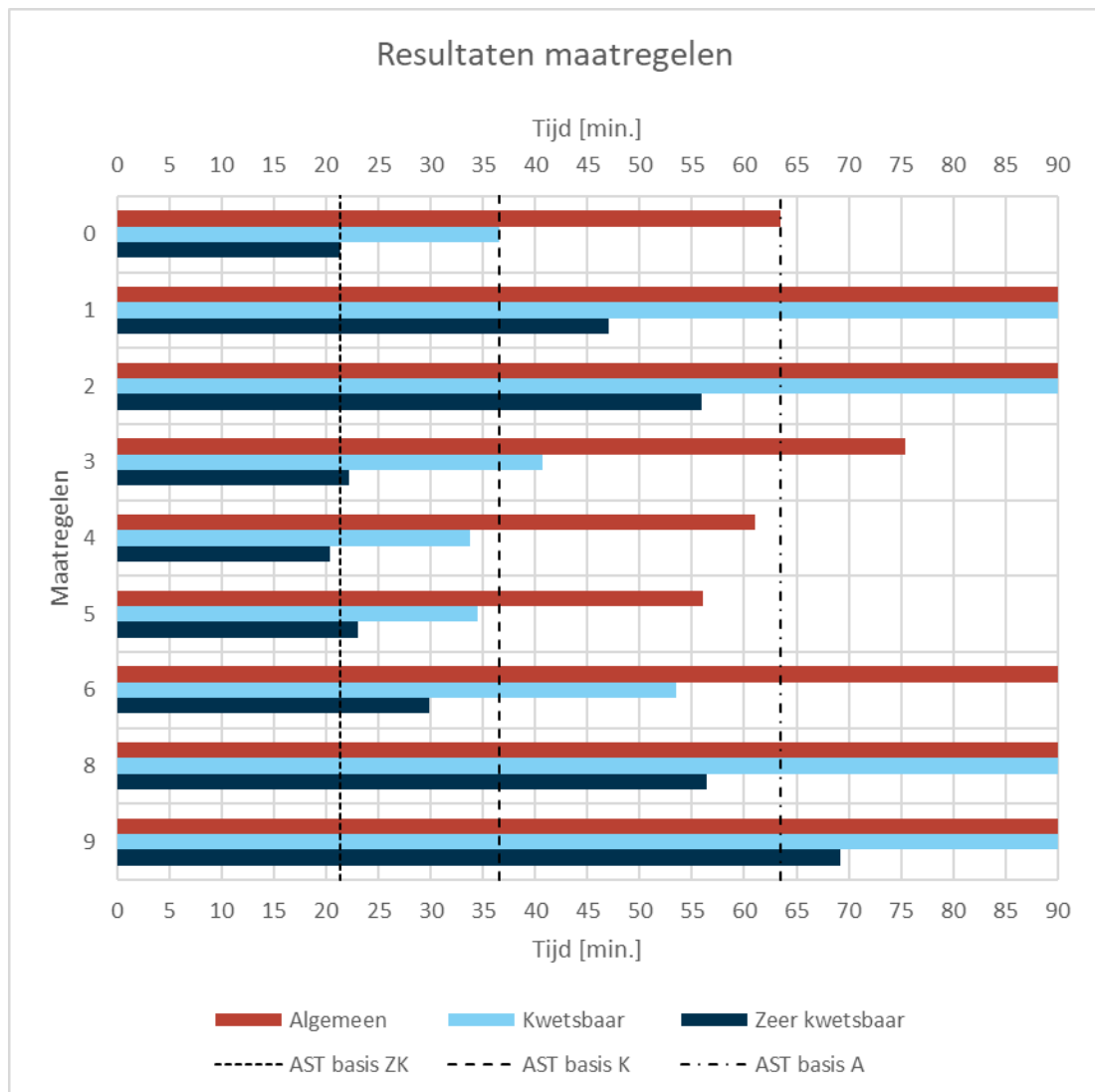
Uit de resultaten blijkt dat het sluiten van de woningtoegangsdeur na het ontvluchten van de brandruimte een belangrijke voorwaarde is om rookverspreiding naar andere woningen tegen te gaan. Wanneer de deur van de brandruimte open blijft staan, leidt dit tot een kortere beschikbare veilige verblijftijd voor alle doelgroepen in alle woningen.

6.2 Reductiemogelijkheden voor risico's

In paragraaf 2.6 zijn maatregelen beschreven die tot een mogelijke reductie van de risico's van het stay-in-place-concept kunnen leiden. Zoals beschreven, zijn de maatregelen verwerkt in de simulaties van de corridorsituatie. De resultaten hiervan zijn weergegeven in tabel 6.2 en figuur 6.1. De volledige resultaten van de zone-simulaties zijn op te vragen bij het NIPV.

Tabel 6.2 AST en verschil in AST met basisscenario de situaties met maatregelen (A: algemene doelgroep, K: kwetsbare doelgroep, ZK: zeer kwetsbare doelgroep)

Nr.	Maatregel	Verschillende doelgroepen					
		Absolute tijden [minuten]			Verschil met basis-scenario [minuten]		
		A	K	ZK	A	K	ZK
0	Basis	63,5	36,6	21,4	-	-	-
1	Drukvereffening	> 90	> 90	47	> 26,5	> 53,4	25,6
2	Sprinkler 1	> 90	> 90	55,9	> 26,5	> 53,4	34,5
3	Sprinkler 2a	75,4	40,7	22,2	11,9	4,1	0,8
4	Sprinkler 2b	61	33,8	20,4	-2,5	-2,8	-1
5	Branduitbreidingsnelheid matig	56	34,5	23,1	-7,5	-2,1	1,7
6	Betere interne luchtdichtheid	> 90	53,5	29,9	> 26,5	16,9	8,5
8	Combinatie1 (2 + 5): Sprinkler met branduitbreidingsnelheid matig	> 90	> 90	56,4	> 26,5	> 53,4	35
9	Combinatie 2 (2 + 5 + 6): Sprinkler met branduitbreidingsnelheid matig en betere inwendige luchtdichtheid	> 90	> 90	69,2	> 26,5	> 53,4	47,8



Figuur 6.1 AST bij basisscenario en bij scenario met maatregelen

Uit de resultaten uit tabel 6.2 en figuur 6.1 blijkt dat bijna alle maatregelen een positief effect hebben op de beschikbare veilige verblijftijd. De enige uitzonderingen hierop zijn de maatregelen sprinkler waarbij de volledige bank opbrandt (4 - sprinkler 2b) en de brand met branduitbreidingssnelheid matig (5). In beide gevallen geldt de verslechtering van de beschikbare veilige verblijftijd alleen voor de algemene en kwetsbare doelgroep. Hieronder worden de resultaten nader toegelicht.

6.2.1 Tragere branduitbreiding (5)

Deze variant geeft de resultaten weer bij toepassing van brandveilig meubilair. Hierbij komt het brandscenario met meubilair (basisscenario) te vervallen en is in plaats daarvan sprake van een brand met matige branduitbreidingssnelheid (conform Eurocode). In het basisscenario is gebruikgemaakt van een bank als brandobject, zie 2.3.1 en bijlage A. Uit eerder onderzoek is gebleken dat een inventaris van organisch materiaal (onder andere brandveilig meubilair) in combinatie met een gesloten deur tot een sterke verbetering van vlucht- en overlevingsmogelijkheden leidt voor alle doelgroepen (Brandweeracademie, 2020b). Met brandveilig meubilair bestaat de inventaris echter nog niet enkel uit meubilair van organisch materiaal. Om die reden is hier gekozen voor een brandscenario met branduitbreidingssnelheid matig en yields voor de productie van gassen overeenkomstig met

het basisscenario. Uit de resultaten blijkt dat er voor de zeer kwetsbare doelgroep sprake is van een langere beschikbare veilige verblijftijd (een toename van 1,7 minuten). Voor de algemene en kwetsbare doelgroep is er echter sprake van een afname van de beschikbare veilige verblijftijd van respectievelijk 7,5 en 2,1 minuten. Dit komt, omdat de brand in het basisscenario snel zuurstof gecontroleerd wordt. Een dergelijke brand kan gedurende langere tijd doorbranden, waardoor de totale hoeveelheid koolstofmonoxide die vrijkomt hoger is dan in het basisscenario. In het basisscenario bereikt de concentratie koolstofmonoxide in de brandruimte sneller de piekconcentratie. De tragere branduitbreiding geeft wel voor alle doelgroepen een langere beschikbare veilige vlucht- en verblijftijd in de brandruimte. Hoewel de maatregel niet gunstig is voor alle doelgroepen bij het stay-in-place-concept, kan de maatregel wel een gunstige invloed hebben op de vluchtmogelijkheden in de brandruimte.

6.2.2 Drukvereffening (1) en betere interne luchtdichtheid (6)

Uit de resultaten blijkt dat deze twee maatregelen voor alle doelgroepen effectief zijn. De toename van de veilige verblijftijd is voor de betere interne luchtdichtheid het grootst voor de algemene en de kwetsbare doelgroep en in mindere mate voor de zeer kwetsbare doelgroep (een toename van minder dan 10 minuten). Deze maatregelen zorgen beide voor een beperking van de rookverspreiding van de brandruimte naar andere woningen. Er wordt als gevolg van deze maatregelen minder koolstofmonoxide verspreid, maar nog steeds te veel om de beschikbare veilige verblijftijd voor de zeer kwetsbare doelgroep voldoende te verbeteren. Hieruit kan worden opgemaakt dat een verbetering van de interne luchtdichtheid of drukvereffening bij de zeer kwetsbare groep alleen een positief resultaat geeft in combinatie met bronmaatregelen. Als enkel effectmaatregel is deze maatregel minder effectief voor de zeer kwetsbare doelgroep.

De toegepaste drukvereffening (1) als maatregel is in dit geval uitgevoerd als een afvoer-ventilator die de brandruimte op onderdruk moet houden om zo rookverspreiding tegen te gaan. Ook zorgt de afvoer-ventilator voor het afvoeren van rook. De hoeveelheid afgevoerde rook is sterk afhankelijk van het debiet. In de gekozen uitvoering is de afvoer van rook dusdanig dat dit voor de algemene doelgroep een sterke verbetering oplevert. Zoals in paragraaf 2.8.1 is aangeven, moeten de resultaten voor deze maatregel als indicatief worden gezien. Nader onderzoek naar de toepasbaarheid van deze maatregel is noodzakelijk.

6.2.3 Sprinkler (2, 3 en 4)

Uit de resultaten blijkt dat er grote verschillen zijn tussen de sprinklersscenario's. Bij sprinklersscenario 1 (maatregel 2) is een forse verbetering van de condities te zien voor alle doelgroepen. De beschikbare veilige verblijftijd voor alle doelgroepen neemt namelijk fors toe en is voor de algemene en kwetsbare groep meer dan de benodigde veilige verblijftijd van 90 minuten. Voor de zeer kwetsbare doelgroep neemt de beschikbare veilige verblijftijd toe met meer dan 30 minuten ten opzichte van het basisscenario. In deze variant is de sprinklerinstallatie in staat om de brand te blussen. Oftewel: het koelende vermogen (de sproeidichtheid) is afgestemd op het brandvermogen (de brandvermogensdichtheid) wanneer de sprinklerinstallatie in werking treedt.

Bij sprinklersscenario 2a (maatregel 3) is er ook een verbetering en daarmee een toename van de beschikbare veilige verblijftijd te zien voor alle doelgroepen, maar deze toename is een stuk kleiner dan bij sprinklersscenario 1 (0,8 – 11,9 minuten toename). Bij sprinklersscenario 2b (maatregel 4) is er zelfs sprake van een beperkte afname van de beschikbare

veilige verblijftijd voor alle doelgroepen. Zoals in paragraaf 2.6.2 is omschreven, kan het koelende vermogen van een sprinklerinstallatie volgens de huidige ontwerpnormen te laag zijn om een brand in meubilair met schuimkunststoffen (snel) te blussen. De sprinklerscenario's 2a en 2b representeren een situatie waarbij het koelende vermogen van de sprinklerinstallatie niet is afgestemd op het brandvermogen ten tijde van inwerkingtreding van de sprinklerinstallatie.

Een sprinklerinstallatie is een effectieve maatregel om een veilig verblijf mogelijk te maken als deze is ontworpen om de brand te blussen. Een sprinklerinstallatie kan daarnaast ook bijdragen om de thermische belasting op draag- en scheidingsconstructies te verminderen.

6.2.4 Combinaties van maatregelen (8 en 9)

Deze beide combinaties van maatregelen beschrijven in basis een tragere branduitbreiding samen met een sprinklerinstallatie, waarbij bij maatregel 9 daarnaast ook sprake is van een verbeterde interne luchtdichtheid. De resultaten van een tragere branduitbreiding in combinatie met een sprinklerinstallatie (maatregel 8) zijn vergelijkbaar met de resultaten van sprinkler 1 (maatregel 2). De tragere branduitbreiding is in dit scenario niet de maatgevende parameter en heeft niet of nauwelijks effect op de beschikbare veilige verblijftijd, omdat de sprinklerinstallatie is afgestemd op het brandvermogenscenario van de inrichting (de sprinklerinstallatie blust de brand). Dit laat zien dat een adequate¹⁹ sprinklerinstallatie flexibiliteit geeft in de toepassing van materialen in de inventaris, zolang de installatie daarop is afgestemd.

Een tragere branduitbreiding in combinatie met een sprinklerinstallatie en een verbeterde interne luchtdichtheid (maatregel 9) leiden voor de doelgroepen algemeen en kwetsbaar tot een beschikbare veilige verblijftijd van meer dan 90 minuten en voor de doelgroep zeer kwetsbaar van meer dan 60 minuten. De combinatie van bron- (tragere brandontwikkeling en sprinklerinstallatie) en effectmaatregelen (verbeterde interne luchtdichtheid) geeft voor de zeer kwetsbare doelgroep de langste beschikbare veilige verblijftijd (meer dan 60 minuten) van alle onderzochte (combinaties van) maatregelen.

6.2.5 Andere gebouwtypen

De genoemde maatregelen zijn niet nader beoordeeld voor de gebouwtypen corridor met vide en atrium, omdat de verspreiding van verstikkende gassen de oorzaak is van het niet voldoende lang veilig kunnen verblijven in een woning. Deze verspreiding vindt bij de gebouwtypen corridor met vide en atrium op eenzelfde wijze plaats als bij het bouwtype corridor. Bij deze gebouwtypen mag daarom een gelijk resultaat verwacht worden van de maatregelen.

6.2.6 Menselijk gedrag en maatregelen

Uit de eerdere analyse blijkt dat de invloed van het menselijk gedrag op het risico sterk afhankelijk is van het type gebouw en de plaats in het gebouw ten opzichte van de brandruimte. Bij het bouwtype atrium kan de doelgroep algemeen bijvoorbeeld gedurende de volledige benodigde veilige verblijftijd van 90 minuten alsnog besluiten om te vluchten. Bij het bouwtype corridor kunnen alle doelgroepen gedurende de volledige benodigde veilige verblijftijd van 90 minuten alsnog besluiten om te vluchten, mits ze niet op de bouwlaag zijn waar de brand is. Voor beide gevallen blijft de vluchtroute gedurende de totale 90 minuten veilig om te vluchten. Wanneer personen niet in hun woning blijven bij het stay-in-place-

¹⁹ Adequaet betekent ontworpen en ingericht op blussen (voldoende debiet) met een daarbij behorende kwaliteit.

concept dan levert dit geen aanvullende risico's op. Voor andere situaties (andere doelgroep, gebouwtype of bouwlaag) geldt dit echter niet.

Uit de analyse van het menselijk gedrag met betrekking tot het sluiten van de deur van de brandruimte na het vluchten, volgt dat het sluiten van de deur een belangrijke voorwaarde is voor het veilig kunnen verblijven in de andere woningen. Het sluiten van de deur is zo belangrijk, omdat bij een open deur rookverspreiding naar de vluchtroute kan plaatsvinden en vandaar direct naar de woningen die aan de vluchtroute zijn gelegen. Het groepsrisico neemt toe naarmate er meer woningen aan de vluchtroute zijn gelegen.

De invloed van het menselijk gedrag kan dus verminderd worden door naast een veilig verblijf in de woning ook het veilig vluchten voor langere tijd mogelijk te maken. De invloed van het menselijk gedrag kan ook verminderd worden door het effect van het falen van voorzieningen, zoals een zelfsluitende toegangsdeur van een woning, minder groot te maken. Voor beide gevallen geldt dat het snel blussen van de brand de invloed van het menselijk gedrag vermindert. Dit kan met een sprinklerinstallatie die de brand (snel) blust. Hierdoor wordt de hoeveelheid roet en verstikkende gassen die vrijkomen bij de brand gereduceerd. Dit zorgt ervoor dat zich ook minder roet en verstikkende gassen kunnen verspreiden naar de vluchtroute en naar andere woningen. Voor de zichtlengte in de vluchtroute op de bouwlaag waar de brand zich bevindt, blijft het belangrijk dat de deur van de brandruimte na het vluchten uit de woning weer gesloten wordt.

Ten aanzien van het functioneren van brandveiligheidsvoorzieningen tijdens de volledige levensduur van een pand kan gesteld worden dat de voorzieningen niet hinderlijk mogen zijn tijdens het dagdagelijks gebruik, dat ze geen of weinig onderhoud nodig moeten hebben en dat de urgentie gevoeld moet worden om het wel noodzakelijke onderhoud uit te laten voeren.

6.2.7 Samenvatting

De combinatie van bron- (tragere brandontwikkeling en sprinklerinstallatie) en effectmaatregelen (verbeterde interne luchtdichtheid) is het meest effectief voor alle doelgroepen in het beperken van de risico's bij een stay-in-place-concept. Deze combinatie geeft voor de zeer kwetsbare doelgroep de langste beschikbare veilige verblijftijd (meer dan 60 minuten) van alle onderzochte maatregelen. Voor de doelgroepen algemeen en kwetsbaar is de beschikbare veilige verblijftijd meer dan 90 minuten.

De maatregelen sprinklerinstallatie (indien ontworpen voor (snelle) blussing) en drukvereffening van de brandruimte zorgen ook voor een beschikbare veilige verblijftijd van meer dan 90 minuten voor de doelgroepen algemeen en kwetsbaar. Voor de zeer kwetsbare doelgroep is de beschikbare veilige verblijftijd echter minder dan bij de maatregel met tragere brandontwikkeling, sprinklerinstallatie en verbeterde interne luchtdichtheid. De drukvereffening geeft ook een verbetering voor alle doelgroepen, maar in mindere mate dan de sprinklerinstallatie ontworpen voor een snelle blussing. Zoals in paragraaf 2.8.1 is aangegeven, moeten de resultaten voor de maatregel drukvereffening als indicatief worden gezien. Nader onderzoek naar de toepasbaarheid van deze maatregel is dan ook noodzakelijk.

Een snelle blussing van de brand door een sprinklerinstallatie kan helpen om de invloed van het menselijk gedrag te reduceren. De sprinklerinstallatie kan daarnaast ook bijdragen aan het reduceren van de thermische belasting op de constructie en scheidingen.

6.3 Voorstel voor eisen in het Bbl

Het onderzoek richt zich met name op de randvoorwaarden waarmee een stay-in-place-concept kan worden toegepast als aanvullend instrument in situaties met verminderd zelfredzame personen. Uit het onderzoek blijkt dat een duidelijk kader voor het toepassen van een stay-in-place-concept (nog) ontbreekt. Vervolgonderzoek dan wel een maatschappelijk debat om tot een duidelijk kader te kunnen komen is op de volgende onderdelen noodzakelijk:

- > Welke mate van betrouwbaarheid (veiligheidsniveau) is voor een stay-in-place-concept acceptabel?
- > Welke bepalingsmethode en grenswaarden kunnen worden gehanteerd om dit veiligheidsniveau te bepalen?

Hierbij kan gedacht worden aan een vergelijking met het ontvluchtingsconcept en aan grenswaarden voor specifieke doelgroepen. In dit onderzoek is hiervoor een belangrijke eerste aanzet gedaan.

Omdat bovenstaande vragen (nog) niet zijn beantwoord, is het voorschrijven van een specifiek eisenpakket voor het stay-in-place-concept niet mogelijk. Uit het onderzoek blijkt echter wel dat de volgende mogelijke maatregelen kunnen worden voorgeschreven in het Bbl:

- > Een sprinklerinstallatie waarbij de sproeidichtheid is afgestemd op het brandvermogen van de inrichting met als doel het blussen van de brand.
- > Een verbeterde luchtdichtheid (factor 2) ten opzichte van de onlangs geïntroduceerde RA/R200-eisen.
- > Een verhoging van de WBDBO tussen de woningen (met 30 minuten) om de betrouwbaarheid van de scheidingsconstructies te vergroten.
- > Een verhoging van de brandwerendheid met betrekking tot bezwijken (met 30 minuten) om de betrouwbaarheid van de draagconstructie te vergroten.

Om de maatregelen vervolgens te vertalen in concrete voorschriften in het Bbl kan gedacht worden aan de volgende twee varianten:

1. Een algemene functionele eis waarmee het stay-in-place-concept in het Bbl expliciet wordt geïntroduceerd.
2. Een specifieke functionele eis die is uitgewerkt in concrete prestatie-eisen.

Met variant 1 wordt in het Bbl alleen voor bijvoorbeeld specifieke kwetsbare doelgroepen een functionele eis opgenomen indien het stay-in-place-concept wordt toegepast (vergelijkbaar met de voorschriften voor hoogbouw). Door voor deze optie te kiezen, wordt die invulling van deze eis (zoals het te hanteren veiligheidsniveau, de bepalingsmethode en grenswaarden) overgelaten aan de indiener van een vergunning. Hierbij is het wel aan te bevelen om in de toelichting of in een nadere handreiking kaders te geven voor deze invulling. In bijlage D is een eerste aanzet voor een functionele eis gegeven.

Bij variant 2 wordt een specifieke functionele eis voor het stay-in-place-concept uitgewerkt in concrete (aanvullende) prestatie-eisen. Op basis van dit onderzoek dienen dit prestatie-

eisen te zijn die zich richten op een automatische blusinstallatie, verbeterde weerstand tegen rookdoorgang, weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag en de brandwerendheid met betrekking tot bezwijken. In bijlage D is een eerste aanzet tot formulering van deze eisen gegeven.

7 Conclusies

In dit hoofdstuk worden de antwoorden op de onderzoeksvragen gegeven, gebaseerd op de resultaten van de analyses uit de voorgaande hoofdstukken. De verschillende deelvragen die bij de onderzoeksvragen zijn gesteld, worden ook impliciet beantwoord.

7.1 Risico's en maatregelen rookverspreiding ontvluchtingsconcept

In deze paragraaf wordt de eerste onderzoeksvraag beantwoord. Deze luidt:

Wat is het risico van rookverspreiding in de (extra) beschermde vluchtroute bij een ontvluchtingsconcept en hoe kan dit risico worden gereduceerd?

7.1.1 Geconstateerde risico's

Zicht, verstikkende gassen en warmte zijn factoren die het risico van rookverspreiding voor de ontvluchting bepalen. Het risico wordt bepaald door de rookverspreiding vanuit de brandruimte naar de (extra beschermde) vluchtroute (een gemeenschappelijke verkeersruimte). Voor het ontvluchtingsconcept is zicht in de vluchtroute veelal de bepalende factor.

Voor de kwetsbaarheid van de doelgroep is in het onderzoek onderscheid gemaakt in een algemene doelgroep, een kwetsbare en een zeer kwetsbare doelgroep. De risico's van rookverspreiding nemen toe naarmate de kwetsbaarheid van de doelgroep toeneemt. Hoe kwetsbaarder de doelgroep, des te korter de beschikbare veilige vluchttijd (AST). De zeer kwetsbare doelgroep is namelijk het meest gevoelig voor het verslechteren van de condities zicht, verstikkende gassen en/of warmte. Het zicht wordt voor personen die in deze doelgroep vallen eerder belemmerd (daarom is er sprake van een strenger toetscriterium) en zij kunnen maar beperkte tijd in de rook verblijven. Tegelijkertijd geldt dat personen uit een (zeer) kwetsbare doelgroep mobiel beperkter zijn, waardoor hun loopsnelheid lager is en daardoor de benodigde veilige vluchttijd (RST) toeneemt.

Het openen van de deur van de brandruimte voor het ontvluchten uit de brandruimte zorgt voor rookverspreiding naar de aangrenzende corridor. Als gevolg daarvan wordt het uitgangspunt van het Bouwbesluit / Bbl dat een vluchtroute tenminste 30 minuten bruikbaar moet zijn om daar doorheen 30 seconden met ingehouden adem en een snelheid van 1 m/s te kunnen lopen in de praktijk veelal niet gerealiseerd. Deze vluchtroute blijkt namelijk al veel eerder belemmerd te zijn door beperkt zicht en / of een te hoge dosis verstikkende gassen. Bovendien zal de loopsnelheid in de praktijk bij veel personen lager liggen dan 1 m/s. Het is dus van belang dat de deur van de brandruimte gesloten blijft of na het openen snel wordt gesloten.

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.

Op basis van de resultaten uit dit onderzoek kan het volgende worden aangegeven over de betrouwbaarheid van het ontvluchtingsconcept:

- > 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 21 %.
- > Voor de (zeer) kwetsbare doelgroep heeft het ontvluchtingsconcept een fors lagere betrouwbaarheid dan voor de algemene doelgroep. Bij de corridorontsluitingen is de betrouwbaarheid op basis van de gehanteerde methode ongeveer 0 tot 44%. Dit betekent dat in de meeste gevallen (56 tot 100 %) de benodigde veilige vluchttijd langer is dan de beschikbare veilige vluchttijd. Het ontvluchtingsconcept is voor de kwetsbare en zeer kwetsbare doelgroep dus in veel gevallen onbetrouwbaar.
- > Om een betrouwbaar ontvluchtingsconcept voor alle doelgroepen te realiseren, zijn aanvullende maatregelen voor de kwetsbare doelgroepen noodzakelijk.

7.1.2 Risico-reducerende maatregelen

In het onderzoek is zowel van bronmaatregelen (tragere branduitbreiding of een sprinklerinstallatie) als van effectmaatregelen (bijvoorbeeld rookwerendheid) het effect op de rookverspreiding onderzocht. Tevens is het effect van een combinatie van bron- en effectmaatregelen onderzocht.

Uit het onderzoek blijkt dat afzonderlijke (niet-gecombineerde) maatregelen voor alle doelgroepen niet voldoende zijn om de risico's van rookverspreiding bij het ontvluchtingsconcept voldoende te beperken. Wel blijken bronmaatregelen voor de beperking van rookverspreiding effectiever te zijn dan effectmaatregelen. Bronmaatregelen zijn daarnaast minder afhankelijk van menselijk gedrag tijdens het vluchten. Daarmee wordt bedoeld dat menselijk gedrag slechts beperkt of geen invloed heeft op het functioneren van de maatregel.

Bron- of effectmaatregelen

De volgende bronmaatregelen zijn onderzocht op hun bijdrage aan risicoreductie:

- > Het beperken van de branduitbreidingsnelheid van het brandende object (brandveilig meubilair, inventaris).
- > De toepassing van een sprinklerinstallatie (in het onderzoek is de effectiviteit van drie variaties onderzocht).

Het beperken van de uitbreidingsnelheid van brand door het uifaseren van brandbaar meubilair / inventaris dat voor een grote rookproductie zorgt, is een maatregel die buiten de scope van de bouwregelgeving valt. Deze maatregel kan mogelijk wel op korte termijn

worden doorgevoerd, maar een volledige realisatie in de praktijk is op korte termijn niet realistisch: het zal immers jaren duren voordat brandbaar meubilair uitgefaseerd is. Een sprinklerinstallatie is een effectieve maatregel om rookverspreiding te beperken. Een sprinklerinstallatie beperkt het brandvermogen, de rookproductie en de drukopbouw in de brandruimte en daarmee de rookverspreiding.

De volgende effectmaatregelen zijn onderzocht op hun bijdrage aan risicoreductie:

- > Het creëren van onderdruk in de brandruimte door middel van mechanische afzuiging van lucht in de woning.
- > Het verbeteren van de interne luchtdichtheid (en daarmee rookdichtheid) tussen de woningen onderling en tussen de woningen en de gang.
- > Het aanbrengen van aanvullende subbrandcompartimentering in de (extra beschermde) vluchtroute en aangrenzende woningen door het aanbrengen van rookwerende scheidingsconstructies met zelfsluitende deuren in de (extra beschermde) vluchtroute. Hiermee wordt het beperken van de loopafstand door een door brand of rook bedreigde ruimte beoogd.

De onderdruk en de interne luchtdichtheid zorgen voor een langere beschikbare veilige vluchttijd, maar dit geldt enkel voor de algemene doelgroep. De aanvullende subbrandcompartimentering wordt hieronder nader besproken.

Combinatie van maatregelen

Tenslotte zijn de volgende combinaties van bron- en effectmaatregelen onderzocht op hun bijdrage aan risicoreductie:

- > Een combinatie van een sprinklerinstallatie en het beperken van de branduitbreidingsnelheid van het brandende object.
- > Een combinatie van een sprinklerinstallatie, het beperken van de uitbreidingsnelheid van het brandende object en het verbeteren van de interne luchtdichtheid.

Uit het onderzoek blijkt dat een aanzienlijke beperking van de risico's van rookverspreiding voor alle doelgroepen wordt bereikt door een combinatie van bron- en effectmaatregelen.

Subbrandcompartimentering vluchtroute

Een nadere subbrandcompartimentering van de (extra beschermde) vluchtroute inclusief de aangrenzende woningen is een mogelijkheid om de risico's van rookverspreiding bij een ontvluchtingsconcept voor individuele personen in het gebouw te beperken:

- > Voor individuele personen neemt het risico bij rookverspreiding deels af, namelijk voor hen die zich bevinden in de woningen die grenzen aan het gangdeel waaraan de brandende woning niet grenst. Er is vanwege de extra subbrandcompartimentering (splitsing van de gang) immers een extra barrière tegen rookverspreiding.
- > Voor individuele personen neemt het risico's van rookverspreiding deels echter ook toe, namelijk voor de personen in de woningen die zich aan hetzelfde gangdeel bevinden als de woning waar de brand is. Door de extra subbrandcompartimentering (splitsing van de gang) wordt het volume van de gang namelijk verkleind, waardoor de condities en tijdsduur waaronder nog door deze gang kan worden gevlucht sneller verslechteren. Tegenover een snellere verslechtering van de rook staat echter dat de loopafstand in de gang door het aanbrengen van de subbrandcompartimentering in de gang wordt verkleind en daardoor het risico wordt beperkt.

Het individuele risico (gebaseerd op de eerste overschrijding AST-RST) neemt dus toe. Er kan niet vastgesteld worden of het groepsrisico voldoende afneemt, omdat daarvoor een beoordelingskader ontbreekt. Om te kunnen bepalen of deze maatregel de risico's van rookverspreiding voldoende verkleint op groepsniveau, is een beoordeling van het groepsrisico noodzakelijk. Daarvoor is nader onderzoek nodig. Het Bouwbesluit / Bbl is namelijk niet toegesneden op het beoordelen van groepsrisico's en richt zich voornamelijk op het individuele risico. Het doorvoeren van deze maatregel in het Bouwbesluit / Bbl wordt op dit moment dan ook afgeraden.

Voorstel vervolgonderzoek en maatregelen

Voordat de maatregelen die zijn onderzocht kunnen worden vertaald in concrete grenswaarden en bepalingmethoden voor het Bouwbesluit / Bbl is nader onderzoek dan wel een maatschappelijk debat nodig over het onderscheid tussen de algemene en (zeer) kwetsbare doelgroepen:

- > Wat is het acceptabele veiligheidsniveau voor kwetsbare doelgroepen?
- > Is een verschil in veiligheidsniveau tussen doelgroepen is acceptabel?
- > Zo ja, welk verschil in veiligheidsniveau is acceptabel?

Als denkrichting voor het onderscheid tussen doelgroepen worden de volgende twee mogelijkheden gegeven:

- > Optie 1: het introduceren van doelgroep differentiatie (algemeen / (zeer) kwetsbaar in het Bouwbesluit / Bbl met op de doelgroep afgestemde brandveiligheidsvoorzieningen.
- > Optie 2: het introduceren van brandveiligheidsvoorzieningen (bron- en effectmaatregelen) die voor alle doelgroepen hetzelfde zijn.

7.2 Risico's en maatregelen rookverspreiding stay-in-place

In deze paragraaf wordt de tweede onderzoeksvraag beantwoord. Deze luidt:

Wat is het risico van rookverspreiding tussen brandcompartimenten bij een stay-in-place-concept en hoe kan dit risico worden gereduceerd?

7.2.1 Geconstateerde risico's

Verspreiding van verstikkende gassen is bij een stay-in-place-concept het belangrijkste risico van rookverspreiding tussen brandcompartimenten. De overschrijding van de beschikbare veilige verblijftijd vindt als eerste plaats in de woningen die direct grenzen aan de brandende woning. Dit betreft de direct naast- en bovengelegen woningen. Bij het woongebouw met ontsluiting via een atrium is de beschikbare veilige verblijftijd het kortste voor de woning boven de brandruimte op de bovenste bouwlaag.

Gelijk aan het ontvluchtingsconcept geldt ook voor het stay-in place-concept dat de beschikbare veilige verblijftijd voor de (zeer) kwetsbare doelgroep korter is dan voor de algemene doelgroep – dit terwijl het stay-in-place-concept het meest geschikt lijkt voor de (zeer) kwetsbare doelgroep die niet of minder goed in staat zal zijn om zelfstandig het gebouw te ontvluchten bij een brand.

Naast de rookproductie blijkt dat met name de interne luchtdichtheid van scheidingsconstructies (rookdichtheid van de interne scheidingsconstructies) bepalend is voor de

bepanking van rookverspreiding tussen de brandruimte en andere woningen en daarmee voor de verspreiding van verstikkende gassen. De beschikbare veilige verblijftijd neemt toe als er geen directe verbinding aanwezig is tussen de brandruimte en andere woningen. Dit geldt bijvoorbeeld voor woningen aan de overzijde van de corridor. Tussen deze woningen en de brandende woning zijn immers meerdere 'barrières' aanwezig (brand- en rookwerende scheidingsconstructies met zelfsluitende deuren).

Het openen van de deur van de brandruimte voor het ontluchten daarvan zorgt voor rookverspreiding naar de aangrenzende corridor. Het is dus van belang dat deze deur gesloten blijft of na het openen snel wordt gesloten. Bij kortdurend openen van de deur van een woning waarin geen brand is en die grenst aan een corridor waarin een aanzienlijke hoeveelheid rook hangt, blijven de concentraties in de betreffende woning gedurende redelijke tijd acceptabel. Dit geldt vooral voor de woningen die niet direct grenzen aan de brandruimte. Wel is het van belang dat de deur weer gesloten wordt.

In gebouwen waarin het stay-in-place-concept wordt toegepast, bevinden zich mogelijk ook personen die fysiek in staat zijn om te vluchten. Uit het onderzoek naar menselijk gedrag blijkt, dat personen handelen naar wat ze bij brand op basis van hun zintuigen ervaren (zien, horen, ruiken). Dat betekent dat het risico bestaat dat personen die fysiek in staat zijn om te vluchten, dat ook daadwerkelijk doen bij brand. Het stay-in-place-concept lijkt dus vooral geschikt voor personen die bij brand fysiek niet in staat zijn om te vluchten.

Een 'betrouwbaar stay-in-place-concept' is een concept waarbij alle personen veilig in het gebouw kunnen verblijven tijdens een brand. Wanneer de betrouwbaarheid van dit concept kleiner is dan 100 %, betekent dit dat het risico bestaat dat die veiligheid niet gegarandeerd kan worden. Op basis van de resultaten in dit onderzoek kan het volgende worden aangegeven over de betrouwbaarheid van het stay-in-place-concept:

- > De betrouwbaarheid van het stay-in-place-concept op basis van de huidige maatregelen uit het Bouwbesluit 2012 bedraagt voor de algemene doelgroep ongeveer 19 tot 23 %.
- > Voor de (zeer) kwetsbare doelgroep is de betrouwbaarheid op basis van de gehanteerde methode 0 %. Het stay-in-place-concept is voor de kwetsbare en zeer kwetsbare doelgroep op basis van de huidige maatregelen uit het Bouwbesluit 2012 dus zeer onbetrouwbaar.
- > De betrouwbaarheid van het stay-in-place-concept is voor alle doelgroepen en gebouwtypen lager dan het ontluchttingsconcept.
- > Om een betrouwbaar stay-in-place-concept te realiseren, zijn aanvullende maatregelen voor alle doelgroepen noodzakelijk.

7.2.2 Risico-reducerende maatregelen

In het onderzoek is zowel van bronmaatregelen (tragere branduitbreiding of een sprinklerinstallatie) als van effectmaatregelen (bijvoorbeeld rookwerendheid) het effect op het stay-in-place-concept onderzocht. Tevens is het effect van een combinatie van bron- en effectmaatregelen onderzocht. Met uitzondering van aanvullende subbrandcompartimentering in de vluchtroute zijn dezelfde maatregelen onderzocht als benoemd bij het ontluchttingsconcept.

Voor het stay-in-place-concept kunnen de volgende algemene conclusies worden getrokken met betrekking tot risico-reducerende maatregelen:

- > Afzonderlijke (niet-gecombineerde) maatregelen zijn onvoldoende effectief voor alle doelgroepen.
- > De maatregelen sprinkler (indien ontworpen voor (snelle) blussing) en drukvereffening van de brandruimte zorgen voor een forse beperking van de risico's voor de algemene en kwetsbare doelgroep.
- > Een snelle blussing van de brand door een sprinklerinstallatie kan helpen om de invloed van het menselijk gedrag te reduceren. Gedragsonafhankelijke bronmaatregelen zoals sprinklerinstallaties hebben de voorkeur boven gedragsafhankelijke maatregelen. Met gedragsonafhankelijk wordt bedoeld dat menselijk gedrag zeer beperkt of geen invloed heeft op het functioneren van de maatregel. De toepassing van een sprinklerinstallatie draagt bij aan de toekomstige flexibiliteit van verschillende woonvormen (het geschikt zijn van een gebouw voor meerdere doelgroepen). Een sprinklerinstallatie kan daarnaast ook bijdragen aan het reduceren van de thermische belasting op de constructie en scheidingsen, hetgeen een positief effect heeft op de betrouwbaarheid van constructie en scheidingsen.
- > Voor een stay-in-place-concept is het verbeteren van de luchtdichtheid (rookdichtheid) vooral van belang voor de scheidingsconstructie tussen de brandcompartimenten (en eventueel flankerende trajecten).
- > De combinatie van bron- (tragere brandontwikkeling en sprinklerinstallatie) en effectmaatregelen (verbeterde interne luchtdichtheid) is het meest effectief voor alle doelgroepen in het beperken van de risico's bij een stay-in-place-concept. Echter: bij geen enkele (combinatie van) maatregel(en) kan voor de zeer kwetsbare doelgroep een beschikbare veilige verblijftijd van minimaal 90 minuten behaald worden.

Voorstel vervolgonderzoek en maatregelen

Uit het onderzoek blijkt dat de brandveiligheidsvoorzieningen van het Bouwbesluit / Bbl voor een stay-in-place-concept voor alle doelgroepen niet toereikend zijn. Dat is ook verklaarbaar: de voorschriften in het Bouwbesluit / Bbl zijn immers gericht op een ontvluchtingsconcept. Bovendien is eerst vervolgonderzoek dan wel een maatschappelijk debat nodig om tot duidelijke kaders voor een stay-in-place-concept te kunnen komen. Daaruit zal moeten blijken welke mate van betrouwbaarheid (ofwel: welk veiligheidsniveau) voor een stay-in-place-concept acceptabel wordt geacht. Vervolgens dienen een toetscriterium (grenswaarde) en een bepalingsmethode te worden vastgesteld.

Op dit moment is het voorschrijven van specifieke maatregelen voor het stay-in-place-concept daarom nog niet mogelijk. Voor de wijze waarop maatregelen in de toekomst kunnen worden vertaald naar concrete voorschriften in het Bouwbesluit / Bbl, kan worden gedacht aan een algemene functionele eis waarmee het stay-in-place-concept in het Bouwbesluit / Bbl expliciet wordt geïntroduceerd, vergelijkbaar met de wijze waarop dit in het Bouwbesluit 2012 voor gebouwen > 70 m is geregeld. Als alternatief kan worden gedacht aan een specifiekere functionele eis die is uitgewerkt in concrete prestatie-eisen. Voor beide varianten is in dit onderzoek een voorstel gedaan, zie bijlage D.

7.3 Betrouwbaarheid van rook- en brandwerende constructies

In deze paragraaf wordt de derde onderzoeksvraag beantwoord. Deze luidt:

Welke betrouwbaarheid van rookwerende scheidingsconstructies en brandwerende draag- en scheidingsconstructies van de brandcompartimenten is nodig voor een veilig verblijf van gebouwgebruikers bij een stay-in-place-concept?

7.3.1 Geconstateerde risico's

Uit het onderzoek blijkt dat met de huidige uitgangspunten voor de brandwerendheid met betrekking tot bezwijken en de weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag (WBDBO) voor het stay-in-place-concept een lagere betrouwbaarheid wordt bereikt dan met het ontvluchtingsconcept. Dat betekent dat de prestatie-eisen in het Bouwbesluit 2012 voor de brandwerendheid met betrekking tot bezwijken van de vluchtroute en de WBDBO-eisen ontoereikend zijn om in woongebouwen een stay-in-place-concept te realiseren.

In algemene zin kan daarom worden gesteld dat wanneer personen bij een stay-in-place-concept bij een brand in de woning moeten blijven er een grotere betrouwbaarheid nodig is.

7.3.2 Risico-reducerende maatregelen

Om een gelijk niveau van veiligheid te behalen moet de betrouwbaarheid van scheidings- en draagconstructies dus worden verhoogd. Uit het onderzoek blijkt:

- > dat de WBDBO tussen woningen met 30 minuten verhoogd moet worden ten opzichte van de voorschriften in het Bouwbesluit / Bbl om eenzelfde betrouwbaarheid te bereiken voor het stay-in-place-concept als voor het ontvluchtingsconcept. Dit betekent dat de WBDBO tussen woningen verhoogd moet worden naar 90 minuten.
- > dat de brandwerendheid met betrekking tot bezwijken tenminste even groot moet zijn als van de brandcompartimentering en daarnaast 30 minuten hoger moet zijn dan de eis aan de instandhouding van de draagconstructie volgens het Bouwbesluit / Bbl om voor het stay-in-place-concept een gelijke mate van betrouwbaarheid te bereiken als voor het ontvluchtingsconcept.
- > een sprinklerinstallatie kan bijdragen aan het vergroten van de betrouwbaarheid van scheidingsconstructies.

8 Discussie

Dit hoofdstuk bevat een beschouwing van het uitgevoerde onderzoek. Onder andere de voordelen en beperkingen van de gebruikte (reken)methode komen aan de orde. Daarnaast worden suggesties gedaan voor vervolgonderzoek.

8.1.1 Algemeen

Rekensoftware / aangehouden uitgangspunten

De onderzoeksresultaten zijn grotendeels gebaseerd op de uitkomsten van rekensoftware en digitale simulaties. Met deze rekensoftware wordt beoogd om de werkelijkheid zo dicht mogelijk te benaderen. De simulaties zijn echter altijd een vereenvoudiging van de werkelijkheid. Bedacht moet worden, dat de uitkomsten grotendeels afhankelijk zijn van de gebruikte uitgangspunten. Deze uitgangspunten en de bijbehorende aannames en randvoorwaarden zijn zoveel mogelijk gebaseerd op bestaande onderzoeken, gevalideerde normeringen of expert-judgement. Over een aantal uitgangspunten kan het volgende worden opgemerkt:

- > De invloed van de drukopbouw in de brandruimte op het al dan niet kunnen openen van de woningtoegangsdeur is niet meegenomen in de simulaties. Het verbeteren van de luchtdichtheid van een woning kan zorgen voor een hogere drukopbouw. In hoeverre deze bepalend is voor de vluchtmogelijkheden uit de brandruimte moet nader onderzocht worden.
- > Niet uitgesloten kan worden dat er in de praktijk sprake is van CO-lekkage door lichte scheidingswanden en gipsblokken (permeabiliteit). Het effect hiervan is echter nog onvoldoende kwantitatief vastgesteld en daarom niet meegenomen in de simulaties. Om het effect van CO-permeantie door scheidingsconstructies vast te stellen, is nader onderzoek noodzakelijk.
- > De luchtdichtheid tussen de woningen is in grote mate bepalend voor de tijd waarbinnen de maatgevende criteria worden overschreden. Voor de luchtdichtheid is een zo goed mogelijk onderbouwde aanname gedaan. Over de luchtdichtheid tussen de woningen zijn echter nog nauwelijks onderzoeksresultaten bekend, dus vervolgonderzoek naar deze factor is nodig.
- > De gebruikte methode voor het bepalen van de overlevingsmogelijkheden geeft naar verwachting geen reëel beeld bij langdurig verblijf in lage concentraties verstikkende gassen of warmte.
- > Waterstofcyanide (HCN) en stikstofoxiden (NOx) zijn niet meegenomen bij het beoordelen van de overleefbaarheid. Deze stoffen kunnen voor een vermindering van de beschikbare veilige tijd leiden. Nader onderzoek is nodig om hun invloed op de onderzoeksresultaten te kunnen bepalen.

Algemene uitgangspunten

- > In het onderzoek is uitgegaan van nieuw te bouwen gebouwen die voldoen aan de nieuwbouwvoorschriften uit het Bouwbesluit 2012. Bedacht moet worden dat de onderzoeksresultaten niet toepasbaar op voor bestaande gebouwen, bijvoorbeeld omdat de luchtdichtheid van bouwdelen over het algemeen groter zal zijn dan van nieuw te bouwen gebouwen, en daarmee ook de rookverspreiding.

- > De beschreven risico's in het onderzoek zijn gebaseerd op brand in een woning. De kans op het ontstaan van brand is daar namelijk het grootst. Brand op een andere locatie (zoals de (extra beschermde) vluchtroute, de gevel, het dak) is niet meegenomen. De locatie kan echter wel van grote invloed zijn op de resultaten.
- > Evenmin zijn factoren meegenomen zoals nieuwe of innovatieve bouwmaterialen en -methoden die samenhangen met de energietransitie en duurzaam bouwen (zoals bouwen met hout).
- > De uitkomsten van de rekensimulaties van zowel het ontvluchtingsconcept als het stay-in-place-concept zijn erop gebaseerd dat het gesimuleerde gebouw voldoet aan de prestatie-eisen voor nieuwbouw uit het Bouwbesluit 2012 en dat de voorzieningen functioneren. Het niet-functioneren van voorzieningen (zoals bijvoorbeeld een onklaar gemaakte deurdranger) kan grote invloed hebben op de uitkomsten. Dat geldt bijvoorbeeld ook voor de luchtdichtheid die in de loop der jaren mogen slechter wordt. Kortom: een stay-in-place-concept vraagt om een blijvende aandacht voor het in stand houden van de randvoorwaarden die in acht moeten worden genomen voor dit concept.

8.1.2 Ontvluchtingsconcept

Aandachtspunten bij de beschreven risico's (ontvluchtingsconcept)

Bij de beschreven risico's in hoofdstuk 7 moet in acht worden genomen dat:

- > De doelgroep in meer of mindere mate mobiel moet zijn om überhaupt te kunnen vluchten.
- > Nader onderzoek nodig is of het onderscheid tussen doelgroepen in de gehanteerde methode met betrekking tot het toetscriterium voor 'zicht' afdoende is (nu geldt 50 m zicht voor een gang en 100 m zicht in het atrium als toetscriterium voor de zeer kwetsbare doelgroep).

8.1.3 Stay in place-concept

Aandachtspunten met betrekking tot de randvoorwaarden en uitgangspunten

Bij de beschreven risico's in hoofdstuk 7 moet het volgende in acht worden genomen:

- > Overleefbaarheid in de brandruimte bij geen enkele maatregel (of combinatie van maatregelen) met voldoende zekerheid te garanderen is. Dat betekent dat:
 - de brandruimte dus altijd ontvlucht moet worden. Voor personen die niet mobiel zijn, is het zelfstandig verlaten van de brandruimte zonder hulp echter niet mogelijk. Zij moeten dus geholpen worden met bij de evacuatie. Een stay-in-place-concept betekent dus niet dat er geen hulp bij brand meer nodig is.
 - Binnen de verblijfsduur (90 minuten, zie hierna) een inzet van de brandweer mogelijk moet zijn om de omstandigheden in het gebouw weer terug te brengen naar een 'normale' situatie.
- > In het onderzoek is voor het stay-in-place-concept uitgegaan van een verblijftijd van 90 minuten. Of de 90 minuten een passende tijd is en waar dit vanaf hangt moet nader onderzocht worden (de benodigde veilige verblijftijd zou bij hoogbouw en relatief grote gebouwen mogelijk kunnen afwijken van de benodigde veilige verblijftijd bij lagere of kleinere gebouwen).
- > Bij de keuze van een verblijfsduur van 90 minuten hebben de volgende overwegingen een rol gespeeld:
 - Zowel de brandduur (60 minuten) als de evacuatie-interventietijd (30 minuten) zijn meegenomen.
 - Met de toepassing van voorzieningen die zijn gebaseerd op een verblijftijd van 90 minuten neemt de betrouwbaarheid substantieel toe.

- Bij een verblijftijd van 90 minuten neemt de afhankelijkheid van het effect van een (snelle) brandweerinzet af.
- Ook bij een verblijfsduur van 90 minuten moet er iets worden ondernomen om het gebouw weer gebruiksklaar te krijgen.
- > Gevolg van het stay-in-place-concept is dat er grote aantallen personen bij brand in het gebouw blijven. Mocht een brand escaleren, dan worden ook direct meerdere personen bedreigd door de brand. Het Bouwbesluit / Bbl geeft echter geen criteria voor het beoordelen van het groepsrisico, vandaar dat in dit onderzoek is uitgegaan van een beoordeling op individueel niveau. Om een goede vergelijking en daarmee goede beoordeling mogelijk te maken, is ook een maatlat nodig voor de beoordeling van het groepsrisico.
- > Het afvoeren van verontreinigingen en verstikkende gassen in de woningen kan bijdragen bij aan het verlengen van de beschikbare verblijftijd. Naast het toepassen van onderdruk is het openen van ramen daarom een mogelijkheid. Er moet nader onderzocht worden wat het openen van ramen doet met de luchtstroom (en daarmee de rookverspreiding) in het gebouw. Ook het schuilen op een balkon zorgt ervoor dat personen langer in hun woning kunnen verblijven.

8.1.4 Betrouwbaarheid

- > Een stay-in-place-concept zou tenminste dezelfde betrouwbaarheid moeten hebben als in het Bouwbesluit 2012 is beoogd met het ontvluchtingsconcept. Als referentie voor de betrouwbaarheid van het stay-in-place-concept is daarom uitgegaan van de prestatie-eisen die ten grondslag liggen aan het ontvluchtingsconcept in het Bouwbesluit / Bbl:
 - Een brandwerendheid met betrekking tot bezwijken van ten minste 30 minuten voor de vluchtroute.
 - Een WBDBO van ten minste 60 minuten tussen de woningen.
 Bedacht moet echter worden dat redundantie in vluchtroutes volgens het Bouwbesluit / Bbl 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. Dit verschil in redundantie is in het onderzoek echter niet meetbaar gemaakt, omdat ervoor is gekozen om de referentie voor de betrouwbaarheid te ontleen aan de WBDBO en brandwerendheid met betrekking tot bezwijken van de vluchtroutes. Deze eisen gelden namelijk altijd, ongeacht de (semi)redundantie van de vluchtroutes.

8.1.5 Slotbeschouwing

Zowel bij het ontvluchtingsconcept als bij het stay-in-place-concept zijn de risico's van rookverspreiding het grootst voor de zeer kwetsbare doelgroep. Dat betekent dat de beschikbare vluchttijd bij het ontvluchtingsconcept en de beschikbare verblijftijd bij het stay-in-place-concept voor deze doelgroep het kleinst is. Tegelijkertijd zijn deze personen over het algemeen ook het minst mobiel en in het geval van brand het meest afhankelijk van hulp van anderen. Dat betekent dat de benodigde vluchttijd bij het ontvluchtingsconcept, en de benodigde verblijftijd bij een stay-in place-concept het grootst zijn.

Het verschil in kwetsbaarheid is echter ook bij het ontvluchtingsconcept op basis van de huidige bouwregelgeving (Bouwbesluit 2012) een gegeven. Kennelijk is voor deze doelgroep

in het Bouwbesluit 2012 een hoger risico geaccepteerd dan voor andere doelgroepen. Het Bouwbesluit 2012 gaat namelijk uit van een gemiddelde zelfredzaamheid, waarbij personen die niet zelfstandig kunnen vluchten, worden geholpen door andere bewoners. De vergrijzing neemt de komende jaren verder toe, zodat de verhouding tussen zelfredzamen en niet-zelfredzame personen in woongebouwen ook anders wordt. Dit leidt tot de vraag welk risico voor deze doelgroep bij een stay-in-place-concept nog acceptabel wordt geacht. Nadere doordenking van deze vraag in een vervolgonderzoek of maatschappelijk debat is nodig.

Naast een ontvluchtingsconcept en een stay-in-place-concept kan nog worden gedacht aan een tussenvorm (hybrideconcept). In het geval de gang rookvrij is, kunnen bewoners ervoor kiezen om de woning te ontvluchten. Mocht vluchten vanwege rook op de gang niet mogelijk zijn, dan kunnen bewoners er (in eerste instantie) voor kiezen om in de woning te blijven. Ventileren van de vluchtroute zou dan een mogelijkheid kunnen zijn om de gang op termijn weer vluchtveilig te maken. Voorwaarde is dan vanzelfsprekend wél dat de woning dan voldoende veilig blijft.

Ten slotte kan worden opgemerkt dat een stay-in-place-concept een aanzienlijke opgave met zich meebrengt voor de brandweer. De brandweer wordt dan namelijk geconfronteerd met een gebouw waarin (veel) personen aanwezig zijn. Met name de afweging of deze personen in het gebouw kunnen verblijven of dat ze (alsnog) geëvacueerd moeten worden, behoeft nadere doordenking.

Literatuurlijst

- ATGB (2020). *Advies naar aanleiding van het 'Grenfell Tower Inquiry Phase 1 Report'*. Adviesburo Nieman B.V. (2007). *Fysisch brandmodel statistische en probabilistische aspecten*. Zwolle.
- Adviescommissie Toepassing en Gelijkwaardigheid Bouwvoorschriften. (2020). *Advies naar aanleiding van het "Grenfell Tower Inquiry Phase 1 Report."*
- Ahrens, M. (2017). *U. S. Experience with Sprinklers*. Quincy: NFPA.
- Babrauskas, V. (2016). Heat release rates. In M. J. Hurley (Ed.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (5th ed., pp. 799–905). New York: Springer.
<http://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0>
- Brandweeracademie. (2014). *Kwadrantenmodel voor gebouwbrandbestrijding*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie. (2017). *Impression tests upholstered furniture and mattresses*. Arnhem.
- Brandweeracademie. (2018). *10 jaar fatale woningbranden onderzocht*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie. (2020a). *Reddingen bij brand 2016-2018*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie. (2020b). *Rookverspreiding in woongebouwen. Hoofdrapport van de praktijkexperimenten in een woongebouw met inpandige gangen*. Arnhem.
- Brandweeracademie. (2021a). *Impression tests mattresses*. IFV: Arnhem.
- Brandweeracademie. (2021b). *Vluchtveiligheid van woongebouwen*.
- Brandweeracademie, & Brandweer Nederland. (2017). *Casuïstiek uit brandonderzoek, trends om van te leren*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie, & Brandweer Nederland. (2019). *Casuïstiek uit brandonderzoek, trends om van te leren 2*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie, & Nederlandse Brandwonden Stichting. (2015). *De invloed van vergrijzing op brandveiligheid. Deelrapport 1: De omvang van de problematiek*. Arnhem: IFV.
- British Standards Institution. (2004). *The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings. Human factors. Life safety strategies. Occupant evacuation, behaviour and condition*. London, UK.
- Cadorin, J. F., Pinteá, D., & Franssen, J. M. (2001). *The Design Fire Tool OZone V2 . 0 - Theoretical Description and Validation On Experimental Fire Tests*. Luik.
- Centraal Bureau voor de Statistiek. (2012). *Brandweerstatistiek 2012*. Den Haag. Retrieved from <https://www.cbs.nl/nl-nl/publicatie/2013/48/brandweerstatistiek-2012>
- Exova WarringtonFireGent NV, & Universiteit Gent. (2016). *Brandveiligheid in ouderenvoorzieningen: Onderzoek naar de doelmatigheid van alternatieve brandveiligheidsmaatregelen in nieuwe zorgconcepten*. Brussel: VIPA.
- Forssberg, M., Kjellström, J., Frantzich, H., Mossberg, A., & Nilsson, D. (2019). The Variation of Pre-movement Time in Building Evacuation. *Fire Technology*, 55(6), 2491–2513. <http://doi.org/10.1007/s10694-019-00881-1>
- Gamache, S. (2002). Remembering when: a fall and fire prevention Program for older adults. *Generations*.
- Garrett, J. (1999). Design for escape from fire.
- Georg, P., Berchtold, F., Gwynne, S., Boyce, K., Holl, S., & Hofmann, A. (2019). Engineering egress data considering pedestrians with reduced mobility. *Fire and Materials*, 43(7), 759–781. <http://doi.org/10.1002/fam.2736>
- Hagen, R., & Van Zoonen, E. (2015). *De invloed van vergrijzing op brandveiligheid. Deelrapport 1: de omvang van de problematiek*.
- Halvorsen, K., Almklov, P. G., & Gjørsund, G. (2017). Fire safety for vulnerable groups: The challenges of cross-sector collaboration in Norwegian municipalities. *Fire Safety Journal*, 92(February), 1–8. <http://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.05.001>
- Hopkin, C., Spearpoint, M., Hopkin, D., & Wang, Y. (2022). Using Probabilistic Zone Model Simulations to Investigate the Deterministic Assumptions of UK Residential Corridor

- Smoke Control Design. *Fire Technology*. <http://doi.org/10.1007/s10694-022-01221-6>
- ISO 13571. (2012). *Life-threatening components of fire - Guidelines for the estimation of time to compromised tenability in fires*. Geneva: International Organization for Standardization.
- Jacoby, D., LeBlanc, D., Tubbs, J., & Woodward, A. (2016). Considerations for coordinating and interfacing fire protection and life safety systems. In M. J. Hurley (Ed.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (5th ed., pp. 1740–1785). New York: Springer.
- Karlsson, B., & Quintiere, J. G. (1999). *Enclosure Fire Dynamics*. CRC Press.
- Kobes, M. (2008). *Zelfredzaamheid bij brand : kritische factoren voor het veilig vluchten uit gebouwen*. Den Haag: Boom Juridische uitgevers.
- Kobes, M., Helsloot, I., De Vries, B., & Post, J. (2010). Exit choice, (pre-)movement time and (pre-)evacuation behaviour in hotel fire evacuation - Behavioural analysis and validation of the use of serious gaming in experimental research. *Procedia Engineering*, 3, 37–51. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.07.006>
- Kuligowski, E. D. (2009). The Process of Human Behavior in Fires. *National Institute of Standard and Technology*, 1632, 15.
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. (2021). *Praktijkboek besluit bouwwerken leefomgeving*. Alphen aan den Rijn.
- Ministerie van Volksgezondheid Ruimtelijke Ordening en Milieu. (2009). *Visie op Brandveiligheid*. Den Haag.
- Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid Nibra. (2008). *Zelfredzaamheid bij brand. Tien mythen ontkracht*. Arnhem: Instituut Fysieke Veiligheid.
- NEN. (2011). NEN 6055: Thermische belasting op basis van het natuurlijk brandconcept - Bepalingsmethode. Delft.
- NEN. (2019). NEN-EN 1991-1-2+C3:2019/NB:2019nl. Delft.
- NFPA. (2012). *NFPA 101 Life Safety Code*. Quincy (USA).
- NIST. (2021). *CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 7) Volume 2: Users Guide / NIST Technical Note 1889v2*. Maryland.
- Olsson, P. Å., & Regan, M. A. (2001). A comparison between actual and predicted evacuation times. *Safety Science*, 38(2), 139–145. [http://doi.org/10.1016/S0925-7535\(00\)00064-3](http://doi.org/10.1016/S0925-7535(00)00064-3)
- Proulx, G. (2001). Highrise evacuation: a questionable concept.
- Purser, D. A., & McAllister, J. L. (2016). Assessment of Hazards to Occupants from Smoke, Toxic Gases, and Heat. In M. J. Hurley (Ed.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (5th ed., pp. 2308–2428). New York: Springer. <http://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0>
- Ronchi, E., & Nilsson, D. (2013). Fire evacuation in high-rise buildings: a review of human behaviour and modelling research. *Fire Science Reviews*. <http://doi.org/10.1186/2193-0414-2-7>
- Särdqvist, S. (1993). *Initial fires, RHR , Smoke Production and CO Generation from Single Items and Room Fire Tests*.
- SFPE. (2016). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. (M. J. Hurley, D. Gottuk, J. R. Hall, K. Harada, E. Kuligowski, M. Puchovsky, ... C. Wieczorek, Eds.) (5th ed., Vol. 1). New York: Springer. <http://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0>
- Staffansson, L. (2010). *Selecting design fires*. Lund, Sweden.
- Steunpunt Welzijn, V. en G. (2021). *Analyse van experimenten en numerieke simulaties van brandproeven voor de ontwikkeling van een beoordelingskader voor brandveiligheid in zorggebouwen*. Leuven.
- Tanaka, T. (2016). Vent Flows. In M. J. Hurley (Ed.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (5th ed.). New York: Springer.
- Tenbült, N. (2017). *Impact of the balanced mechanical ventilation system on overpressure in airtight houses in case of fire*. Eindhoven.
- The Swedish National Board of Housing, Building and Planning's general recommendations 2011:xx on analytical design of fire protection for buildings (2011).
- The Swedish National Board of Housing, Building and Planning. The Swedish National Board of Housing, Building and Planning's general recommendations on the analytical design of a building's fire protection, BBRAD. BFS 2011:27 (2011). Sweden.

- Tromp, A. J., & van Mierlo, R. J. M. (2013). *Fire safety engineering: handboek voor de bouw*. Delft: Eburon.
- van der Graaf, P. J., Huijzer, J. C., & Eggink-Eilander, S. (2010). *Brandveiligheid portiekwoningen*. Zwolle.
- Wales, D. G., Thompson, O. F., Hulse, L. M., & Galea, E. R. (2015). *Human Behaviour in Accidental Dwelling Fires Research From Data to Difference FROM DATA TO DIFFERENCE-CONSIDERING THE APPLICATION OF A LARGE-SCALE DATABASE OF HUMAN BEHAVIOUR IN ACCIDENTAL DWELLING FIRES*.
- Van Zoonen, E. & Hagen, R. (2015), *De invloed van vergrijzing op brandveiligheid Deelrapport 1: de omvang van de problematiek*. IFV.
- VIPA (2016), *Brandveiligheid in ouderenvoorzieningen: onderzoek naar de doelmatigheid van alternatieve brandveiligheidsmaatregelen in nieuwe zorgconcepten*. VIPA.
- Wales, D. G., Thompson, O. F., Hulse, L. M., & Galea, E. R. (2015), *Human Behaviour in Accidental Dwelling Fires Research From Data to Difference – Considering the application of a large-scale database of human behaviour in accidental dwelling fires*. Retrieved from www.intersciencecomms.co.uk.

Bijlage A onderbouwing keuzes bij AST-RST-analyse persoonlijke veiligheid

Hieronder worden de keuzes onderbouwd die zijn gemaakt bij de AST-RST-analyse.

Toetscriteria AST persoonlijke veiligheid

Bij de toetscriteria voor de AST-bepaling voor persoonlijke veiligheid zijn de onderstaande keuzes en afwegingen gemaakt. Voor de brandconditie zicht geldt dat een FEC_{smoke} van 1 overeenkomt met een zichtlengte van 5 meter voor kleine ruimtes (corridor / corridor met vide) en 10 meter voor grote ruimtes (atrium). Deze criteria zijn overgenomen uit de Zweedse 'fire safety engineering wetgeving' (The Swedish National Board of Housing, 2011). Bij de berekening van de zichtlengte is uitgegaan van een contrastfactor van 1: $zichtlengte = 1 / optical\ density/m$.

De Zweedse wetgeving kent enkel grenswaarden voor warmte of verstikkende gassen die uitgaan van een ontvluchtingsconcept. Om die reden is een eigen criterium gekozen van 0,3 voor de FED_{heat} en FED_{in} . Bij een FED van 1 geldt dat 50 % van de gemiddelde populatie een levensbedreigende situatie heeft (ISO 13571, 2012). Omdat in dit geval slechts 50 % van de populatie een niet levensbedreigende situatie geeft, wordt een FED van 1 onvoldoende conservatief geacht als toetscriterium. Om die reden is gekozen voor een FED van 0,3 voor de algemene doelgroep. Uitgaande van een lognormale verdeling betekent dit dat 11,4 % van de gemiddelde populatie een levensbedreigende situatie geeft bij een FED van 0,3 (ISO 13571, 2012). De wijze waarop de waarden voor de verschillende methoden berekend worden, is beschreven in het rapport *Rookverspreiding in woongebouwen* (Brandweeracademie, 2020b). Voor dit rapport geldt dat de bepaling van de FED_{in} (verstikkende gassen) is gedaan op basis van de concentraties koolmonoxide, kooldioxide en zuurstof. Van waterstofcyanide (HCN) is niet nauwkeurig genoeg bekend hoeveel ervan vrijkomt bij een brand. Om die reden is waterstofcyanide niet meegenomen in de bepaling van de FED_{in} . Wanneer dit wel was meegenomen, zou dit mogelijk leiden tot andere beschikbare veilige tijden.

Voor de bepaling van de persoonlijke veiligheid bij een stay-in-place-concept is enkel gekeken naar overleefbaarheid. Hiervoor gelden de toetscriteria FED_{heat} en FED_{in} . In de AST-RST-analyse is dus geen grenswaarde opgenomen voor de brandconditie zicht. Het kan daardoor zijn dat er rook zichtbaar is in een woning. Wat voor effect het zien van rook heeft op het menselijk gedrag bij een stay-in-place-concept is beoordeeld in de kwalitatieve analyse van het menselijk gedrag. Daarom is dit niet meegenomen in de AST-RST-analyse.

Voor de bepaling van de AST bij het ontvluchtingsconcept zijn twee toetsen uitgevoerd:

- > Beschikbaarheid van de vluchtroute, op basis van het toetscriterium FEC_{smoke} .
- > Overleefbaarheid, op basis van de toetscriteria FED_{heat} en FED_{in} .

Ten aanzien van de beschikbaarheid van de vluchtweg is beoordeeld op welk moment het zicht in de gang of het atrium te beperkt werd om te kunnen vluchten. Voor de overleefbaarheid is zowel de warmte en/of hoeveelheid verstikkende gassen in de woning als in de gang van belang. Er is gekeken naar de maximale tijd die in de woning kan worden geleefd om, inclusief twee minuten vluchttijd door de gang, niet boven het toetscriterium voor warmte of verstikkende gassen uit te komen.

Er is gekozen voor een vaste vluchttijd door de gang van twee minuten. Binnen deze twee minuten zouden de personen die in staat zijn om te vluchten een voldoende veilige plek bereikt moeten kunnen hebben (waar ze nagenoeg niet meer blootgesteld worden aan warmte of verstikkende gassen).

Gebouw- en installatiekenmerken

Er is gekozen om drie verschillende gebouwtype mee te nemen in de analyse (woongebouw met corridorontsluiting, woongebouw met door vides gekoppelde verkeersruimte en woongebouw met ontsluiting via een atrium). Deze drie gebouwtypen worden geacht een groot deel van de Nederlandse bouwvoorraad aan appartementen af te dekken. De gebouwtypen zijn ook gekozen omdat ze een ander type gang, ofwel andere vluchtweg, hebben, wat van invloed is op de rookverspreiding in en via deze gang of vluchtweg.

Voor alle gebouwtypen geldt dat is gekozen voor een gang of atrium in het midden met aan beide zijden van de gang of het atrium vijf woningen. De woningen hebben een breedte van 6 meter en een lengte van 12 meter. Op die manier zijn de gang en het atrium 30 meter lang. Voor de keuze van de gebouwtypen en de uitvoering daarvan geldt dat zoveel mogelijk is aangesloten bij gemiddelden of veel voorkomende eigenschappen van appartementen.

In het Cfast-model van de woongebouwen met gang zijn twee bouwlagen opgenomen. In het Cfast-model van het woongebouw met atrium zijn drie woongebouwen opgenomen. Per bouwlaag zijn de volgende ruimtes meegenomen in het model:

- > gang / atrium
- > brandruimte (op de bouwlaag waar geen brand is, is dit een gewone woning)
- > woning naast de brandruimte
- > woning tegenover de brandruimte.

De overige woningen op de bouwlaag zijn niet meegenomen in het Cfast-model om het model niet onnodig complex te maken. In de gang is voor elke woning wel het lekkageoppervlak opgenomen zoals die geldt tussen de gang en de woning.

Luchtdichtheid en ventilatie

Voor de mate van 'lektheid' van bouwdelen (luchtdichtheid) is in de basis uitgegaan van de vereisten die het Bbl stelt aan nieuwbouwwoningen. De volgende onderbouwing geldt bij de gekozen luchtdichtheid van de verschillende bouwdelen.

Buitengevel

Er is uitgegaan van een $Q_{v,10}$ -waarde van $0,5 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$ gebruiksoppervlak. Dit komt overeen met de luchtdichtheidsklasse 2 (goed) uit de NEN 2687. Deze klasse is noodzakelijk voor

een energiezuinig gebouw. Met een oppervlak van de woning van 72 m² geeft dit 0,5 * 72 = 36 dm³/s.

De Q_{v,10}-waarde geeft de volumestroom bij 10 Pa drukverschil over de constructie. Voor andere drukverschillen geldt:

$$Q_{v,p} = C \times (\Delta P)^n$$

n = stromingsexponent tussen 0,5 (grote openingen) en 1 (spleten < 0,5 mm)

Voor uitwendige scheidingsconstructies die goed luchtdicht zijn kan een stromingsexponent van n=0,8 aangehouden worden

C: luchtstroomcapaciteit bij 1 Pa drukverschil

Bij de woning van 72 m² is dit:

$$C = 36 / (10)^{0,8} = 5,71 \text{ dm}^3/\text{s} \text{ (gelijk aan } Q_{v,1} \text{: dus bij 1 Pa en 20 °C)}$$

De equivalente lekoppervlakte kan worden bepaald uit:

$$A_{\text{netto}} = \frac{C}{8,33} \cdot (\Delta P)^{(n-0,5)}$$

Er is voor de brandruimte uitgegaan van een drukverschil van 20 Pa. Dit geeft een lekkageoppervlak van de buitengevel van 1,68 dm² of 0,0168 m².

Voor de overige ruimtes is uitgegaan van een drukverschil van 10 Pa. Dit geeft een lekkageoppervlak van de buitengevel van 1,37 dm² of 0,0137 m².

Inwendige scheidingen

De luchtdoorlatendheid van inwendige scheidingsconstructies is niet goed bekend, omdat hieraan geen eisen gesteld worden in het Bouwbesluit / Bbl en er weinig meetgegevens van bekend zijn. In elk geval zal de inwendige scheidingsconstructie om die reden niet beter luchtdicht zijn dan de uitwendige scheidingsconstructie. Metingen die verricht zijn (Alba gebouw Hilversum, experiment Oudewater) geven aan dat de inwendige luchtlekages een factor 3 groter zijn dan de uitwendige luchtlekages wanneer maatregelen getroffen zijn om inwendige luchtlekages te voorkomen.

Er is gekozen voor interne lekkageoppervlakken (exclusief de deur) die samen opgeteld drie keer zo groot zijn dan het externe lekkageoppervlak. Op basis hiervan worden de volgende lekkageoppervlakken gekozen voor de volgende bouwdelen:

- > Vloer / plafond: de lekkage wordt hier vooral veroorzaakt door de naad tussen vloer en gevel. Deze is grofweg de helft van de lengte van de buitengevel. Daarom geldt een lekkageoppervlak van helft van de lekkage van de buitengevel: 0,0084 m² (brandruimte) of 0,0068 m² (overige ruimten).
- > Inwendige scheiding woning / gang: dezelfde luchtdichtheid als de buitengevel: 0,0168 m² (brandruimte) of 0,0137 m² (overige ruimten).
- > Woningscheidende wand: de lekkage wordt hier vooral veroorzaakt door de naad tussen wand en gevel, deze is ongeveer even lang is als die van de vloerrand. Daarom geldt een lekkageoppervlak van de helft van de lekkage van de buitengevel: 0,0084 m² (brandruimte) of 0,0068 m² (overige ruimten).
- > Deur woning / gang: Voor deuren die moeten voldoen aan het S200-criterium geldt een eis van maximaal 20 m³/h voor een enkele deur bij 20 °C en 220 °C en drukverschillen 10, 25 en 50 Pa. Dat komt overeen met Q_{v,10} = 5,56 dm³/s (maximaal, alleen de deur en een stromingsexponent van n=0,7). Omdat het maximale lekdebiet gelijk is voor 10, 25 en 50 Pa geldt dat des te hoger het drukverschil, des te kleiner het lekkageoppervlak

mag zijn. Er is uitgegaan van een drukverschil van 20 Pa voor de brandruimte en 10 Pa voor de overige ruimten. Dit geeft een lekkageoppervlak van 0,0015 m² (brandruimte) en 0,0021 m² (overige ruimten). Elke woning heeft één deur naar de gang. Aan beide zijden van de gang is één deur aanwezig.

Het uitgangspunt is dat er geen doorvoeringen door deze wanden lopen die extra bijdragen aan de luchtdichtheid of dat, indien er wel doorvoeringen zijn, deze luchtdicht zijn uitgevoerd en in stand blijven bij verhitting. Voor de vloer en het plafond van de gang is geen lekkageoppervlak opgenomen. Het uitgangspunt hierbij is een doorlopend(e) vloer / plafond zonder naden ter plaatse van de gang.

Mechanische ventilatie

Er wordt uitgegaan van een individuele gebalanceerde mechanische ventilatie met warmtewisselaar.

Voor de debieten is uitgegaan van:

- > woning: 0,7 dm³/s*m²
- > gang: 0,5 dm³/s*m².

Er is gewerkt met constant volume ventilatoren in de simulatie. Tot 400 Pa leveren ze het hierboven beschreven debiet. Vanaf 500 Pa is het debiet 0 dm³/s. Elke ruimte heeft haar eigen toe- en afvoer.

Voor de brandruimte is uitgegaan van buiten werking raken van de ventilatie vanwege de hoge temperaturen van de lucht die afgevoerd wordt. De mechanische ventilatie geeft dan enige extra lucht lekkage zolang die intact is. Die extra lekkage is zeer beperkt en bedraagt meestal minder dan 10 % (Tenbült, 2017). Voor de brandruimte is de lekkage van de ventilatie-installatie opgenomen in de lekkage van de uitwendige scheidingsconstructie door de equivalente oppervlakte met 10 % te vergroten.

Doorvoeringen

Er is geen extra lekkage aan doorvoeringen via schachten of anderszins opgenomen in het model. Er is aangenomen dat een eventuele lekkage is verrekend in de inwendige lekken die zijn opgenomen. Omdat het model bestaat uit 2 of drie bouwlagen kan deze aanname op deze manier verwerkt worden. Bij een gebouw met meerdere bouwlagen kan eventuele rook via een schacht zich verspreiden naar meerdere woningen tegelijkertijd en moet daar op een andere manier aan gerekend worden.

Implementatie luchtdichtheid en ventilatie in Cfast

De lekkages in wanden zijn opgenomen door een 'wall vent' met een hoogte van 2,5 meter en een breedte die passend is bij het lekkageoppervlak. Er is gekozen voor een hoogte die iets lager is dan de hoogte van de ruimtes, omdat een lekkagenaad over de volledige hoogte van de ruimte problemen kan geven in de simulatie.

De lekkages van deuren zijn als openingsfractie van de deur opgegeven, waarbij de openingsfractie zorgt voor het lekkageoppervlak dat bepaald is. De lekkages in vloeren / plafonds zijn niet opgenomen als 'ceiling/floor vent'. De reden hiervoor is dat dergelijke vents in Cfast onrealistisch hoge debieten geven. Daarom is voor een lekkage in vloeren / plafonds een schacht gemaakt waarin wall vents in zitten. De wall vents hebben het lekkageoppervlak dat voor de lekkage in de vloer en het plafond bepaald is.

Voor wat betreft de mechanische ventilatie is gekozen voor een horizontaal ventiel (in het plafond). Per ruimte is er een afvoer- en toevoerventiel dat in verbinding staat met de buitenlucht.

Brandkenmerken

Er is gekozen voor een brand in een object (bank) als maatgevend brandscenario voor de rookverspreiding in het gebouw. Deze bank in brand geeft een felle brand die zich snel ontwikkelt. Het brandvermogen van de bank is verder voldoende hoog om de brand bij een gesloten buitengevel zuurstof gecontroleerd te laten worden. Hierdoor is het niet nodig om te kijken naar eventuele brandoverslag van de bank naar andere objecten in de ruimte.

Bij het bepalen van de kenmerken van de brand in een object hebben de volgende zaken een rol gespeeld:

- > Als object is gekozen voor een bank.
- > Er is een validatiestudie gedaan op basis van de experimenten in Oudewater (Brandweeracademie, 2020b).
- > De brandvermogenscurve is bepaald aan de hand van het gemeten massaverlies in een experiment met de deur open. Er is gekozen voor een verbrandingswarmte van 23 MJ/kg. Vervolgens is gecontroleerd of de belangrijkste uitkomsten van de simulatie (temperatuur, O₂ concentratie en CO₂ concentratie) voldoende overeen kwamen met de testresultaten. Voldoende overeenkomen wil zeggen dat de uitkomsten vallen binnen de meet- en testonzekerheden van de experimenten.
- > In de simulatie is een lower oxygen limit gebruikt van 10 vol. %. De brandvermogenscurve wordt op basis van deze lower oxygen limit aangepast door C_{fast}.
- > Het moment waarop het brandvermogen in C_{fast} lager is dan het opgelegde brandvermogen, is het moment vanaf wanneer de yields voor de zuurstof gecontroleerde situatie gelden. Tot dat moment gelden de yields voor de brandstof gecontroleerde situatie.
- > De CO- en soot-yield zijn zo gekozen dat de resultaten uit de simulatie overeenkomen met de experimenten. Dit wil zeggen dat ze vallen binnen de meet- en testonzekerheden van de experimenten. Voor de soot-yield geldt dat deze in de simulatie een zichtlengte gaf die een factor twee tot drie lager was in vergelijking met de experimenten. De gekozen soot-yield in brandstofbeheerste omstandigheden is nu gekozen op 0,01 g/g. Deze waarde is reeds laag op basis van de beschikbare literatuur (Hurley et al., 2016, Chapter appendix 3; Staffansson, 2010). Een nog lagere soot-yield kiezen zou een onrealistische waarde hebben gegeven. De gekozen soot-yield van 0,01 g/g is in dit geval een conservatieve keuze voor het bepalen van de zichtlengte.
- > Er is geen HCN-yield meegenomen in de simulaties vanwege onzekerheid over de hoeveelheid HCN dat gevormd wordt. Er is verder onzekerheid over het verval van HCN tot andere molecuulstructuren. HCN dat gevormd is bij een reactie zou later alsnog kunnen vervallen tot andere molecuulstructuren. Dit samen maakt het lastig om goed te kunnen voorspellen welke hoeveelheid HCN op welke plek aanwezig zal zijn.
- > Voor de brandruimte is gekozen voor een twee-zone-model. De verwachting is dat er in deze ruimte een duidelijk onderscheid tussen een hete rooklaag en een relatief schone onderlaag zal zijn, zeker in de beginfase van de brand.

- > Voor de overige ruimten is gekozen voor een één-zone-model. Hier is voor gekozen vanwege het beperkte temperatuurverschil tussen de temperatuur van de rook die de ruimte in komt via naden en kieren en de ruimtetemperatuur.

Menskenmerken

Ontvluchten van de brandruimte

Het moment van vluchten uit de woning waar de brand is, is gemiddeld 2 minuten na het ontstaan van de brand en varieert tussen 1 en 5 minuten. Met deze variatie wordt een redelijke mate van spreiding in de ontvluchting van de brandruimte in acht genomen. 1 minuut staat dan voor een persoon die wakker is, de brand ziet en vrijwel direct start met vluchten. 5 minuten staat voor een persoon die wat meer tijd nodig heeft, bijvoorbeeld omdat hij of zij slaapt, eerst wakker moet worden van de rookmelder en vervolgens wat meer tijd nodig heeft om het besluit te nemen om te gaan vluchten. Later dan vijf minuten vluchten wordt niet reëel geacht, omdat de omstandigheden in de brandruimte dan dermate slecht zijn dat vluchten niet meer mogelijk is.

Ontvluchten overige woningen bij het ontvluchtingsconcept

Het ontvluchten uit de overige woningen kent een grotere spreiding in vergelijking met de brandruimte. Personen in overige woningen worden niet door een rookmelder gewaarschuwd dat er een brand in het gebouw is. Ze moeten signalen van brand opmerken, bijvoorbeeld rook ruiken of zien of gestommel horen op de gang. Er is daarom gekozen voor vijf minuten als eerste moment waarop personen uit overige woningen gaan vluchten. Dit zal voorkomen wanneer iemand de persoon uit de brandruimte hoort vluchten en kort daarna zelf ook besluit om te gaan vluchten. Het laatste moment waarop personen gaan vluchten is bepaald op dertig minuten. Dit kan voorkomen wanneer iemand gedurende langere tijd geen signalen van brand opmerkt, bijvoorbeeld wanneer de woning lange tijd rookvrij blijft of wanneer de persoon slaapt en niet wordt gewekt door gestommel op de gang in combinatie met zijn eigen rookmelder die niet afgaat vanwege te weinig rook in de woning. Voor het ontvluchten uit de overige woningen is uitgegaan van een gemiddelde van tien minuten. Er is verder bepaald dat in tachtig procent van de gevallen iemand binnen vijftien minuten zijn woning ontvlucht. Het merendeel van de personen vlucht daardoor binnen vijftien minuten. De benodigde veilige vluchttijd is gelijk gehouden voor alle doelgroepen en gebouwtypen.

Voor de brandcondities 'verstikkende gassen' en 'warmte' geldt een dosisbenadering voor de vluchtmogelijkheden (de hoeveelheid warmte of verstikkende gassen die gedurende een bepaalde tijd wordt opgelopen bepaalt de vluchtmogelijkheden). In deze dosisbenadering is uitgegaan van een vluchttijd van twee minuten in de vluchtroute. In deze twee minuten kunnen personen over de gang lopen. Ook wanneer iemand iets langzamer loopt, zijn deze twee minuten normaliter voldoende.

Benodigde verblijftijd bij stay-in-place

Voor de benodigde verblijftijd (RST) van de woningen waar geen brand is, is in dit onderzoek voor het stay-in-place-concept uitgegaan van negentig minuten. Personen moeten gedurende negentig minuten veilig in hun woning kunnen verblijven. De inzet van de brandweer voor de bestrijding van de brand is in de modellering niet meegenomen. Dit laat onverlet dat na negentig minuten eventuele toxische gassen die in een ruimte hangen niet zo maar verdwijnen uit deze ruimte, zelfs niet wanneer de brand zelf al uit is. Dit betekent dat een

inzet van de brandweer wel nodig is om de condities in het gebouw voldoende snel weer leefbaar te laten worden, maar dit is in het rekenmodel niet meegenomen.

Welke verblijftijd nodig is, hangt van meerdere factoren af. Ook nadat de brand uit is, kan er rook blijven hangen in een woning. Er moet dus iets gedaan worden om de 'normale' omstandigheden terug te brengen. In de huidige praktijk wordt dit gedaan door de brandweer, maar omdat de brandweer enkel een inspanningsverplichting en geen resultaatverplichting heeft (Brandweeracademie, 2014), is het niet wenselijk om dit op te nemen in het preventieve concept van een gebouw. Voor de inzet van de brandweer geldt verder dat de snelheid van de inzet van meerdere factoren afhankelijk is. Hoe groter het gebouw is, des te meer woningen verkend en eventueel geventileerd moeten worden. Hoe hoger de woning is gelegen waar de brand is, des te langer het inzet gereed maken duurt. En hoe meer rook er in de vluchtroute hangt, des te lastiger het voor de brandweer is om de brand te lokaliseren. Het vorderen door een vluchtroute die vol met rook hangt, neemt ook meer tijd in beslag. De inzet van de brandweer (blussen, ventileren en zelfs lopen op de gang) zorgt verder voor aanvullende rookverspreiding (Brandweeracademie, 2020b). De bovenstaande redenen geven aan dat het terugbrengen van de omstandigheden in het gebouw naar de 'normale' situatie niet zonder meer binnen zestig minuten gebeurd is. Of en in welke gevallen het mogelijk is om personen tijdelijk op het balkon te laten staan of zelf hun woning te laten ventileren door het raam open te zetten, moet nog nader beoordeeld worden. Om de voorgaande redenen wordt in de analyse uitgegaan van een RST van negentig minuten.

Gevoeligheidsanalyse

In deze paragraaf worden de keuzes voor de stochastische variabelen en de bijbehorende variaties onderbouwd.

Algemeen

Van de stochastische variabelen zijn de kansverdelingen meestal niet bekend. Dat is ook niet van belang, omdat bij een gevoeligheidsanalyse met een groot aantal stochastische variabelen de kansverdeling van het resultaat een normale verdeling benadert (centrale limietstelling). Van de stochastische variabelen is dus alleen een gemiddelde waarde en een standaardafwijking bepaald of ingeschat.

Omdat kansverdelingen asymmetrisch kunnen zijn, is per stochastische variabele de standaardafwijking boven de gemiddelde waarde en onder de gemiddelde waarde bepaald. Dat betekent dat die asymmetrie ook terug kan komen in het resultaat van de gevoeligheidsanalyse, de kansverdeling van de beschikbare verblijfsduur. Bij een groot verschil tussen de standaardafwijking onder de gemiddelde waarde en de standaardafwijking boven de gemiddelde waarde neigt de kansverdeling naar een lognormale verdeling.

Factor tijdsduur vermogen lokale brand

Voor de lokale brand is uitgegaan van een brand in de kussens van een zitbank. Een bank is in de inrichting van een woning een maatgevend object. Desondanks zijn er grote verschillen mogelijk, afhankelijk van fabricaat en type bank. Daarom is een variatiecoëfficiënt van 0,5 toegepast, enigszins vergelijkbaar met de bandbreedte die volgens Eurocode 1 op de lokale brandontwikkeling (tijdconstante) van toepassing is. Deze variatie in de lokale vuurlast kan

tot uitdrukking komen in het brandvermogen, maar ook in de brandduur. Beide stochastische variabelen zijn onafhankelijk van elkaar gevarieerd. De bandbreedte voor een betrouwbaarheid van 68% rond de referentiefactor van 1 bedraagt [0,5; 1,5]. Dit betekent voor zowel de factor tijdsduur als de factor vermogen van de lokale brand:

- > SD = 0,5 (boven de gemiddelde waarde)
- > SD = -0,5 (onder de gemiddelde waarde).

Factor externe luchtdichtheid

Voor de externe lektheid is uitgegaan van $Q_{v,10} = 0,50 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 gebruiksoppervlakte (referentiefactor 1). Dat correspondeert met de klasse 'goed luchtdicht', doorgaans noodzakelijk voor de energieprestatie van het woongebouw. De onzekerheid hierin is sterk afhankelijk van detaillering en uitvoering. De kans dat de externe lektheid meer bedraagt dan is aangenomen is zeker aanwezig. Daarvoor is een standaard afwijking van $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}$ aangehouden. Deze blijft nog onder de bovengrens van $1,0 \text{ dm}^3/\text{s}$ voor de klasse 'basis' van de externe lektheid. Deze klasse komt bij nieuw te bouwen woongebouwen niet meer voor. Er is ook een kans aanwezig dat de externe lektheid minder bedraagt dan de referentie lektheid. Hiervoor is een standaard afwijking aangehouden van $-0,35 \text{ dm}^3/\text{s}$. Daarmee wordt net de klasse 'zeer goed luchtdicht' (passiefhuis) bereikt.

De relatieve variatie ten opzichte van de referentiefactor 1,0 bedraagt dus zowel in positieve als negatieve richting 0,7. De bandbreedte is daarmee [0,3; 1,7]. Dit betekent voor de factor externe lektheid:

- > SD = 0,7 (relatief, boven de gemiddelde waarde) en
- > SD = -0,7 (relatief, onder de gemiddelde waarde).

Factor interne luchtdichtheid

Voor de interne luchtdichtheid is een drie maal zo grote luchtdichtheid aangehouden dan voor de externe luchtdichtheid. In de praktijk blijkt de interne luchtdichtheid vaak nog groter te zijn, maar in de simulaties is uitgegaan van een nieuwbouwsituatie met woningtoegangsdeuren die voldoen aan het S200-criterium en bijzondere aandacht voor kier- en naaddichting en doorvoeringen. De onzekerheid hierin is sterk afhankelijk van de detaillering en uitvoering. De kans dat de interne luchtdichtheid meer bedraagt dan is aangenomen, is groter dan de kans dat de interne luchtdichtheid minder bedraagt. Er is daarom met een grote onzekerheid rekening gehouden met een variatie van 0,5 onder de referentiefactor en 1,5 boven de referentiefactor. De bandbreedte bedraagt dus [0,5; 2,5]. Dit betekent voor de factor interne luchtdichtheid:

- > SD = 1,5 (boven de gemiddelde waarde)
- > SD = -0,5 (onder de gemiddelde waarde).

Tijdstip deur brandruimte open

Het tijdstip dat de deur van de brandruimte wordt geopend hangt af van de snelheid van brandontwikkeling en de waakzaamheid, mobiliteit en het gedrag van de bewoners in de brandruimte. Als referentiewaarde is hiervoor 2 minuten aangehouden. Verwacht wordt dat het 68%-betrouwbaarheidsinterval ligt in de bandbreedte van [1,0; 5,0] minuten. Dit komt overeen met:

- > SD = 3 min (boven de gemiddelde waarde)
- > SD = -1 min (onder de gemiddelde waarde).

Tijdsduur deur brandruimte open

De tijdsduur dat de deur van de brandruimte openstaat, hangt eveneens in sterke mate af van de bewoners. Met name het aantal bewoners en hun mobiliteit en gedrag spelen hierin een rol. Als referentiewaarde is 20 s aangehouden (1 persoon). Hier wordt het 68%-betrouwbaarheidsinterval verwacht in de bandbreedte van [10; 60] seconden. Dit komt overeen met:

- > SD = 40 s (boven de gemiddelde waarde)
- > SD = -10 s (onder de gemiddelde waarde).

Verbrandingswaarde

Voor de brandstof is niet uitgegaan van een gemiddelde cellulosebrandstof (17,5 MJ/kg), maar van de specifieke verbrandingswaarde van de zitbank (23 MJ/kg), met name bepaald door de kussens. Een lokale brand kent daardoor meer onzekerheid in de verbrandingswaarde dan een volledig ontwikkelde brand met een mix aan brandstoffen. De onzekerheid in de richting van een hogere verbrandingswaarde is dus minder groot dan die in de richting van een lagere verbrandingswaarde. Er wordt een 68% betrouwbaarheid verwacht in de bandbreedte tussen 30% onderschrijding en 15% overschrijding van de verbrandingswaarde: [16,1; 26,5] MJ/kg. Dit komt overeen met:

- > SD = 3,5 MJ/kg (boven de gemiddelde waarde)
- > SD = -6,9 MJ/kg (onder de gemiddelde waarde).

Brandhoogte

Er is uitgegaan van een brand op 0,5 m boven vloerniveau. Dit komt overeen met de hoogte van de zitting van de bank. De meeste vuurlast bevindt zich tussen [0,25; 0,75] meter boven vloerniveau. Bij deze bandbreedte bedragen de standaardafwijkingen:

- > SD = 0,25 m (boven de gemiddelde waarde)
- > SD = -0,25 m (onder de gemiddelde waarde).

Lower Oxygen Limit (LOL)

De lower oxygen limit (LOL) is de minimaal benodigde zuurstofconcentratie voor verbranding van de brandstof, ongeacht de hoeveelheid daarvan. De LOL is afhankelijk van de gastemperatuur in de brandruimte; bij 20 °C bedraagt de LOL circa 0,15 en bij 1000 °C is de LOL vrijwel 0. Omdat het om een lokale brand gaat, is een referentiewaarde van LOL = 0,08 aangehouden met een bandbreedte van [0,05; 0,15]. De standaardafwijkingen bedragen dan:

- > SD = 0,07 (boven de gemiddelde waarde)
- > SD = -0,03 (onder de gemiddelde waarde).

Stralingsfractie van de brand

De lokale brand produceert warmte die deels convectief in de rookpluim, en deels door straling (vanaf de vlam) naar de ruimtebegrenzingsen en de omgeving wordt afgevoerd. Als referentiewaarde geldt voor vaste brandstoffen een stralingsaandeel van circa 0,3. De spreiding rond deze waarde is niet erg groot; daarom is een bandbreedte aangehouden van [0,24; 0,36]. De bijbehorende standaardafwijkingen zijn:

- > SD = 0,06 (boven de gemiddelde waarde)
- > SD = -0,06 (onder de gemiddelde waarde).

Factor soot-yield

De soot-yield bepaalt de productie van roet, vaste deeltjes in de rook. Deze is brandstofafhankelijk en neemt vooral bij een zuurstofbeheerste brand sterk toe. Van een zuurstof-

beheerste brand is geen sprake, maar omdat de soot-yield een brandstof specifiek kenmerk is, moet toch met een spreiding rekening gehouden worden. Ten opzichte van de referentiefactor 1 is rekening gehouden met een bandbreedte van [0,7; 2,0]. De standaardafwijkingen zijn:

- > SD = 1,0 (boven de gemiddelde waarde)
- > SD = -0,3 (onder de gemiddelde waarde).

Factor CO-yield

De CO-yield bepaalt de productie van koolmonoxide in de rook. Deze is brandstofafhankelijk en neemt vooral bij een zuurstofbeheerste brand sterk toe. Van een zuurstofbeheerste brand is geen sprake, maar omdat de CO-yield een brandstof specifiek kenmerk is, moet toch met een spreiding rekening gehouden worden. Ten opzichte van de referentiefactor 1 is rekening gehouden met een bandbreedte van [0,7; 2,0]. De standaardafwijkingen zijn:

- > SD = 1,0 (boven de gemiddelde waarde)
- > SD = -0,3 (onder de gemiddelde waarde).

Bijlage B onderbouwing keuzes bij analyse thermische belasting

Hieronder worden de keuzes onderbouwd die zijn gemaakt bij de analyse van de thermische belasting van de constructie en de brandwerende scheidingen.

Brandkenmerken

Van de brandkenmerken is voor deze analyse gekozen voor een 't-square fire', een brand die kwadratisch toeneemt in oppervlak en brandvermogen. Omdat het doel van de analyse is om te kijken naar de thermische belasting en niet naar de rookverspreiding, is het niet nodig om yields voor de verbrandingsproducten aan te geven. De relevante brandkenmerken zijn dan:

- > tijdconstante: 300 s
- > referentievermogensdichtheid 250 kW/m²
- > vuurbelasting 780 MJ/m².

Deze waarden zijn gekozen in overeenstemming met de Eurocode en de NEN 6055 (NEN, 2011, 2019).

Gevoeligheidsanalyse

Algemeen

Van de stochastische variabelen zijn de kansverdelingen meestal niet bekend. Dat is ook niet van belang, omdat bij een gevoeligheidsanalyse met een groot aantal stochastische variabelen de kansverdeling van het resultaat een normale verdeling benadert (centrale limietstelling). Van de stochastische variabelen zijn dus alleen een gemiddelde waarde en een standaardafwijking bepaald of ingeschat.

Omdat kansverdelingen asymmetrisch kunnen zijn, is per stochastische variabele de standaardafwijking boven de gemiddelde waarde en onder de gemiddelde waarde bepaald. Dat betekent dat die asymmetrie ook terug kan komen in het resultaat van de gevoeligheidsanalyse, de kansverdeling van de thermische belasting. Bij een groot verschil tussen de standaardafwijking onder de gemiddelde waarde en de standaardafwijking boven de gemiddelde waarde neigt de kansverdeling naar een lognormale verdeling.

Er is enkel een spreiding toegekend aan de brandkenmerken. Naast de brandkenmerken spelen ook de afmeting van de openingen in de buitengevel een rol in de thermische belasting van een brand op de constructie en de brandwerende scheidingen. De afmetingen van de openingen van de buitengevel bepalen immers de hoeveelheid zuurstof die naar de brand toe kan stromen. Er is gekozen om iteratief de afmeting van de opening te variëren en

de afmeting te kiezen die de grootste thermische belasting oplevert. Omdat dit een worst-case-benadering is, is er voor de afmeting van de opening geen variatie uitgevoerd.

Vuurbelasting

De variabele vuurbelasting is uniform verdeeld verondersteld met een gemiddelde waarde van:

$$\text{AVG} = 780 \text{ MJ/m}^2.$$

Deze gemiddelde waarde is afkomstig uit Eurocode 1 (NEN-EN 1991-1-2/NB) en gebaseerd op Europees statistisch onderzoek. Volgens Eurocode 1 bedraagt de karakteristieke waarde van de variabele vuurbelasting 870 MJ/m^2 . De karakteristieke waarde is de 80%-percentiel-waarde. Deze waarde is kleiner dan de som van de gemiddelde waarde en de standaardafwijking ($\text{AVG} + \text{SD}$), aangezien daarvan de overschrijdingskans slechts 16% bedraagt. Het verschil tussen de karakteristieke waarde en de gemiddelde waarde bedraagt bij een normale kansverdeling circa 0,83 maal de standaardafwijking. Wanneer de gemiddelde en de karakteristieke waarde bekend zijn, geldt voor de standaardafwijking boven de gemiddelde waarde:

$$\text{SD} = (\text{KAR} - \text{AVG}) / 0,83 = 110 \text{ MJ/m}^2.$$

De standaardafwijking onder de gemiddelde waarde is in absolute zin vermoedelijk groter, maar niet zo relevant. Voor de standaardafwijking onder de gemiddelde waarde is daarom aangehouden:

$$\text{SD} = -110 \text{ MJ/m}^2.$$

Brandvermogensdichtheid

De brandvermogensdichtheid voor een woonfunctie bedraagt conform Eurocode 1:

$$\text{AVG} = 250 \text{ kW/m}^2.$$

Deze brandvermogensdichtheid komt overeen met een afbrandsnelheid van 1 kg vurenhout per m^2 per minuut, rekening houdend met een verbrandingsefficiëntie van 80%. Dat wordt gezien als de normale afbrandsnelheid van celluloseachtige brandstof.

Daarnaast kent Eurocode 1 behalve de klasse 'normaal' ook de klasse 'hoog' (500 kW/m^2), 'zeer hoog' (veelvoud van 500 kW/m^2) en 'laag' (smeulbrand 100 kW/m^2). Het gaat dus om klassen met een relatief grote bandbreedte. Voor een bandbreedte met een betrouwbaarheid van 68% rond de brandvermogensdichtheid van 250 kW/m^2 is het interval [175; 350] gehanteerd. Dit betekent:

> $\text{SD} = 100 \text{ kW/m}^2$ (boven de gemiddelde waarde)

> $\text{SD} = -75 \text{ kW/m}^2$ (onder de gemiddelde waarde).

Stoichiometrische constante

De stoichiometrische constante is de massa zuurstof die per massa brandstof nodig is voor volledige verbranding. Voor cellulosebrandstof, zoals algemeen in gebouwen aanwezig is, geeft NEN 6055 als stoichiometrische constante:

$$\text{AVG} = 1,27 \text{ kg/kg}.$$

De stoichiometrische constante is een specifiek brandstof kenmerk en houdt onder andere verband met het type brandstof en de verbrandingswaarde. Een hogere stoichiometrische constante betekent dat er meer massa zuurstof nodig is voor de gegeven massa brandstof.

Voor een bandbreedte met een betrouwbaarheid van 68% rond de stoichiometrische constante van 1,27 kg/kg is het interval [0,95; 1,90] gehanteerd.

Dit betekent:

- > SD = 0,64 kg/kg (boven de gemiddelde waarde)
- > SD = -0,32 kg/kg (onder de gemiddelde waarde).

Verbrandingsefficiëntie

De verbrandingsefficiëntie is het aandeel van de gepyrolyseerde brandstof dat daadwerkelijk wordt verbrand. Voor de verbrandingsefficiëntie hanteert NEN 6055:
AVG = 0,8.

De theoretisch maximale verbrandingsefficiëntie bedraagt 1. Bij een lage verbrandingsefficiëntie gaat een vlammebrand over in een smeulbrand. Daarbij hoort een lage brandvermogensdichtheid. Omdat een normale brandvermogensdichtheid is gehanteerd, vallen lage verbrandingsefficiënties buiten de scope. Voor een bandbreedte met een betrouwbaarheid van 68% rond de verbrandingsefficiëntie van 0,8 is daarom het interval [0,6; 1,0] gehanteerd. Dit betekent:

- > SD = 0,2 (boven de gemiddelde waarde)
- > SD = -0,2 (onder de gemiddelde waarde).

Tijdconstante voor brandontwikkeling

De tijdconstante is de tijdsduur waarin een brand een vermogen van 1 MW ontwikkelt. Voor de tijdconstante hanteert Eurocode 1:
AVG = 300 s (klasse medium).

Normaal gesproken wordt de bandbreedte bepaald door de aangrenzende klassen (150 s: snel en 600 s: langzaam). Echter, een tijdconstante van 150 s (klasse snel) blijkt steeds vaker te passen bij de woonfunctie. Vandaar dat de bandbreedte zodanig gekozen is dat de tijdconstante van 150 s daar nog juist binnenvalt. Het 68%-betrouwbaarheidsinterval wordt daardoor [150; 375]. Dit betekent:

- > SD = 75 s (boven de gemiddelde waarde)
- > SD = -150 s (onder de gemiddelde waarde).

Bijlage C resultaten AST – RST-analyse

In deze bijlage worden de resultaten van de AST-RST-analyse weergegeven.

Persoonlijke veiligheid ontvluchtingsconcept

Corridor algemene doelgroep

VLUCHT CORRIDOR ALGEMENE DOELGROEP

		deterministic		probabilistic: sensitivity analysis				standard deviation			
		average x	t [min]	variation v	st. deviation s	value x + dx	AST t [min]	dt/dx	s·dt/dx	(s·dt/dx) ²	
t	vermenigvuldigingsfactor tijdsduur -	1		0.30	0.30	1.30	25.7	-7.33	-2.20	0.00	4.84
				-0.30	-0.30	0.70	28.2	-1.00	0.30	0.09	0.00
RHR	vermenigvuldigingsfactor RHR -	1		0.30	0.30	1.30	26.4	-5.00	-1.50	0.00	2.25
				-0.30	-0.30	0.70	30.9	-10.00	3.00	9.00	0.00
Ae	vermenigvuldigingsfactor ext. Lekheic-	1		0.70	0.70	1.70	25.2	-3.86	-2.70	0.00	7.29
				-0.70	-0.70	0.30	31.0	-4.43	3.10	9.61	0.00
Ai	vermenigvuldigingsfactor int. Lekheid -	1		1.50	1.50	2.50	10.2	-11.80	-17.70	0.00	313.29
				-0.50	-0.50	0.50	59.2	-62.60	31.30	979.69	0.00
Do	tijdstip deur open s	120		1.50	180.00	300.00	12.8	-0.08	-15.10	0.00	228.01
				-0.50	-60.00	60.00	28.0	0.00	0.10	0.01	0.00
Dt	tijdsduur deur open s	20		2.00	40.00	60.00	27.1	-0.02	-0.80	0.00	0.64
				-0.50	-10.00	10.00	28.0	-0.01	0.10	0.01	0.00
Hc	verbrandingswaarde MJ/kg	23		0.15	3.45	26.45	28.0	0.03	0.10	0.01	0.00
				-0.30	-6.90	16.10	31.6	-0.54	3.70	13.69	0.00
hf	brandhoogte m	0.5		0.50	0.25	0.75	29.8	7.60	1.90	3.61	0.00
				-0.50	-0.25	0.25	25.3	10.40	-2.60	0.00	6.76
LOL	lower oxygen limit %	8		0.88	7.00	15.00	46.3	2.63	18.40	338.56	0.00
				-0.38	-3.00	5.00	23.9	1.33	-4.00	0.00	16.00
Rad. Frac	stralingsaandeel brand -	0.3		0.20	0.06	0.36	27.8	-1.67	-0.10	0.00	0.01
				-0.20	-0.06	0.24	27.8	1.67	-0.10	0.00	0.01
Ysoot	vermenigvuldigingsfactor soot yield -	1		1.00	1.00	2.00	6.3	-21.60	-21.60	0.00	466.56
				-0.30	-0.30	0.70	43.2	-51.00	15.30	234.09	0.00
Yco	vermenigvuldigingsfactor CO yield -	1		1.00	1.00	2.00	26.9	-1.00	-1.00	0.00	1.00
				-0.30	-0.30	0.70	28.3	-1.33	0.40	0.16	0.00
Acceptable conditions		AST	27.9					variancy(t) =		1588.530	1046.660
								s(t) =		39.856	-32.352

Corridor kwetsbare doelgroep

VLUCHT CORRIDOR KWETSBARE DOELGROEP

SENSITIVITY ANALYSIS AST stochastische randcondities

			deterministic	
			average x	t [min]
t	vermenigvuldigingsfactor tijdsduur	-	1	
RHR	vermenigvuldigingsfactor RHR	-	1	
Ae	vermenigvuldigingsfactor ext. Lekheid	-	1	
Ai	vermenigvuldigingsfactor int. Lekheid	-	1	
Do	tijdstip deur open	s	120	
Dt	tijdsduur deur open	s	20	
Hc	verbrandingswaarde	MJ/kg	23	
hf	brandhoogte	m	0.5	
LOL	lower oxygen limit	%	8	
Rad. Frac	stralingsaandeel brand	-	0.3	
Ysoot	vermenigvuldigingsfactor soot yield	-	1	
Yco	vermenigvuldigingsfactor CO yield	-	1	
Acceptable conditions			AST	6.0

probabilistic: sensitivity analysis			
variation v	st. deviation s	value x + dx	AST t [min]
0.30	0.30	1.30	7.4
-0.30	-0.30	0.70	4.4
0.30	0.30	1.30	5.6
-0.30	-0.30	0.70	6.4
0.70	0.70	1.70	6.1
-0.70	-0.70	0.30	5.8
1.50	1.50	2.50	5.8
-0.50	-0.50	0.50	6.2
1.50	180.00	300.00	5.1
-0.50	-60.00	60.00	6.0
2.00	40.00	60.00	5.9
-0.50	-10.00	10.00	6.0
0.15	3.45	26.45	6.1
-0.30	-6.90	16.10	5.7
0.50	0.25	0.75	6.0
-0.50	-0.25	0.25	6.0
0.88	7.00	15.00	9.7
-0.38	-3.00	5.00	6.0
0.20	0.06	0.36	6.0
-0.20	-0.06	0.24	6.0
1.00	1.00	2.00	5.4
-0.30	-0.30	0.70	6.3
1.00	1.00	2.00	6.0
-0.30	-0.30	0.70	6.0

standard deviation			
dt/dx	s-dt/dx	(s-dt/dx) ²	
4.67	1.40	1.96	0.00
5.33	-1.60	0.00	2.56
-1.33	-0.40	0.00	0.16
-1.33	0.40	0.16	0.00
0.14	0.10	0.01	0.00
0.29	-0.20	0.00	0.04
-0.13	-0.20	0.00	0.04
-0.40	0.20	0.04	0.00
-0.01	-0.90	0.00	0.81
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	-0.10	0.00	0.01
0.00	0.00	0.00	0.00
0.03	0.10	0.01	0.00
0.04	-0.30	0.00	0.09
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.53	3.70	13.69	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
-0.60	-0.60	0.00	0.36
-1.00	0.30	0.09	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
variancy(t) =		15.960	4.070
s(t) =		3.995	-2.017

Corridor zeer kwetsbare doelgroep

VLUCHT CORRIDOR ZEER KWETSBARE DOELGROEP

SENSITIVITY ANALYSIS AST			deterministic	
stochastische randcondities			average	t [min]
	x			
t	vermenigvuldigingsfactor tijdsduur	-	1	
RHR	vermenigvuldigingsfactor RHR	-	1	
Ae	vermenigvuldigingsfactor ext. Lekheid	-	1	
Ai	vermenigvuldigingsfactor int. Lekheid	-	1	
Do	tijdstip deur open	s	120	
Dt	tijdsduur deur open	s	20	
Hc	verbrandingswaarde	MJ/kg	23	
hf	brandhoogte	m	0.5	
LOL	lower oxygen limit	%	8	
Rad. Frac	stralingsaandeel brand	-	0.3	
Ysoot	vermenigvuldigingsfactor soot yield	-	1	
Yco	vermenigvuldigingsfactor CO yield	-	1	
Acceptable conditions			AST	5.0

probabilistic: sensitivity analysis			
variation	st. deviation	value	AST
v	s	x + dx	t [min]
0.30	0.30	1.30	6.1
-0.30	-0.30	0.70	3.6
0.30	0.30	1.30	4.6
-0.30	-0.30	0.70	5.5
0.70	0.70	1.70	5.1
-0.70	-0.70	0.30	4.8
1.50	1.50	2.50	5.4
-0.50	-0.50	0.50	5.2
1.50	180.00	300.00	5.0
-0.50	-60.00	60.00	5.0
2.00	40.00	60.00	4.4
-0.50	-10.00	10.00	5.0
0.15	3.45	26.45	5.1
-0.30	-6.90	16.10	4.7
0.50	0.25	0.75	5.0
-0.50	-0.25	0.25	5.0
0.88	7.00	15.00	5.0
-0.38	-3.00	5.00	5.0
0.20	0.06	0.36	5.0
-0.20	-0.06	0.24	5.0
1.00	1.00	2.00	4.4
-0.30	-0.30	0.70	5.3
1.00	1.00	2.00	5.0
-0.30	-0.30	0.70	5.0

standard deviation			
dt/dx	s-dt/dx	(s-dt/dx) ²	
3.67	1.10	1.21	0.00
4.67	-1.40	0.00	1.96
-1.33	-0.40	0.00	0.16
-1.67	0.50	0.25	0.00
0.14	0.10	0.01	0.00
0.29	-0.20	0.00	0.04
0.27	0.40	0.16	0.00
-0.40	0.20	0.04	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
-0.02	-0.60	0.00	0.36
0.00	0.00	0.00	0.00
0.03	0.10	0.01	0.00
0.04	-0.30	0.00	0.09
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
-0.60	-0.60	0.00	0.36
-1.00	0.30	0.09	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
variancy(t) =		1.770	2.970
s(t) =		1.330	-1.723

Corridor met vide algemene doelgroep

VLUCHT CORRIDOR MET VIDE ALGEMENE DOELGROEP

SENSITIVITY ANALYSIS AST			deterministic	
stochastische randcondities			average	t [min]
	x			
t	vermenigvuldigingsfactor tijdsduur	-	1	
RHR	vermenigvuldigingsfactor RHR	-	1	
Ae	vermenigvuldigingsfactor ext. Lekheid	-	1	
Ai	vermenigvuldigingsfactor int. Lekheid	-	1	
Do	tijdstip deur open	s	120	
Dt	tijdsduur deur open	s	20	
Hc	verbrandingswaarde	MJ/kg	23	
hf	brandhoogte	m	0.5	
LOL	lower oxygen limit	%	8	
Rad. Frac	stralingsaandeel brand	-	0.3	
Ysoot	vermenigvuldigingsfactor soot yield	-	1	
Yco	vermenigvuldigingsfactor CO yield	-	1	
Acceptable conditions			AST	48.1

probabilistic: sensitivity analysis			
variation	st. deviation	value	AST
v	s	x + dx	t [min]
0.30	0.30	1.30	50.9
-0.30	-0.30	0.70	47.4
0.30	0.30	1.30	47.4
-0.30	-0.30	0.70	56.6
0.70	0.70	1.70	38.1
-0.70	-0.70	0.30	58.5
1.50	1.50	2.50	12.5
-0.50	-0.50	0.50	90.0
1.50	180.00	300.00	34.7
-0.50	-60.00	60.00	48.6
2.00	40.00	60.00	43.8
-0.50	-10.00	10.00	48.4
0.15	3.45	26.45	40.8
-0.30	-6.90	16.10	73.1
0.50	0.25	0.75	57.6
-0.50	-0.25	0.25	37.8
0.88	7.00	15.00	77.4
-0.38	-3.00	5.00	36.0
0.20	0.06	0.36	48.6
-0.20	-0.06	0.24	45.9
1.00	1.00	2.00	21.6
-0.30	-0.30	0.70	63.0
1.00	1.00	2.00	40.9
-0.30	-0.30	0.70	48.6

standard deviation			
dt/dx	s-dt/dx	(s-dt/dx) ²	
9.33	2.80	7.84	0.00
2.33	-0.70	0.00	0.49
-2.33	-0.70	0.00	0.49
-28.33	8.50	72.25	0.00
-14.29	-10.00	0.00	100.00
-14.86	10.40	108.16	0.00
-23.73	-35.60	0.00	1267.36
-83.80	41.90	1755.61	0.00
-0.07	-13.40	0.00	179.56
-0.01	0.50	0.25	0.00
-0.11	-4.30	0.00	18.49
-0.03	0.30	0.09	0.00
-2.12	-7.30	0.00	53.29
-3.62	25.00	625.00	0.00
38.00	9.50	90.25	0.00
41.20	-10.30	0.00	106.09
4.19	29.30	858.49	0.00
4.03	-12.10	0.00	146.41
8.33	0.50	0.25	0.00
36.67	-2.20	0.00	4.84
-26.50	-26.50	0.00	702.25
-49.67	14.90	222.01	0.00
-7.20	-7.20	0.00	51.84
-1.67	0.50	0.25	0.00
variancy(t) =		3740.450	2631.110
s(t) =		61.159	-51.294

Corridor met vide kwetsbare doelgroep

VLUCHT CORRIDOR MET VIDE KWETSBARE DOELGROEP

SENSITIVITY ANALYSIS AST stochastische randcondities			deterministic	
			average x	t [min]
t	vermenigvuldigingsfactor tijdsduur	-	1	
RHR	vermenigvuldigingsfactor RHR	-	1	
Ae	vermenigvuldigingsfactor ext. Lekheid	-	1	
Ai	vermenigvuldigingsfactor int. Lekheid	-	1	
Do	tijdstip deur open	s	120	
Dt	tijdsduur deur open	s	20	
Hc	verbrandingswaarde	MJ/kg	23	
hf	brandhoogte	m	0.5	
LOL	lower oxygen limit	%	8	
Rad. Frac	stralingsaandeel brand	-	0.3	
Ysoot	vermenigvuldigingsfactor soot yield	-	1	
Yco	vermenigvuldigingsfactor CO yield	-	1	
Acceptable conditions			AST	10.6

probabilistic: sensitivity analysis			
variation v	st. deviation s	value x + dx	AST t [min]
0.30	0.30	1.30	10.0
-0.30	-0.30	0.70	16.4
0.30	0.30	1.30	5.8
-0.30	-0.30	0.70	18.6
0.70	0.70	1.70	10.0
-0.70	-0.70	0.30	13.3
1.50	1.50	2.50	6.0
-0.50	-0.50	0.50	27.6
1.50	180.00	300.00	5.2
-0.50	-60.00	60.00	11.0
2.00	40.00	60.00	6.1
-0.50	-10.00	10.00	10.8
0.15	3.45	26.45	12.4
-0.30	-6.90	16.10	5.8
0.50	0.25	0.75	11.6
-0.50	-0.25	0.25	6.2
0.88	7.00	15.00	21.2
-0.38	-3.00	5.00	6.2
0.20	0.06	0.36	6.2
-0.20	-0.06	0.24	11.1
1.00	1.00	2.00	5.6
-0.30	-0.30	0.70	21.5
1.00	1.00	2.00	9.8
-0.30	-0.30	0.70	10.7

standard deviation			
dt/dx	s-dt/dx	(s-dt/dx) ²	
-2.00	-0.60	0.00	0.36
-19.33	5.80	33.64	0.00
-16.00	-4.80	0.00	23.04
-26.67	8.00	64.00	0.00
-0.86	-0.60	0.00	0.36
-3.86	2.70	7.29	0.00
-3.07	-4.60	0.00	21.16
-34.00	17.00	289.00	0.00
-0.03	-5.40	0.00	29.16
-0.01	0.40	0.16	0.00
-0.11	-4.50	0.00	20.25
-0.02	0.20	0.04	0.00
0.52	1.80	3.24	0.00
0.70	-4.80	0.00	23.04
4.00	1.00	1.00	0.00
17.60	-4.40	0.00	19.36
1.51	10.60	112.36	0.00
1.47	-4.40	0.00	19.36
-73.33	-4.40	0.00	19.36
-8.33	0.50	0.25	0.00
-5.00	-5.00	0.00	25.00
-36.33	10.90	118.81	0.00
-0.80	-0.80	0.00	0.64
-0.33	0.10	0.01	0.00
variancy(t) =		629.800	201.090
s(t) =		25.096	-14.181

Corridor met vide zeer kwetsbare doelgroep

VLUCHT CORRIDOR MET VIDE ZEER KWETSBARE DOELGROEP

SENSITIVITY ANALYSIS AST stochastische randcondities			deterministic		probabilistic: sensitivity analysis				standard deviation				
			average x	t [min]	variation v	st. deviation s	value x + dx	AST t [min]	dt/dx	s-dt/dx	(s-dt/dx) ²		
t	vermenigvuldigingsfactor tijdsduur	-	1			0.30	0.30	1.30	6.3	4.00	1.20	1.44	0.00
						-0.30	-0.30	0.70	3.8	4.33	-1.30	0.00	1.69
RHR	vermenigvuldigingsfactor RHR	-	1			0.30	0.30	1.30	4.7	-1.33	-0.40	0.00	0.16
						-0.30	-0.30	0.70	5.6	-1.67	0.50	0.25	0.00
Ae	vermenigvuldigingsfactor ext. Lekheid	-	1			0.70	0.70	1.70	5.3	0.29	0.20	0.04	0.00
						-0.70	-0.70	0.30	5.0	0.14	-0.10	0.00	0.01
Ai	vermenigvuldigingsfactor int. Lekheid	-	1			1.50	1.50	2.50	5.0	-0.07	-0.10	0.00	0.01
						-0.50	-0.50	0.50	5.3	-0.40	0.20	0.04	0.00
Do	tijdstip deur open	s	120			1.50	180.00	300.00	5.0	0.00	-0.10	0.00	0.01
						-0.50	-60.00	60.00	5.2	0.00	0.10	0.01	0.00
Dt	tijdsduur deur open	s	20			2.00	40.00	60.00	4.8	-0.01	-0.30	0.00	0.09
						-0.50	-10.00	10.00	5.2	-0.01	0.10	0.01	0.00
Hc	verbrandingswaarde	MJ/kg	23			0.15	3.45	26.45	5.2	0.03	0.10	0.01	0.00
						-0.30	-6.90	16.10	4.8	0.04	-0.30	0.00	0.09
hf	brandhoogte	m	0.5			0.50	0.25	0.75	5.2	0.40	0.10	0.01	0.00
						-0.50	-0.25	0.25	5.1	0.00	0.00	0.00	0.00
LOL	lower oxygen limit	%	8			0.88	7.00	15.00	5.1	0.00	0.00	0.00	0.00
						-0.38	-3.00	5.00	5.1	0.00	0.00	0.00	0.00
Rad. Frac	stralingsaandeel brand	-	0.3			0.20	0.06	0.36	5.2	1.67	0.10	0.01	0.00
						-0.20	-0.06	0.24	5.1	0.00	0.00	0.00	0.00
Ysoot	vermenigvuldigingsfactor soot yield	-	1			1.00	1.00	2.00	4.5	-0.60	-0.60	0.00	0.36
						-0.30	-0.30	0.70	5.4	-1.00	0.30	0.09	0.00
Yco	vermenigvuldigingsfactor CO yield	-	1			1.00	1.00	2.00	5.1	0.00	0.00	0.00	0.00
						-0.30	-0.30	0.70	5.1	0.00	0.00	0.00	0.00
Acceptable conditions			AST	5.1						variancy(t) =		1.910	2.420
										s(t) =		1.382	-1.556

Atrium algemene doelgroep

VLUCHT ATRIUM ALGEMENE DOELGROEP

			deterministic	
SENSITIVITY ANALYSIS AST stochastische randcondities			average x	t [min]
t	vermenigvuldigingsfactor tijdsduur	-	1	
RHR	vermenigvuldigingsfactor RHR	-	1	
Ae	vermenigvuldigingsfactor ext. Lekheid	-	1	
Ai	vermenigvuldigingsfactor int. Lekheid	-	1	
Do	tijdstip deur open	s	120	
Dt	tijdsduur deur open	s	20	
Hc	verbrandingswaarde	MJ/kg	23	
hf	brandhoogte	m	0.5	
LOL	lower oxygen limit	%	8	
Rad. Frac	stralingsaandeel brand	-	0.3	
Ysoot	vermenigvuldigingsfactor soot yield	-	1	
Yco	vermenigvuldigingsfactor CO yield	-	1	
Acceptable conditions			AST	55.9

probabilistic: sensitivity analysis				
variation v	st. deviation s	value x + dx	AST t [min]	
0.30	0.30	1.30	59.1	
-0.30	-0.30	0.70	56.8	
0.30	0.30	1.30	58.2	
-0.30	-0.30	0.70	56.2	
0.70	0.70	1.70	53.5	
-0.70	-0.70	0.30	60.0	
1.50	1.50	2.50	31.6	
-0.50	-0.50	0.50	85.5	
1.50	180.00	300.00	55.5	
-0.50	-60.00	60.00	55.9	
2.00	40.00	60.00	55.8	
-0.50	-10.00	10.00	55.9	
0.15	3.45	26.45	54.3	
-0.30	-6.90	16.10	68.2	
0.50	0.25	0.75	57.9	
-0.50	-0.25	0.25	54.0	
0.88	7.00	15.00	70.6	
-0.38	-3.00	5.00	51.8	
0.20	0.06	0.36	56.0	
-0.20	-0.06	0.24	55.2	
1.00	1.00	2.00	54.2	
-0.30	-0.30	0.70	56.0	
1.00	1.00	2.00	38.3	
-0.30	-0.30	0.70	68.5	

standard deviation			
dt/dx	s-dt/dx	(s-dt/dx) ²	
10.67	3.20	10.24	0.00
-3.00	0.90	0.81	0.00
7.67	2.30	5.29	0.00
-1.00	0.30	0.09	0.00
-3.43	-2.40	0.00	5.76
-5.86	4.10	16.81	0.00
-16.20	-24.30	0.00	590.49
-59.20	29.60	876.16	0.00
0.00	-0.40	0.00	0.16
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	-0.10	0.00	0.01
0.00	0.00	0.00	0.00
-0.46	-1.60	0.00	2.56
-1.78	12.30	151.29	0.00
8.00	2.00	4.00	0.00
7.60	-1.90	0.00	3.61
2.10	14.70	216.09	0.00
1.37	-4.10	0.00	16.81
1.67	0.10	0.01	0.00
11.67	-0.70	0.00	0.49
-1.70	-1.70	0.00	2.89
-0.33	0.10	0.01	0.00
-17.60	-17.60	0.00	309.76
-42.00	12.60	158.76	0.00
variancy(t) =		1439.560	932.540
s(t) =		37.942	-30.538

Atrium kwetsbare doelgroep

VLUCHT ATRIUM KWETSBARE DOELGROEP

			deterministic	
			average x	t [min]
SENSITIVITY ANALYSIS AST				
stochastische randcondities				
t	vermenigvuldigingsfactor tijdsduur	-	1	
RHR	vermenigvuldigingsfactor RHR	-	1	
Ae	vermenigvuldigingsfactor ext. Lekheid	-	1	
Ai	vermenigvuldigingsfactor int. Lekheid	-	1	
Do	tijdstip deur open	s	120	
Dt	tijdsduur deur open	s	20	
Hc	verbrandingswaarde	MJ/kg	23	
hf	brandhoogte	m	0.5	
LOL	lower oxygen limit	%	8	
Rad. Frac	stralingsaandeel brand	-	0.3	
Ysoot	vermenigvuldigingsfactor soot yield	-	1	
Yco	vermenigvuldigingsfactor CO yield	-	1	
Acceptable conditions			AST	31.8

probabilistic: sensitivity analysis			
variation v	st. deviation s	value x + dx	AST t [min]
0.30	0.30	1.30	33.9
-0.30	-0.30	0.70	32.2
0.30	0.30	1.30	32.8
-0.30	-0.30	0.70	32.2
0.70	0.70	1.70	30.5
-0.70	-0.70	0.30	34.2
1.50	1.50	2.50	19.9
-0.50	-0.50	0.50	46.7
1.50	180.00	300.00	31.6
-0.50	-60.00	60.00	31.8
2.00	40.00	60.00	31.8
-0.50	-10.00	10.00	31.8
0.15	3.45	26.45	31.3
-0.30	-6.90	16.10	37.3
0.50	0.25	0.75	32.9
-0.50	-0.25	0.25	31.2
0.88	7.00	15.00	38.2
-0.38	-3.00	5.00	30.1
0.20	0.06	0.36	31.9
-0.20	-0.06	0.24	31.5
1.00	1.00	2.00	31.0
-0.30	-0.30	0.70	31.8
1.00	1.00	2.00	23.5
-0.30	-0.30	0.70	37.4

standard deviation			
dt/dx	s-dt/dx	(s-dt/dx) ²	
7.00	2.10	4.41	0.00
-1.33	0.40	0.16	0.00
3.33	1.00	1.00	0.00
-1.33	0.40	0.16	0.00
-1.86	-1.30	0.00	1.69
-3.43	2.40	5.76	0.00
-7.93	-11.90	0.00	141.61
-29.80	14.90	222.01	0.00
0.00	-0.20	0.00	0.04
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
-0.14	-0.50	0.00	0.25
-0.80	5.50	30.25	0.00
4.40	1.10	1.21	0.00
2.40	-0.60	0.00	0.36
0.91	6.40	40.96	0.00
0.57	-1.70	0.00	2.89
1.67	0.10	0.01	0.00
5.00	-0.30	0.00	0.09
-0.80	-0.80	0.00	0.64
0.00	0.00	0.00	0.00
-8.30	-8.30	0.00	68.89
-18.67	5.60	31.36	0.00
variancy(t) =		337.290	216.460
s(t) =		18.365	-14.713

Atrium zeer kwetsbare doelgroep

VLUCHT ATRIUM ZEER KWETSBARE DOELGROEP

			deterministic	
			average x	t [min]
SENSITIVITY ANALYSIS AST				
stochastische randcondities				
t	vermenigvuldigingsfactor tijdsduur	-	1	
RHR	vermenigvuldigingsfactor RHR	-	1	
Ae	vermenigvuldigingsfactor ext. Lekheid	-	1	
Ai	vermenigvuldigingsfactor int. Lekheid	-	1	
Do	tijdstip deur open	s	120	
Dt	tijdsduur deur open	s	20	
Hc	verbrandingswaarde	MJ/kg	23	
hf	brandhoogte	m	0.5	
LOL	lower oxygen limit	%	8	
Rad. Frac	stralingsaandeel brand	-	0.3	
Ysoot	vermenigvuldigingsfactor soot yield	-	1	
Yco	vermenigvuldigingsfactor CO yield	-	1	
Acceptable conditions			AST	18.8

probabilistic: sensitivity analysis			
variation v	st. deviation s	value x + dx	AST t [min]
0.30	0.30	1.30	20.4
-0.30	-0.30	0.70	18.8
0.30	0.30	1.30	18.9
-0.30	-0.30	0.70	19.4
0.70	0.70	1.70	18.3
-0.70	-0.70	0.30	20.1
1.50	1.50	2.50	10.8
-0.50	-0.50	0.50	25.8
1.50	180.00	300.00	6.4
-0.50	-60.00	60.00	18.8
2.00	40.00	60.00	18.8
-0.50	-10.00	10.00	18.8
0.15	3.45	26.45	18.8
-0.30	-6.90	16.10	20.4
0.50	0.25	0.75	19.2
-0.50	-0.25	0.25	18.8
0.88	7.00	15.00	21.0
-0.38	-3.00	5.00	18.3
0.20	0.06	0.36	18.8
-0.20	-0.06	0.24	18.7
1.00	1.00	2.00	6.4
-0.30	-0.30	0.70	18.8
1.00	1.00	2.00	15.2
-0.30	-0.30	0.70	21.2

standard deviation			
dt/dx	s-dt/dx	(s-dt/dx) ²	
5.33	1.60	2.56	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.33	0.10	0.01	0.00
-2.00	0.60	0.36	0.00
-0.71	-0.50	0.00	0.25
-1.86	1.30	1.69	0.00
-5.33	-8.00	0.00	64.00
-14.00	7.00	49.00	0.00
-0.07	-12.40	0.00	153.76
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
-0.23	1.60	2.56	0.00
1.60	0.40	0.16	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.31	2.20	4.84	0.00
0.17	-0.50	0.00	0.25
0.00	0.00	0.00	0.00
1.67	-0.10	0.00	0.01
-12.40	-12.40	0.00	153.76
0.00	0.00	0.00	0.00
-3.60	-3.60	0.00	12.96
-8.00	2.40	5.76	0.00
variancy(t) =		66.940	384.990
s(t) =		8.182	-19.621

Persoonlijke veiligheid stay-in-place-concept

Corridor algemene doelgroep

STAY CORRIDOR ALGEMENE DOELGROEP

		deterministic	
SENSITIVITY ANALYSIS AST stochastische randcondities		average x	t [min]
t	vermenigvuldigingsfactor tijdsduur -	1	
RHR	vermenigvuldigingsfactor RHR -	1	
Ae	vermenigvuldigingsfactor ext. Lekheid -	1	
Ai	vermenigvuldigingsfactor int. Lekheid -	1	
Do	tijdstip deur open s	120	
Dt	tijdsduur deur open s	20	
Hc	verbrandingswaarde MJ/kg	23	
hf	brandhoogte m	0.5	
LOL	lower oxygen limit %	8	
Rad. Frac	stralingsaandeel brand -	0.3	
Ysoot	vermenigvuldigingsfactor soot yield -	1	
Yco	vermenigvuldigingsfactor CO yield -	1	
Acceptable conditions		AST	63.5

probabilistic: sensitivity analysis			
variation v	st. deviation s	value x + dx	AST t [min]
0.30	0.30	1.30	65.3
-0.30	-0.30	0.70	64.2
0.30	0.30	1.30	64.4
-0.30	-0.30	0.70	64.8
0.70	0.70	1.70	60.6
-0.70	-0.70	0.30	67.6
1.50	1.50	2.50	34.6
-0.50	-0.50	0.50	90.0
1.50	180.00	300.00	62.6
-0.50	-60.00	60.00	63.5
2.00	40.00	60.00	63.4
-0.50	-10.00	10.00	63.5
0.15	3.45	26.45	62.2
-0.30	-6.90	16.10	73.8
0.50	0.25	0.75	64.4
-0.50	-0.25	0.25	62.4
0.88	7.00	15.00	78.1
-0.38	-3.00	5.00	59.2
0.20	0.06	0.36	63.7
-0.20	-0.06	0.24	62.8
1.00	1.00	2.00	61.7
-0.30	-0.30	0.70	63.7
1.00	1.00	2.00	44.1
-0.30	-0.30	0.70	77.4

standard deviation			
dt/dx	s-dt/dx	(s-dt/dx) ²	
6.00	1.80	3.24	0.00
-2.33	0.70	0.49	0.00
3.00	0.90	0.81	0.00
-4.33	1.30	1.69	0.00
-4.14	-2.90	0.00	8.41
-5.86	4.10	16.81	0.00
-19.27	-28.90	0.00	835.21
-53.00	26.50	702.25	0.00
0.00	-0.90	0.00	0.81
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	-0.10	0.00	0.01
0.00	0.00	0.00	0.00
-0.38	-1.30	0.00	1.69
-1.49	10.30	106.09	0.00
3.60	0.90	0.81	0.00
4.40	-1.10	0.00	1.21
2.09	14.60	213.16	0.00
1.43	-4.30	0.00	18.49
3.33	0.20	0.04	0.00
11.67	-0.70	0.00	0.49
-1.80	-1.80	0.00	3.24
-0.67	0.20	0.04	0.00
-19.40	-19.40	0.00	376.36
-46.33	13.90	193.21	0.00
variancy(t) =		1238.640	1245.920
s(t) =		35.194	-35.298

Corridor kwetsbare doelgroep

STAY CORRIDOR KWETSBARE DOELGROEP

			deterministic	
SENSITIVITY ANALYSIS AST stochastische randcondities			average x	t [min]
t	vermenigvuldigingsfactor tijdsduur	-	1	
RHR	vermenigvuldigingsfactor RHR	-	1	
Ae	vermenigvuldigingsfactor ext. Lekheid	-	1	
Ai	vermenigvuldigingsfactor int. Lekheid	-	1	
Do	tijdstip deur open	s	120	
Dt	tijdsduur deur open	s	20	
Hc	verbrandingswaarde	MJ/kg	23	
hf	brandhoogte	m	0.5	
LOL	lower oxygen limit	%	8	
Rad. Frac	stralingsaandeel brand	-	0.3	
Ysoot	vermenigvuldigingsfactor soot yield	-	1	
Yco	vermenigvuldigingsfactor CO yield	-	1	
Acceptable conditions			AST	36.6

probabilistic: sensitivity analysis				
variation v	st. deviation s	value x + dx	AST t [min]	
0.30	0.30	1.30	37.4	
-0.30	-0.30	0.70	37.1	
0.30	0.30	1.30	36.6	
-0.30	-0.30	0.70	37.6	
0.70	0.70	1.70	34.7	
-0.70	-0.70	0.30	39.3	
1.50	1.50	2.50	21.4	
-0.50	-0.50	0.50	53.5	
1.50	180.00	300.00	36.2	
-0.50	-60.00	60.00	36.6	
2.00	40.00	60.00	36.6	
-0.50	-10.00	10.00	36.6	
0.15	3.45	26.45	36.3	
-0.30	-6.90	16.10	40.5	
0.50	0.25	0.75	36.8	
-0.50	-0.25	0.25	36.6	
0.88	7.00	15.00	42.6	
-0.38	-3.00	5.00	34.8	
0.20	0.06	0.36	36.7	
-0.20	-0.06	0.24	36.3	
1.00	1.00	2.00	35.8	
-0.30	-0.30	0.70	36.7	
1.00	1.00	2.00	27.2	
-0.30	-0.30	0.70	42.8	

standard deviation			
dt/dx	s-dt/dx	(s-dt/dx) ²	
2.67	0.80	0.64	0.00
-1.67	0.50	0.25	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
-3.33	1.00	1.00	0.00
-2.71	-1.90	0.00	3.61
-3.86	2.70	7.29	0.00
-10.13	-15.20	0.00	231.04
-33.80	16.90	285.61	0.00
0.00	-0.40	0.00	0.16
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
-0.09	-0.30	0.00	0.09
-0.57	3.90	15.21	0.00
0.80	0.20	0.04	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.86	6.00	36.00	0.00
0.60	-1.80	0.00	3.24
1.67	0.10	0.01	0.00
5.00	-0.30	0.00	0.09
-0.80	-0.80	0.00	0.64
-0.33	0.10	0.01	0.00
-9.40	-9.40	0.00	88.36
-20.67	6.20	38.44	0.00
variancy(t) =		384.500	327.230
s(t) =		19.609	-18.089

Corridor zeer kwetsbare doelgroep

STAY CORRIDOR ZEER KWETSBARE DOELGROEP

SENSITIVITY ANALYSIS AST			deterministic	
stochastische randcondities			average	t [min]
	x			
t	vermenigvuldigingsfactor tijdsduur	-	1	
RHR	vermenigvuldigingsfactor RHR	-	1	
Ae	vermenigvuldigingsfactor ext. Lekheid	-	1	
Ai	vermenigvuldigingsfactor int. Lekheid	-	1	
Do	tijdstip deur open	s	120	
Dt	tijdsduur deur open	s	20	
Hc	verbrandingswaarde	MJ/kg	23	
hf	brandhoogte	m	0.5	
LOL	lower oxygen limit	%	8	
Rad. Frac	stralingsaandeel brand	-	0.3	
Ysoot	vermenigvuldigingsfactor soot yield	-	1	
Yco	vermenigvuldigingsfactor CO yield	-	1	
Acceptable conditions			AST	21.4

probabilistic: sensitivity analysis			
variation	st. deviation	value	AST
v	s	x + dx	t [min]
0.30	0.30	1.30	21.9
-0.30	-0.30	0.70	21.9
0.30	0.30	1.30	20.8
-0.30	-0.30	0.70	22.4
0.70	0.70	1.70	20.5
-0.70	-0.70	0.30	22.7
1.50	1.50	2.50	14.1
-0.50	-0.50	0.50	29.9
1.50	180.00	300.00	21.2
-0.50	-60.00	60.00	21.4
2.00	40.00	60.00	21.4
-0.50	-10.00	10.00	21.4
0.15	3.45	26.45	21.6
-0.30	-6.90	16.10	21.9
0.50	0.25	0.75	21.3
-0.50	-0.25	0.25	21.6
0.88	7.00	15.00	23.2
-0.38	-3.00	5.00	20.7
0.20	0.06	0.36	21.4
-0.20	-0.06	0.24	21.2
1.00	1.00	2.00	21.0
-0.30	-0.30	0.70	21.4
1.00	1.00	2.00	16.8
-0.30	-0.30	0.70	24.2

standard deviation			
dt/dx	s-dt/dx	(s-dt/dx) ²	
1.67	0.50	0.25	0.00
-1.67	0.50	0.25	0.00
-2.00	-0.60	0.00	0.36
-3.33	1.00	1.00	0.00
-1.29	-0.90	0.00	0.81
-1.86	1.30	1.69	0.00
-4.87	-7.30	0.00	53.29
-17.00	8.50	72.25	0.00
0.00	-0.20	0.00	0.04
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.06	0.20	0.04	0.00
-0.07	0.50	0.25	0.00
-0.40	-0.10	0.00	0.01
-0.80	0.20	0.04	0.00
0.26	1.80	3.24	0.00
0.23	-0.70	0.00	0.49
0.00	0.00	0.00	0.00
3.33	-0.20	0.00	0.04
-0.40	-0.40	0.00	0.16
0.00	0.00	0.00	0.00
-4.60	-4.60	0.00	21.16
-9.33	2.80	7.84	0.00
variancy(t) =		86.850	76.360
s(t) =		9.319	-8.738

Corridor met vide algemene doelgroep

STAY CORRIDOR MET VIDE ALGEMENE DOELGROEP

SENSITIVITY ANALYSIS AST			deterministic	
stochastische randcondities			average	t [min]
	x			
t	vermenigvuldigingsfactor tijdsduur	-	1	
RHR	vermenigvuldigingsfactor RHR	-	1	
Ae	vermenigvuldigingsfactor ext. Lekheid	-	1	
Ai	vermenigvuldigingsfactor int. Lekheid	-	1	
Do	tijdstip deur open	s	120	
Dt	tijdsduur deur open	s	20	
Hc	verbrandingswaarde	MJ/kg	23	
hf	brandhoogte	m	0.5	
LOL	lower oxygen limit	%	8	
Rad. Frac	stralingsaandeel brand	-	0.3	
Ysoot	vermenigvuldigingsfactor soot yield	-	1	
Yco	vermenigvuldigingsfactor CO yield	-	1	
Acceptable conditions			AST	63.8

probabilistic: sensitivity analysis				
variation	st. deviation	value	AST	
v	s	x + dx	x	t [min]
0.30	0.30	1.30	65.6	
-0.30	-0.30	0.70	63.9	
0.30	0.30	1.30	64.8	
-0.30	-0.30	0.70	65.0	
0.70	0.70	1.70	60.8	
-0.70	-0.70	0.30	67.9	
1.50	1.50	2.50	34.9	
-0.50	-0.50	0.50	90.0	
1.50	180.00	300.00	63.1	
-0.50	-60.00	60.00	63.8	
2.00	40.00	60.00	63.7	
-0.50	-10.00	10.00	63.8	
0.15	3.45	26.45	62.5	
-0.30	-6.90	16.10	74.3	
0.50	0.25	0.75	64.6	
-0.50	-0.25	0.25	62.2	
0.88	7.00	15.00	78.5	
-0.38	-3.00	5.00	59.4	
0.20	0.06	0.36	64.0	
-0.20	-0.06	0.24	63.1	
1.00	1.00	2.00	62.0	
-0.30	-0.30	0.70	64.0	
1.00	1.00	2.00	44.4	
-0.30	-0.30	0.70	77.0	

standard deviation			
dt/dx	s-dt/dx	(s-dt/dx) ²	
6.00	1.80	3.24	0.00
-0.33	0.10	0.01	0.00
3.33	1.00	1.00	0.00
-4.00	1.20	1.44	0.00
-4.29	-3.00	0.00	9.00
-5.86	4.10	16.81	0.00
-19.27	-28.90	0.00	835.21
-52.40	26.20	686.44	0.00
0.00	-0.70	0.00	0.49
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	-0.10	0.00	0.01
0.00	0.00	0.00	0.00
-0.38	-1.30	0.00	1.69
-1.52	10.50	110.25	0.00
3.20	0.80	0.64	0.00
6.40	-1.60	0.00	2.56
2.10	14.70	216.09	0.00
1.47	-4.40	0.00	19.36
3.33	0.20	0.04	0.00
11.67	-0.70	0.00	0.49
-1.80	-1.80	0.00	3.24
-0.67	0.20	0.04	0.00
-19.40	-19.40	0.00	376.36
-44.00	13.20	174.24	0.00
variancy(t) =		1210.240	1248.410
s(t) =		34.789	-35.333

Corridor met vide kwetsbare doelgroep

STAY CORRIDOR MET VIDE KWETSBARE DOELGROEP

SENSITIVITY ANALYSIS AST			deterministic	
stochastische randcondities			average	t [min]
			x	
t	vermenigvuldigingsfactor tijdsduur	-	1	
RHR	vermenigvuldigingsfactor RHR	-	1	
Ae	vermenigvuldigingsfactor ext. Lekheid	-	1	
Ai	vermenigvuldigingsfactor int. Lekheid	-	1	
Do	tijdstip deur open	s	120	
Dt	tijdsduur deur open	s	20	
Hc	verbrandingswaarde	MJ/kg	23	
hf	brandhoogte	m	0.5	
LOL	lower oxygen limit	%	8	
Rad. Frac	stralingsaandeel brand	-	0.3	
Ysoot	vermenigvuldigingsfactor soot yield	-	1	
Yco	vermenigvuldigingsfactor CO yield	-	1	
Acceptable conditions			AST	36.8

probabilistic: sensitivity analysis			
variation	st. deviation	value	AST
v	s	x + dx	t [min]
0.30	0.30	1.30	37.6
-0.30	-0.30	0.70	37.0
0.30	0.30	1.30	36.8
-0.30	-0.30	0.70	37.7
0.70	0.70	1.70	34.9
-0.70	-0.70	0.30	39.5
1.50	1.50	2.50	21.6
-0.50	-0.50	0.50	53.6
1.50	180.00	300.00	36.5
-0.50	-60.00	60.00	36.8
2.00	40.00	60.00	36.8
-0.50	-10.00	10.00	36.8
0.15	3.45	26.45	36.4
-0.30	-6.90	16.10	40.8
0.50	0.25	0.75	36.9
-0.50	-0.25	0.25	36.5
0.88	7.00	15.00	42.8
-0.38	-3.00	5.00	34.9
0.20	0.06	0.36	36.9
-0.20	-0.06	0.24	36.4
1.00	1.00	2.00	35.9
-0.30	-0.30	0.70	36.9
1.00	1.00	2.00	27.3
-0.30	-0.30	0.70	42.7

standard deviation			
dt/dx	s-dt/dx	(s-dt/dx) ²	
2.67	0.80	0.64	0.00
-0.67	0.20	0.04	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.90	0.81	0.00
-2.71	-1.90	0.00	3.61
-3.86	2.70	7.29	0.00
-10.13	-15.20	0.00	231.04
-33.60	16.80	282.24	0.00
0.00	-0.30	0.00	0.09
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
-0.12	-0.40	0.00	0.16
-0.58	4.00	16.00	0.00
0.40	0.10	0.01	0.00
1.20	-0.30	0.00	0.09
0.86	6.00	36.00	0.00
0.63	-1.90	0.00	3.61
1.67	0.10	0.01	0.00
6.67	-0.40	0.00	0.16
-0.90	-0.90	0.00	0.81
-0.33	0.10	0.01	0.00
-9.50	-9.50	0.00	90.25
-19.67	5.90	34.81	0.00
variancy(t) =		377.860	329.820
s(t) =		19.439	-18.161

Corridor met vide zeer kwetsbare doelgroep

STAY CORRIDOR MET VIDE ZEER KWETSBARE DOELGROEP

SENSITIVITY ANALYSIS AST			deterministic	
stochastische randcondities			average	t [min]
	x			
t	vermenigvuldigingsfactor tijdsduur	-	1	
RHR	vermenigvuldigingsfactor RHR	-	1	
Ae	vermenigvuldigingsfactor ext. Lekheid	-	1	
Ai	vermenigvuldigingsfactor int. Lekheid	-	1	
Do	tijdstip deur open	s	120	
Dt	tijdsduur deur open	s	20	
Hc	verbrandingswaarde	MJ/kg	23	
hf	brandhoogte	m	0.5	
LOL	lower oxygen limit	%	8	
Rad. Frac	stralingsaandeel brand	-	0.3	
Ysoot	vermenigvuldigingsfactor soot yield	-	1	
Yco	vermenigvuldigingsfactor CO yield	-	1	
Acceptable conditions			AST	21.5

probabilistic: sensitivity analysis			
variation	st. deviation	value	AST
v	s	x + dx	t [min]
0.30	0.30	1.30	22.0
-0.30	-0.30	0.70	21.9
0.30	0.30	1.30	20.9
-0.30	-0.30	0.70	22.4
0.70	0.70	1.70	20.5
-0.70	-0.70	0.30	22.8
1.50	1.50	2.50	14.2
-0.50	-0.50	0.50	29.9
1.50	180.00	300.00	21.4
-0.50	-60.00	60.00	21.5
2.00	40.00	60.00	21.4
-0.50	-10.00	10.00	21.5
0.15	3.45	26.45	21.6
-0.30	-6.90	16.10	22.1
0.50	0.25	0.75	21.3
-0.50	-0.25	0.25	21.5
0.88	7.00	15.00	23.4
-0.38	-3.00	5.00	20.8
0.20	0.06	0.36	21.5
-0.20	-0.06	0.24	21.3
1.00	1.00	2.00	21.1
-0.30	-0.30	0.70	21.5
1.00	1.00	2.00	16.9
-0.30	-0.30	0.70	24.2

standard deviation			
dt/dx	s-dt/dx	(s-dt/dx) ²	
1.67	0.50	0.25	0.00
-1.33	0.40	0.16	0.00
-2.00	-0.60	0.00	0.36
-3.00	0.90	0.81	0.00
-1.43	-1.00	0.00	1.00
-1.86	1.30	1.69	0.00
-4.87	-7.30	0.00	53.29
-16.80	8.40	70.56	0.00
0.00	-0.10	0.00	0.01
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	-0.10	0.00	0.01
0.00	0.00	0.00	0.00
0.03	0.10	0.01	0.00
-0.09	0.60	0.36	0.00
-0.80	-0.20	0.00	0.04
0.00	0.00	0.00	0.00
0.27	1.90	3.61	0.00
0.23	-0.70	0.00	0.49
0.00	0.00	0.00	0.00
3.33	-0.20	0.00	0.04
-0.40	-0.40	0.00	0.16
0.00	0.00	0.00	0.00
-4.60	-4.60	0.00	21.16
-9.00	2.70	7.29	0.00
variancy(t) =		84.740	76.560
s(t) =		9.205	-8.750

Atrium algemene doelgroep

STAY ATRIUM ALGEMENE DOELGROEP

			deterministic		probabilistic: sensitivity analysis				standard deviation			
			average x	t [min]	variation v	st. deviation s	value x + dx	AST t [min]	dt/dx	s-dt/dx	(s-dt/dx) ²	
t	vermenigvuldigingsfactor tijdsduur	-	1		0.30	0.30	1.30	59.3	10.67	3.20	10.24	0.00
					-0.30	-0.30	0.70	57.0	-3.00	0.90	0.81	0.00
RHR	vermenigvuldigingsfactor RHR	-	1		0.30	0.30	1.30	58.4	7.67	2.30	5.29	0.00
					-0.30	-0.30	0.70	56.4	-1.00	0.30	0.09	0.00
Ae	vermenigvuldigingsfactor ext. Lekheid	-	1		0.70	0.70	1.70	53.6	-3.57	-2.50	0.00	6.25
					-0.70	-0.70	0.30	60.2	-5.86	4.10	16.81	0.00
Ai	vermenigvuldigingsfactor int. Lekheid	-	1		1.50	1.50	2.50	31.8	-16.20	-24.30	0.00	590.49
					-0.50	-0.50	0.50	85.8	-59.40	29.70	882.09	0.00
Do	tijdstip deur open	s	120		1.50	180.00	300.00	55.7	0.00	-0.40	0.00	0.16
					-0.50	-60.00	60.00	56.1	0.00	0.00	0.00	0.00
Dt	tijdsduur deur open	s	20		2.00	40.00	60.00	56.0	0.00	-0.10	0.00	0.01
					-0.50	-10.00	10.00	56.0	0.01	-0.10	0.00	0.01
Hc	verbrandingswaarde	MJ/kg	23		0.15	3.45	26.45	54.5	-0.46	-1.60	0.00	2.56
					-0.30	-6.90	16.10	68.4	-1.78	12.30	151.29	0.00
hf	brandhoogte	m	0.5		0.50	0.25	0.75	58.1	8.00	2.00	4.00	0.00
					-0.50	-0.25	0.25	54.2	7.60	-1.90	0.00	3.61
LOL	lower oxygen limit	%	8		0.88	7.00	15.00	70.8	2.10	14.70	216.09	0.00
					-0.38	-3.00	5.00	52.0	1.37	-4.10	0.00	16.81
Rad. Frac	stralingsaandeel brand	-	0.3		0.20	0.06	0.36	56.2	1.67	0.10	0.01	0.00
					-0.20	-0.06	0.24	55.4	11.67	-0.70	0.00	0.49
Ysoot	vermenigvuldigingsfactor soot yield	-	1		1.00	1.00	2.00	54.4	-1.70	-1.70	0.00	2.89
					-0.30	-0.30	0.70	56.2	-0.33	0.10	0.01	0.00
Yco	vermenigvuldigingsfactor CO yield	-	1		1.00	1.00	2.00	38.4	-17.70	-17.70	0.00	313.29
					-0.30	-0.30	0.70	68.7	-42.00	12.60	158.76	0.00
Acceptable conditions			AST	56.1					variancy(t) =		1445.490	936.570
									s(t) =		38.020	-30.603

Atrium kwetsbare doelgroep

STAY ATRIUM KWETSBARE DOELGROEP

			deterministic	
SENSITIVITY ANALYSIS AST stochastische randcondities			average x	t [min]
t	vermenigvuldigingsfactor tijdsduur	-	1	
RHR	vermenigvuldigingsfactor RHR	-	1	
Ae	vermenigvuldigingsfactor ext. Lekheid	-	1	
Ai	vermenigvuldigingsfactor int. Lekheid	-	1	
Do	tijdstip deur open	s	120	
Dt	tijdsduur deur open	s	20	
Hc	verbrandingswaarde	MJ/kg	23	
hf	brandhoogte	m	0.5	
LOL	lower oxygen limit	%	8	
Rad. Frac	stralingsaandeel brand	-	0.3	
Ysoot	vermenigvuldigingsfactor soot yield	-	1	
Yco	vermenigvuldigingsfactor CO yield	-	1	
Acceptable conditions			AST	32.0

probabilistic: sensitivity analysis			
variation v	st. deviation s	value x + dx	AST t [min]
0.30	0.30	1.30	34.1
-0.30	0.30	0.70	32.4
0.30	0.30	1.30	33.0
-0.30	0.30	0.70	32.4
0.70	0.70	1.70	30.7
-0.70	0.70	0.30	34.4
1.50	1.50	2.50	20.0
-0.50	0.50	0.50	46.9
1.50	180.00	300.00	31.8
-0.50	-60.00	60.00	32.0
2.00	40.00	60.00	32.0
-0.50	-10.00	10.00	32.0
0.15	3.45	26.45	31.4
-0.30	-6.90	16.10	37.5
0.50	0.25	0.75	33.1
-0.50	-0.25	0.25	31.4
0.88	7.00	15.00	38.4
-0.38	-3.00	5.00	30.3
0.20	0.06	0.36	32.1
-0.20	-0.06	0.24	31.7
1.00	1.00	2.00	31.2
-0.30	0.70	0.70	32.0
1.00	1.00	2.00	23.7
-0.30	0.70	0.70	37.6

standard deviation			
dt/dx	s-dt/dx	(s-dt/dx) ²	
7.00	2.10	4.41	0.00
-1.33	0.40	0.16	0.00
3.33	1.00	1.00	0.00
-1.33	0.40	0.16	0.00
-1.86	-1.30	0.00	1.69
-3.43	2.40	5.76	0.00
-8.00	-12.00	0.00	144.00
-29.80	14.90	222.01	0.00
0.00	-0.20	0.00	0.04
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
-0.17	-0.60	0.00	0.36
-0.80	5.50	30.25	0.00
4.40	1.10	1.21	0.00
2.40	-0.60	0.00	0.36
0.91	6.40	40.96	0.00
0.57	-1.70	0.00	2.89
1.67	0.10	0.01	0.00
5.00	-0.30	0.00	0.09
-0.80	-0.80	0.00	0.64
0.00	0.00	0.00	0.00
-8.30	-8.30	0.00	68.89
-18.67	5.60	31.36	0.00
variancy(t) =		337.290	218.960
s(t) =		18.365	-14.797

Atrium zeer kwetsbare doelgroep

STAY ATRIUM ZEER KWETSBARE DOELGROEP

			deterministic	
SENSITIVITY ANALYSIS AST stochastische randcondities			average x	t [min]
t	vermenigvuldigingsfactor tijdsduur	-	1	
RHR	vermenigvuldigingsfactor RHR	-	1	
Ae	vermenigvuldigingsfactor ext. Lekheid	-	1	
Ai	vermenigvuldigingsfactor int. Lekheid	-	1	
Do	tijdstip deur open	s	120	
Dt	tijdsduur deur open	s	20	
Hc	verbrandingswaarde	MJ/kg	23	
hf	brandhoogte	m	0.5	
LOL	lower oxygen limit	%	8	
Rad. Frac	stralingsaandeel brand	-	0.3	
Ysoot	vermenigvuldigingsfactor soot yield	-	1	
Yco	vermenigvuldigingsfactor CO yield	-	1	
Acceptable conditions			AST	19.1

probabilistic: sensitivity analysis			
variation v	st. deviation s	value x + dx	AST t [min]
0.30	0.30	1.30	20.7
-0.30	-0.30	0.70	19.0
0.30	0.30	1.30	19.2
-0.30	-0.30	0.70	19.6
0.70	0.70	1.70	18.5
-0.70	-0.70	0.30	20.4
1.50	1.50	2.50	13.6
-0.50	-0.50	0.50	26.2
1.50	180.00	300.00	19.0
-0.50	-60.00	60.00	19.1
2.00	40.00	60.00	19.1
-0.50	-10.00	10.00	19.1
0.15	3.45	26.45	19.1
-0.30	-6.90	16.10	20.7
0.50	0.25	0.75	19.5
-0.50	-0.25	0.25	19.1
0.88	7.00	15.00	21.4
-0.38	-3.00	5.00	18.5
0.20	0.06	0.36	19.1
-0.20	-0.06	0.24	19.0
1.00	1.00	2.00	18.8
-0.30	-0.30	0.70	19.1
1.00	1.00	2.00	15.4
-0.30	-0.30	0.70	21.5

standard deviation			
dt/dx	s-dt/dx	(s-dt/dx) ²	
5.33	1.60	2.56	0.00
0.33	-0.10	0.00	0.01
0.33	0.10	0.01	0.00
-1.67	0.50	0.25	0.00
-0.86	-0.60	0.00	0.36
-1.86	1.30	1.69	0.00
-3.67	-5.50	0.00	30.25
-14.20	7.10	50.41	0.00
0.00	-0.10	0.00	0.01
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
-0.23	1.60	2.56	0.00
1.60	0.40	0.16	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00
0.33	2.30	5.29	0.00
0.20	-0.60	0.00	0.36
0.00	0.00	0.00	0.00
1.67	-0.10	0.00	0.01
-0.30	-0.30	0.00	0.09
0.00	0.00	0.00	0.00
-3.70	-3.70	0.00	13.69
-8.00	2.40	5.76	0.00
variancy(t) =		68.690	44.780
s(t) =		8.288	-6.692

Thermische belasting ontvluchtingsconcept

PROBABILISTIC APPROACH RST THERMAL LOAD REQUIRED SAFE TIME SFC

RST: probabilistic (thermal load)

CASE: dwelling

FILE: basis10 - during 30 min evacuation time

SENSITIVITY ANALYSIS RST stochastische randcondities

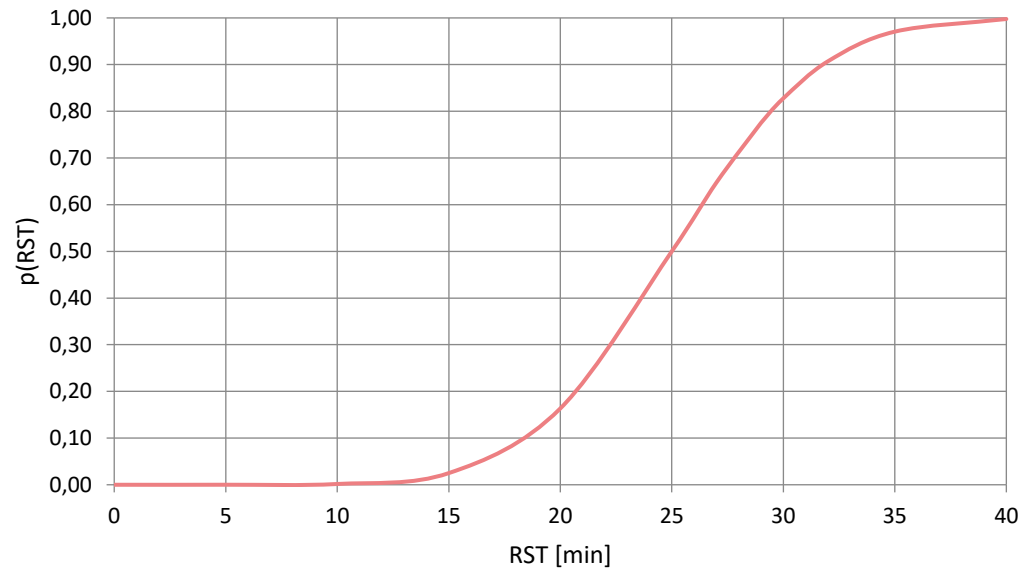
			average x	t [min]	file:
q	vuurbelasting	MJ/m ²	780		11a
RHR	brandvermogensdichtheid	kW/m ²	250		11b
r	stoichiometrische constante	kg/kg	1,27		12a
Heff	verbrandingsefficiëntie	-	0,8		12b
tc	tijdconstante brandontwikkeling	s	300		13a
					13b
					14a
					14b
					15a
					15b
			RST	25,0	10

equivalente brandduur (SFC)
(opening factor worst case: fuel/oxygen controlled)

probabilistic: sensitivity analysis			
variation v	st. deviation s	value x + dx	RST t [min]
0,15	117	897	25,0
-0,15	-117	663	25,0
0,40	100	350	26,0
-0,30	-75	175	23,0
0,50	0,64	1,91	22,0
-0,25	-0,32	0,95	26,0
0,25	0,20	1,00	26,0
-0,25	-0,20	0,60	23,0
0,25	75,00	375,00	22,0
-0,50	-150,00	150,00	30,0

standard deviation			
dt/dx	s·dt/dx	(s·dt/dx) ²	
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
0,01	1,00	1,00	0,00
0,03	-2,00	0,00	4,00
-4,72	-3,00	0,00	9,00
-3,15	1,00	1,00	0,00
5,00	1,00	1,00	0,00
10,00	-2,00	0,00	4,00
-0,04	-3,00	0,00	9,00
-0,03	5,00	25,00	0,00
variancy(t) =		28,000	26,000
s(t) =		5,292	-5,099

Cumulatieve kansverdeling RST ontvluchtingsconcept



Thermische belasting stay-in-place-concept

PROBABILISTIC APPROACH RST THERMAL LOAD REQUIRED SAFE TIME SFC

RST: probabilistic (thermal load)

CASE: dwelling

FILE: basis10 - total natural fire scenario

SENSITIVITY ANALYSIS RST stochastische randcondities

			average x	t [min]	file:
q	vuurbelasting	MJ/m ²	780		11a
RHR	brandvermogensdichtheid	kW/m ²	250		11b
r	stoichiometrische constante	kg/kg	1,27		12a
Heff	verbrandingsefficiëntie	-	0,8		12b
tc	tijdconstante brandontwikkeling	s	300		13a
					13b
					14a
					14b
					15a
					15b
			RST	55,0	10

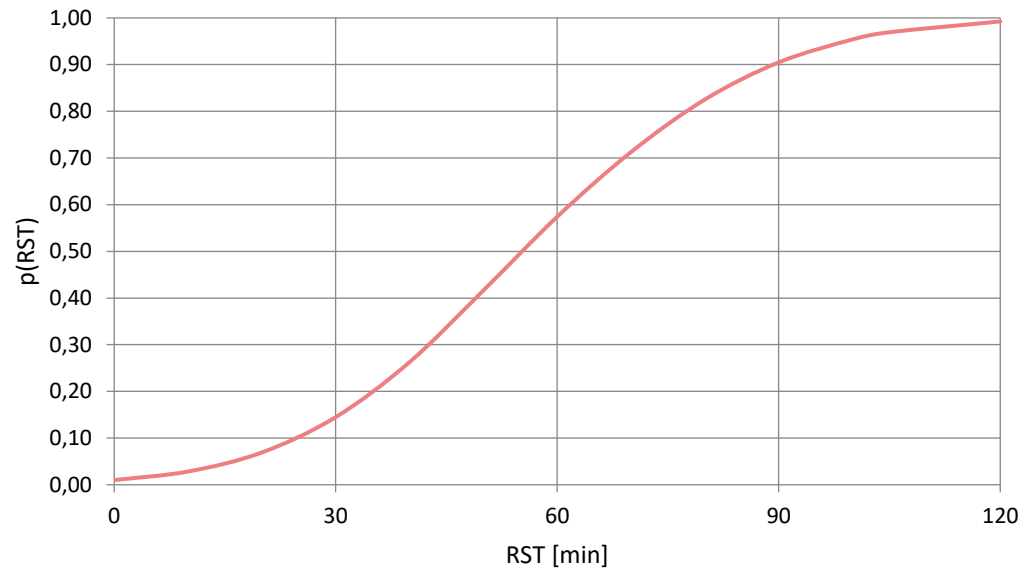
equivalente brandduur (SFC)
(opening factor worst case: fuel/oxygen controlled)

deterministic		
average x	t [min]	file:
780		11a
250		11b
1,27		12a
0,8		12b
300		13a
		13b
		14a
		14b
		15a
		15b
RST	55,0	10

probabilistic: sensitivity analysis			
variation v	st. deviation s	value x + dx	RST t [min]
0,14	109	889	63,0
-0,14	-109	671	48,0
0,40	100	350	44,0
-0,30	-75	175	70,0
0,50	0,64	1,91	47,0
-0,25	-0,32	0,95	60,0
0,25	0,20	1,00	75,0
-0,25	-0,20	0,60	37,0
0,25	75,00	375,00	55,0
-0,50	-150,00	150,00	55,0

standard deviation			
dt/dx	s·dt/dx	(s·dt/dx) ²	
0,07	8,00	64,00	0,00
0,06	-7,00	0,00	49,00
-0,11	-11,00	0,00	121,00
-0,20	15,00	225,00	0,00
-12,60	-8,00	0,00	64,00
-15,75	5,00	25,00	0,00
100,00	20,00	400,00	0,00
90,00	-18,00	0,00	324,00
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
variancy(t) =		714,000	558,000
s(t) =		26,721	-23,622

Cumulatieve kansverdeling RST stay-in-place-concept



Bijlage D opties concrete voorschriften in het Bbl stay-in-place-concept

Variant 1: Algemene functionele eis voor stay-in-place

Afdeling xx Stay-in-place

Functionele eis

Een woongebouw dat mede is bestemd voor een kwetsbare doelgroep die bij een brand in het gebouw moet kunnen verblijven is zodanig ingericht dat het woongebouw eenzelfde mate van brandveiligheid heeft als beoogd met paragraaf 2.12.1.

Variant 2: Specifieke functionele eis in combinatie met prestatie-eisen

Afdeling xx Stay-in-place

Functionele eis

In een woongebouw dat mede is bestemd voor een kwetsbare doelgroep kan bij brand gedurende langere tijd worden verbleven.

Prestatie-eisen

Artikel.....(Automatische blusinstallatie)

1. Een woongebouw dat mede is bestemd voor een kwetsbare doelgroep is voorzien van een automatische brandblusinstallatie.

De spreidichtheid van de sprinklerinstallatie bepaald volgens NEN xxxxx is afgestemd op het genormeerde brandvermogen in een woning als bedoeld in NEN xxxxx.

De automatische blusinstallatie is voor ingebruikname van het woongebouw voorzien van een geldig inspectiecertificaat dat is afgegeven op grond van het CCV-inspectieschema Brandbeveiliging.

Artikel...(weerstand tegen rookdoorgang)

De weerstand tegen rookdoorgang van een beschermd subbrandcompartiment naar een ander beschermd subbrandcompartiment is R.... (factor 2 beter) bepaald volgens NEN 6075.

De weerstand tegen rookdoorgang van een beschermd subbrandcompartiment naar een extra beschermde vluchtroutes is R..... (factor 2 beter) bepaald volgens NEN 6075.

Artikel.... (WBDBO)

De volgens NEN 6068 bepaalde weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag van een brandcompartiment naar een ander brandcompartiment is ten minste 90 minuten.

Artikel.... (brandwerendheid m.b.t. bezwijken)

In afwijking van bezwijkt een bouwconstructie bij brand in een brandcompartiment waarin de bouwconstructie niet ligt niet binnen de eis in ... +30 minuten.