

Brandveiligheid hoge gebouwen

Fase 1: De benodigde veilige tijd voor de
brandweerinzet (RST)



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

Colofon

© Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV), 2026

Auteurs	P. van Rede, A. Barreveld, G. Janssen, J. van der Graaf, L. De Witte, R. Weewer, R. van Herpen (TU/e)
Contactpersoon	G. Janssen
Opdrachtgever	Taskforce Veilige Hoogbouw
Contactpersoon	E. Lieben
Datum	30 maart 2026
Foto's	Brandweer Rotterdam-Rijnmond/Megin Zondervan

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.

Inhoud

Samenvatting	5
Abstract	8
Inleiding	11
1 Theoretisch kader	14
1.1 Verkennend onderzoek	14
1.2 Juridisch kader voor brandweerinzet	15
1.3 Andere kaders voor brandweerinzet	19
1.4 Brandweerinzet in hoge (woon)gebouwen	22
1.5 Monte Carlo simulaties	28
2 Methodologie RST-analyse	32
2.1 Opzet en methode	32
2.2 Uitgangspunten	34
2.3 Variabelen in Monte Carlo simulaties	40
2.4 Gevoeligheidsanalyse	43
2.5 Kwaliteit van het onderzoek	44
3 Resultaten RST-analyse	46
3.1 Beoordeling aantal iteraties Monte Carlo simulaties	46
3.2 Scenariospecifieke RST	47
3.3 Integrale RST	51
3.4 Conclusie RST-analyse	52
3.5 Resultaten gevoeligheidsanalyse	53
4 Conclusie	56
4.1 Brandweerinzet vanuit bouwregelgeving	56
4.2 Benodigde veilige tijd voor brandweerinzet (RST)	57
4.3 RST in de praktijk	59
5 Discussie	60
5.1 Uitgangspunten brandweerinzet	60
5.2 Methode	62
5.3 Slotbeschouwing	63
6 Literatuur	65
Bijlage 1: Overzicht van hoofd- en deelvragen fasen I t/m III	67
Bijlage 2: Brandveiligheids- voorzieningen 20 - 400 meter	68
Bijlage 3: Modelbrandweerinzetten	74
Bijlage 4: Kansverdelingen	77

Samenvatting

Het aantal hoge gebouwen in Nederland en de hoogte daarvan zijn de afgelopen jaren snel toegenomen. Dit gegeven, samen met een aantal recente branden in het buitenland, heeft geleid tot zorg bij de brandweer. Daarom heeft de Taskforce Hoogbouw van Brandweer Nederland het NIPV gevraagd onderzoek te doen. In 2022 is een rapport gepubliceerd waarin de repressieve onmogelijkheden in hoge gebouwen verkennend is onderzocht. Dit nieuwe onderzoek is een vervolg hierop. Het maakt als fase 1 onderdeel uit van een groter onderzoeksvoorstel dat als doel heeft om de repressieve (on)mogelijkheden in hoge gebouwen inzichtelijk te maken en indien noodzakelijk oplossingsvoorstellen te doen.

In dit deelonderzoek is onderzocht wat de huidige bouwregelgeving inhoudt voor hoge gebouwen en hoe de brandveiligheidsvoorzieningen die daaruit volgen een brandweerinzet faciliteren. Tevens zijn de brandweerinzet en bijbehorende tijdlijn in hoge gebouwen gekwantificeerd. Deze kwantificering wordt in dit onderzoek de benodigde veilige tijd voor brandweerinzet (RST) genoemd. Drie onderzoeksvragen stonden centraal:

1. Welke brandweerinzet wordt vanuit de huidige bouwregelgeving verwacht c.q. mogelijk gemaakt in (hoge) gebouwen?
2. Wat is de theoretische RST van een brandweerinzet bij een toenemende hoogte van gebouwen?
3. Welke onderdelen uit de theoretische RST kunnen op basis van de praktijkexperimenten worden geverifieerd en wat is de RST op basis van experimenten?

Deelvraag 1

In gebouwen zijn, op basis van wettelijke voorschriften, brandveiligheidsvoorzieningen aanwezig die de brandweer ondersteunen bij de inzet. De aanwezigheid van voorzieningen is grotendeels afhankelijk van de hoogte van het gebouw. Gebouwen kunnen met betrekking tot de brandweerinzet op basis van de hoogte als volgt worden ingedeeld: gebouwen tot 20 m, gebouwen van 20 tot 70 m en gebouwen hoger dan 70 m. De voorgeschreven voorzieningen per gebouwhoogte zijn van invloed op de wijze waarop een brandweerinzet plaatsvindt.

Op basis van de hoogte-indeling kunnen de beperkingen en ondersteunende voorzieningen als volgt worden samengevat:

Gebouwen tot 20 meter hoogte:

- > De brandweerinzet vindt plaats via de trap.
- > Er is geen afhankelijkheid van installaties in het gebouw
- > Er is geen ontruimingsalarminstallatie om evacuatie van personen te ondersteunen.

Gebouwen van 20 tot 70 meter:

- > De brandweerinzet inzet wordt ondersteund door een brandweerlift en blusleiding.
- > Als voorzieningen falen, kunnen de fysieke beperkingen van brandweermensen en de hoogtebeperkingen van het brandweermaterieel grote uitdagingen opleveren.
- > Er is geen ontruimingsalarminstallatie om evacuatie van personen te ondersteunen.

Gebouwen hoger dan 70 meter:

- > De brandweerinzet wordt ondersteund door meerdere brandweerliften en natte blusleidingen. Ook wordt gebruikgemaakt van communicatiemiddelen en een commandoruimte.
- > Als voorzieningen falen, kunnen de fysieke beperkingen van brandweermensen en meerdere beperkingen van het brandweermaterieel onoverbrugbare uitdagingen opleveren. Veel cruciale voorzieningen zijn daartoe dubbel uitgevoerd. Ook is er een sprinklerinstallatie die een brand in een vroeg stadium controleert.
- > Er is een ontruimingsalarminstallatie met intercomfunctie voor de brandweer die een evacuatie van personen kan ondersteunen.

Om een effectieve inzet uit te voeren, past de brandweer basisprincipes toe en beantwoordt drie cruciale vragen tijdens de verkenning over locatie, bereikbaarheid en blussing van de brand. Op basis hiervan wordt een passende inzetactie gekozen volgens het kwadrantenmodel. Een effectieve offensieve buiteninzet is bij een brand op hoogte vanaf ongeveer 30 meter met een gangbaar redvoertuig niet meer mogelijk. Dit betekent dat voor een inzet in hogere gebouwen uitgegaan moet worden van een offensieve of defensieve binneninzet.

Wanneer de aanwezige voorzieningen functioneren zoals bedoeld, blijft de brand bij aankomst van de brandweer beperkt tot één woning. Er vindt beperkt rookverspreiding plaats naar vlucht- en aanvalsroutes. Hierdoor kan de brandweer de getroffen woning veilig bereiken en een offensieve binneninzet uitvoeren. Dit betekent dat de brand doorgaans binnen afzienbare tijd na ontstaan onder controle is.

Als voorzieningen niet functioneren zoals bedoeld en de brand zich uitbreidt naar andere woningen en/of rook zich door het gebouw verspreidt, is een veilige offensieve binneninzet niet (altijd) mogelijk. De brandweer moet dan overschakelen naar een defensieve binneninzet of zelfs een buiteninzet. Dit kan ertoe leiden dat een volledige ontruiming van het gebouw die door de brandweer ondersteund moet worden noodzakelijk wordt.

Deelvraag 2

De analyse van de RST is uitgevoerd met een probabilistische methode waarbij Monte Carlo simulaties zijn gebruikt. De uitgangspunten daarbij zijn gebaseerd op literatuur of zijn ingeschat. Om de RST te kunnen bepalen, is gebruikgemaakt van modelbrandweerinzetten die bestaan uit een aantal opeenvolgende of parallelle acties of gebeurtenissen. Er zijn twee verschillende methodieken gebruikt: een scenariospecifieke en een integrale.

Scenariospecifieke RST

In de scenariospecifieke RST is onderscheid gemaakt in scenario's waarin alle voorzieningen werken (scenario 1) of een of meerdere brandveiligheidsvoorzieningen falen (scenario's 2 tot en met 4). Het blijkt dat de RST toeneemt met de hoogte van het gebouw. Ook blijkt dat het correct werken of falen van de brandveiligheidsvoorzieningen van grote invloed is op de RST. Het belang van correct werkende brandveiligheidsvoorzieningen neemt toe met de hoogte van het gebouw. In specifieke situaties (scenario's 3 en 4 in gebouwen hoger dan 70 meter) leidt het falen van de voorzieningen tot een scenario waarin geen effectief brandweeroptreden meer mogelijk is.

Integrale RST

In de integrale RST zijn de scenario's uit de scenariospecifieke RST geïntegreerd in één RST per gebouwhoogte, waarbij de betrouwbaarheid van de brandveiligheidsvoorzieningen is gebruikt. Er kan worden geconcludeerd dat de RST toeneemt met de hoogte van het gebouw. In gebouwen hoger dan 70 meter neemt de RST minder snel toe dan in gebouwen die lager zijn dan 70 meter. Dit komt door de betrouwbaarheid van de brandveiligheidsvoorzieningen, die in gebouwen hoger dan 70 meter hoger is vanwege redundantie van deze voorzieningen. Als gevolg hiervan is de theoretische RST in gebouwen hoger dan 70 meter en lager dan 300 meter ongeveer gelijk aan de RST in gebouwen tot 70 meter. In gebouwen hoger dan 300 meter is er een toename van de theoretische RST ten opzichte van gebouwen tot 70 m. De theoretische RST in een gebouw met een hoogte van 20 meter bedraagt 34 minuten en neemt toe tot 40 minuten bij een gebouw met een hoogte van 400 meter. De aanwezige brandveiligheidsvoorzieningen in het gebouw zijn bij een toenemende hoogte in toenemende mate van invloed op de theoretische RST en dragen bij aan een veilige en effectieve brandweerinzet.

Deelvraag 3

De derde deelvraag omvat experimenten; omdat die nog niet zijn uitgevoerd, kan deze vraag dus slechts deels beantwoord worden.

Er is naar voren gekomen dat voor een aantal onderdelen in de modelbrandweerinzetten niet of nauwelijks data beschikbaar zijn. Daarvoor zijn inschattingen gemaakt. Die inschattingen zijn van grote invloed op de theoretische RST. Daarom kan het zinvol zijn om deze onderdelen op basis van de praktijk te verifiëren. Het betreft de volgende onderdelen:

- > Handelingen bij aankomst (rondomverkenning, afleggen van slangen).
- > Handelingen op de brandverdieping (verkenning van de brandverdieping, aansluiten op de watervoorziening, toegang verschaffen tot de woning).
- > Betrouwbaarheid van brandveiligheidsvoorzieningen in gebouwen lager dan 70 meter. De exacte betrouwbaarheid van brandveiligheidsvoorzieningen in gebouwen hoger dan 70 meter is vanwege redundantie in de voorzieningen minder relevant.

Abstract

The number of high-rise buildings in the Netherlands and their heights have rapidly increased in recent years. This, combined with several recent fires abroad, has raised concerns among the fire brigade. Therefore, the Taskforce Highrise of the Dutch requested the NIPV to conduct research. In 2022, a report was published that explored the operational challenges in high-rise buildings. This new study is a follow-up and forms phase 1 of a larger research proposal aimed at identifying the operational (im)possibilities in high-rise buildings and, if necessary, proposing solutions.

This part of the study examines the current building regulations for high-rise buildings and how the resulting fire safety provisions facilitate fire brigade operations. Additionally, the fire brigade operations and associated timeline in high-rise buildings have been quantified. This quantification is referred to in this study as the required safe time for fire brigade operations (RST). Three sub-questions were formulated:

4. What fire brigade operations are expected or made possible by current building regulations in (high-rise) buildings?
5. What is the theoretical RST of a fire brigade operation with increasing building height?
6. Which components of the theoretical RST can be verified based on practical experiments, and what is the RST based on experiments?

Sub-question 1

In buildings, fire safety provisions are present based on legal requirements that support the fire brigade during operations. The presence of provisions largely depends on the height of the building. Buildings can be classified based on height concerning fire brigade operations as follows: buildings up to 20 m, buildings from 20 to 70 m, and buildings higher than 70 m. The prescribed provisions per building height influence the manner of fire brigade operations.

Based on the height classification, the limitations and supporting provisions can be summarized as follows:

- > Buildings up to 20 meters high:
 - Fire brigade operations take place via the stairs.
 - There is no dependence on installations in the building.
 - There is no evacuation alarm system to support the evacuation of people.
- > Buildings from 20 to 70 meters:
 - Fire brigade operations are supported by a fire lift and a dry riser.
 - If provisions fail, the physical limitations of firefighters and the height limitations of fire brigade equipment can pose significant challenges.
 - There is no evacuation alarm system to support the evacuation of people.
- > Buildings higher than 70 meters:
 - Fire brigade operations are supported by multiple fire lifts and wet risers. Communication tools and a command room are also used.

- If provisions fail, the physical limitations of firefighters and multiple limitations of fire brigade equipment can pose insurmountable challenges. Many crucial provisions are therefore made redundant. There is also a sprinkler system that controls a fire at an early stage.
- There is an evacuation alarm system with an intercom function for the fire brigade that can support the evacuation of people.

To perform an effective operation, the fire brigade applies basic principles and answers three crucial questions during the reconnaissance about the location, accessibility, and extinguishing of the fire. Based on this, an appropriate deployment tactic is chosen according to the quadrant model. An effective offensive external operation is no longer possible for a fire at a height of approximately 30 meters with a standard rescue vehicle. This means that for operations in higher buildings, an offensive or defensive internal operation must be assumed.

When the provisions function as intended, the fire is limited to one apartment upon the fire brigade's arrival. There is limited smoke spread to escape and attack routes. This allows the fire brigade to safely reach the affected apartment and perform an offensive internal operation. This means that the fire is generally under control within a short time after it starts. If provisions do not function as intended and the fire spreads to other apartments and/or smoke spreads through the building, a safe offensive internal operation is not always possible. The fire brigade must then switch to a defensive internal operation or even an external operation. This may necessitate a complete evacuation of the building supported by the fire brigade.

Sub-question 2

The analysis of the RST was conducted using a probabilistic method with Monte Carlo simulations. The assumptions are based on literature or estimates. To determine the RST, model fire brigade operations consisting of several consecutive or parallel actions or events were used. Two different methodologies were employed: a scenario-specific and an integral approach.

Scenario-specific RST:

In the scenario-specific RST, a distinction is made between scenarios where all provisions work (scenario 1) or one or more fire safety provisions do not work (scenarios 2 to 4). It appears that the RST increases with the height of the building. It also appears that the correct or incorrect functioning of fire safety provisions significantly impacts the RST. The importance of correctly functioning fire safety provisions increases with the height of the building. In specific situations (scenarios 3 and 4 in buildings higher than 70 meters), the failure of provisions leads to a scenario where effective fire brigade operations are no longer possible.

Integral RST:

In the integral RST, the scenarios from the scenario-specific RST are integrated into one RST per building height, using the reliability of fire safety provisions. It can be concluded that the RST increases with the height of the building. In buildings higher than 70 meters, the RST increases less rapidly than in buildings lower than 70 meters. This is due to the reliability of fire safety provisions, which is higher in buildings higher than 70 meters due to redundancy of these provisions. As a result, the theoretical RST in buildings higher than 70

meters and lower than 300 meters is approximately equal to the RST in buildings up to 70 meters. In buildings higher than 300 meters, there is an increase in the theoretical RST compared to buildings up to 70 meters. The theoretical RST in a building with a height of 20 meters is 34 minutes and increases to 40 minutes in a building with a height of 400 meters. The fire safety provisions in the building increasingly influence the theoretical RST with increasing height and contribute to a safe and effective fire brigade operation.

Sub-question 3

The third sub-question involves experiments; since these have not yet been conducted, this question can only be partially answered.

It has emerged that for several components in the model fire brigade operations, little or no data is available. Estimates have been made for these components. These estimates significantly impact the theoretical RST. Therefore, it may be useful to verify these components based on practice. These components include:

- > Actions upon arrival (reconnaissance, laying hoses).
- > Actions on the fire floor (reconnaissance of the fire floor, connecting to the water supply, gaining access to the apartment).
- > Reliability of fire safety provisions in buildings lower than 70 meters. The exact reliability of fire safety provisions in buildings higher than 70 meters is less relevant due to redundancy in the provisions.

Inleiding

Aanleiding

De afgelopen decennia is het aantal hoge gebouwen steeds verder toegenomen en neemt bovendien de hoogte van gebouwen toe. Een analyse van de vijfhonderd hoogste gebouwen in Nederland laat zien dat er steeds vaker meerdere gebruiksfuncties binnen een gebouw voorkomen en dat hoge gebouwen complexer worden (*Hoog 500*, 2026). Samen met een aantal recente branden in het buitenland heeft deze ontwikkeling geleid tot zorgen bij de brandweer.¹ De brandweer vraagt zich af of een inzet nog voldoende ondersteund wordt door de brandveiligheidsvoorzieningen in het gebouw, en of een veilige en effectieve brandbestrijding in hoge gebouwen überhaupt nog mogelijk is.

De Raad van Commandanten en Directeuren Veiligheidsregio (RCDV) van de brandweer ziet voor zichzelf een opgave om te zoeken naar mogelijkheden om de brandveiligheid in hoge gebouwen te verbeteren, gezien vanuit het repressieve optreden. In de startnotitie *Veilige Hoogbouw*² is dit toegelicht. Vanwege deze opgave is de Taskforce Veilige Hoogbouw opgericht. In opdracht van deze taskforce hebben de lectoraten Brandweerkunde en Brandveiligheidskunde van het Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV) in 2022 een vooronderzoek gedaan naar de brandveiligheid in hoogbouw (Leene et al., 2022, p. 45). De conclusie uit dit onderzoek (p.45) was de volgende:

“Een brand in hoge gebouwen kan niet adequaat worden bestreden met de huidige tactische en operationele doctrine brandbestrijding, en bestaande bouwregels zijn ontoereikend.”

Welke aanpassingen in de bouwregelgeving nodig zijn om adequate brandbestrijding wél mogelijk te maken, kon op basis van dit vooronderzoek nog niet worden beantwoord. In het voorliggende rapport, dat deel uitmaakt van een serie van drie samenhangende rapporten, wordt daar invulling aan gegeven.

Doel, hoofd- en deelvragen

Het doel van het huidige onderzoek is om de brandweerinzet in hoge gebouwen te analyseren en in tijd kwantificeren. Aan de hand daarvan wordt bepaald of er aanvullende voorzieningen voor een snelle en effectieve brandweerinzet nodig zijn. Om dit doel te bereiken, is de volgende hoofdvraag geformuleerd:

Welke aanpassingen in de regelgeving zijn nodig om de brandveiligheid in hoge gebouwen te verbeteren?

In overleg met de Taskforce Veilige Hoogbouw is besloten om dit onderzoek nader te verdelen in drie onderzoeksfases. Elke fase wordt met een afzonderlijke rapportage

¹ Grenfell tower, London (2017) Twin Parks, New York (2022) Residential complex, Valencia (2024).

² Agendapunt 14 vergadering RCDV d.d. 18 juni 2021.

afgesloten. Na afronding van iedere fase wordt met de taskforce afgestemd wanneer de volgende fase wordt ingezet. De drie te onderscheiden fasen zijn de volgende:

- > *Fase 1*: heeft betrekking op de voorgeschreven brandveiligheidsvoorzieningen bij de verschillende gebouwhoogtes. Daarnaast worden de brandweerinzet en de theoretische RST beschouwd.
- > *Fase 2*: heeft betrekking op de AST. Tevens wordt een vergelijking tussen de RST en de AST gemaakt.
- > *Fase 3*: heeft betrekking op voorzieningen om de AST te verlengen en mogelijke innovaties om de RST verkorten met als doel om de brandveiligheidsvoorzieningen van hoge gebouwen beter af te stemmen op de brandweerinzet.

Dit rapport omvat de eerste fase van het onderzoek. Hierin wordt de huidige brandweerinzet in hoge gebouwen geanalyseerd aan de hand van de voorgeschreven brandveiligheidsvoorzieningen. Daarnaast wordt de tijdlijn van de brandweerinzet in hoge gebouwen gekwantificeerd (de RST, zie het blauwe kader hieronder). Hiertoe is voor deze fase een drietal deelvragen geformuleerd:

1. Welke brandweerinzet wordt vanuit de huidige bouwregelgeving verwacht c.q. mogelijk gemaakt in (hoge) gebouwen?
2. Wat is de theoretische RST van een brandweerinzet bij een toenemende hoogte van gebouwen?
3. Welke onderdelen uit de theoretische RST kunnen op basis van de praktijkexperimenten worden geverifieerd en wat is de RST op basis van experimenten?

De derde deelvraag omvat deels experimenten naar de brandweerinzet. Die experimenten zijn vooralsnog niet uitgevoerd; mogelijk gebeurt dit in een latere fase. De derde deelvraag wordt in dit rapport dus maar deels beantwoord. In bijlage 1 is een overzicht gegeven van alle onderzoeks- en deelvragen van fase 1 tot en met fase 3.

AST en RST

Dit deelrapport beperkt zich tot de kwantificering van de benodigde veilige tijd (Required Safe Time = RST) in relatie tot brandweeroptreden in hoge gebouwen. De bepaling van de RST wordt vaak uitgevoerd samen met de bepaling van de AST (Available Safe Time). In het kader van dit onderzoek worden de AST en de RST als volgt gedefinieerd:

- > AST: de veilige tijd die beschikbaar is voor brandbestrijding in hogere gebouwen. De AST wordt bepaald door de effecten van brand zoals rookverspreiding.
- > RST: de veilige tijd die nodig is voor brandbestrijding in hogere gebouwen. De RST wordt bepaald door het brandweeroptreden.

De hier beschreven AST en RST zijn theoretisch van aard. Ze zijn bedoeld om op een systematische manier de brandweerinzet in hoge gebouwen te beoordelen.

Dit rapport beperkt zich tot de bepaling van de RST. Een bepaling en een vergelijking met de AST gebeuren in een latere onderzoeksfase. Uit de vergelijking tussen de AST en de RST zal uiteindelijk blijken of een veilig brandweeroptreden nog mogelijk is en welke aanpassingen er nodig zijn om veilig brandweeroptreden mogelijk te maken

Afbakening

In deze paragraaf worden de kaders van het onderzoek gedefinieerd. Deze kaders hebben zowel betrekking op het gebouw als op de uit te voeren onderzoeksactiviteiten:

- > De voorschriften voor een 'nieuw te bouwen bouwwerk' van het Bbl³ zijn bepalend voor de brandveiligheidsvoorzieningen die in een gebouw aanwezig zijn.
- > Het onderzoek beperkt zich tot woongebouwen (woonfuncties). Gebouwen waarin zich (ook) andere functies bevinden zoals kantoren, winkels en hotels, blijven in dit onderzoek buiten beschouwing.
- > Het onderzoek beperkt zich tot een brand in een woning. Een brand in een andere ruimte, zoals de gemeenschappelijke verkeersruimte of in een constructie zoals de gevel worden in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.
- > Het onderzoek beperkt zich tot de tijd die nodig is voor een brandweerinzet. De inzettaken zijn in principe het bestrijden van brand en redden van achtergebleven personen. Andere taken, zoals de ondersteuning bij een eventuele gebouwontruiming, zijn buiten beschouwing gelaten.
- > Het onderzoek beperkt zich tot de benodigde veilige tijd voor brandweerinzet (RST) tot aan het moment waarop de brandweer kan beginnen met de inzet. De tijd die nodig is voor toetreding tot de woning en het daadwerkelijk blussen van de brand is daarbij niet meegenomen.

Leeswijzer

In hoofdstuk 1 worden op hoofdlijnen de belangrijkste bevindingen beschreven uit het rapport *Brandveiligheid in hoogbouw. Een verkennend onderzoek naar de (on)mogelijkheden van repressief optreden in hoge gebouwen* (Leene et al., 2022). Bovendien vindt een beschouwing van de wettelijke bouwvoorschriften (Bbl) plaats en wordt beschreven hoe de brandweerinzet er bij verschillende gebouwhoogtes uitziet.

In hoofdstuk 2 worden de algemene opzet van het onderzoek, de gebruikte onderzoeksmethode en analyse behandeld.

Hoofdstuk 3 bevat een analyse van de benodigde inzettijd (RST), uitgaande van de huidige wettelijk voorgeschreven brandveiligheidsvoorzieningen.

In hoofdstuk 4 worden de deelvragen beantwoord en worden de eerste voorlopige conclusies getrokken. Tot slot is een discussie opgenomen.

³ Bbl: Besluit bouwwerken leefomgeving.

1 Theoretisch kader

In dit hoofdstuk wordt het theoretisch kader van het onderzoek uiteengezet. Hiertoe wordt in paragraaf 1.1 een korte samenvatting gegeven van het eerder uitgevoerde verkennende onderzoek. Daarbij is tevens beschreven op welke vragen het onderzoek destijds nog geen antwoord kon geven. Vervolgens worden in paragraaf 1.2 de uitgangspunten uit de juridische kaders beschreven. In paragraaf 1.3 komen de generieke uitgangspunten van de brandweerinzet aan bod, waarna in paragraaf 1.4 de brandweerinzet in hoge gebouwen wordt beschouwd.

1.1 Verkennend onderzoek

In het verkennende onderzoek is de brandweerinzet in hoogbouw reeds onderzocht. De resultaten zijn beschreven in het rapport *Brandveiligheid in hoogbouw. Een verkennend onderzoek naar de (on)mogelijkheden van repressief optreden in hoge gebouwen* (Leene et al., 2022). In deze paragraaf wordt een samenvatting van de destijds getrokken conclusies gegeven. In het verkennende onderzoek stond de volgende hoofdvraag centraal:

“In hoeverre kan een brand in hoge gebouwen repressief worden bestreden gegeven de huidige regelgeving voor hoogbouw, en welke aanpassingen in de regelgeving zijn eventueel nodig om die te verbeteren?”

Er is geconcludeerd dat “een brand in hoge gebouwen met de huidige tactische en operationele doctrine niet adequaat kan worden bestreden en de huidige bouwvoorschriften ontoereikend zijn” (Leene et al., 2022, p. 3). Daarbij wordt een aantal aspecten benoemd die een negatieve invloed kunnen hebben op een brandweerinzet:

- > lange aanvalsweg
- > tijdrovende verkenning
- > capaciteitsbeperking bij ontruiming
- > mogelijke communicatieproblemen
- > mogelijk falen van cruciale voorzieningen zoals brandweerlift en blusleiding
- > beperkte bereikbaarheid voor materieel gezien de stedelijke verdichting.

Ook de beperkte geoefendheid in brandbestrijding in hoge gebouwen en het ontbreken van een goed handelingsperspectief zijn in het vooronderzoek genoemd als redenen die kunnen resulteren in een minder effectieve brandweerinzet. “Dit levert risico’s op voor zowel gebouwgebruikers als het brandweerpersoneel” (Leene et al., 2022, p. 3).

Uit het vooronderzoek volgt niet welke aanpassingen in de regelgeving noodzakelijk zijn. Wel wordt in kwalitatieve zin gesteld dat hoe hoger een gebouw is, hoe langer het duurt voordat de brandweer een effectieve inzet kan uitvoeren. Hierbij wordt verwezen naar de inzet via een trap en de capaciteit van de brandweerlift. Er wordt geconcludeerd dat “aanvullende voorzieningen moeten worden gerelateerd aan het tijdpad van de

brandweerinzet: hoe langer de verwachte inzetijd, hoe zwaarder de aanvullende maatregelen” (Leene et al., 2022, p. 4).

1.2 Juridisch kader voor brandweerinzet

In het onderzoeksrapport van het verkennend onderzoek (Leene et al., 2022) worden de juridische kaders van brandveiligheidsvoorzieningen in hoge gebouwen al geschetst. In deze paragraaf worden daarom alleen de meest relevante onderdelen belicht.

In de Omgevingswet en de daardoor aangestuurde Algemene Maatregel van Bestuur, het *Besluit bouwwerken leefomgeving* (Bbl) zijn de technische doel- en middelvoorschriften opgenomen waaraan alle nieuw te bouwen én bestaande bouwwerken in Nederland moeten voldoen. Een deel van de bouwvoorschriften heeft betrekking op brandveiligheid. In onderstaande paragrafen worden de belangrijkste uitgangspunten toegelicht.

1.2.1 Overheidsdoelen en normatief brandverloop

Aan de brandveiligheidsvoorschriften van het Bbl liggen twee overheidsdoelen ten grondslag. Deze zijn vermeld in de toelichting op het Bbl (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2024, pp. 186–187) en zijn:

- > voorkomen van slachtoffers (gewonden en doden)
- > voorkomen dat een brand zich uitbreidt naar bouwwerken op andere percelen.

Volgens de toelichting zijn andere doelen, zoals het behouden van het bouwwerk, het voorkomen van schade aan het milieu, monumenten of maatschappelijke voorzieningen, geen doelstellingen van het Bbl. De twee doelstellingen van het besluit zijn nader uitgewerkt in de verschillende doel- en middelvoorschriften

Aan beide doelstellingen ligt een viertal algemene uitgangspunten ten grondslag die ‘het normatief brandverloop’ worden genoemd. Deze uitgangspunten zijn:

- > 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 de 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 heeft de brand binnen 60 minuten na het ontstaan onder controle, hetgeen inhoudt dat voorkomen wordt dat de brand zich verder uitbreidt. Op dat moment moeten de laatste door de brand bedreigde personen met behulp van de brandweer zijn gered.

De voorschriften uit het Bbl zijn gebaseerd op deze algemene uitgangspunten voor wat betreft het brandverloop. Binnen de bovengenoemde uitgangspunten is er een nadrukkelijke relatie met de brandweerinzet. Die heeft als taak om de brand te controleren en achtergebleven personen te redden. Er kan geconcludeerd worden dat er een relatie bestaat tussen de doelen van de voorschriften in het Bbl en de brandweerinzet.

Relatie voorschriften en brandweerinzet

In het verleden is er altijd een relatie geweest tussen de brandveiligheidsvoorschriften en het brandweeroptreden. Zo werd tussen 1986 en 1992 een doodlopend eind van een vluchtroute toegestaan, indien de gemeentelijke brandweer over een redvoertuig beschikte. Daarbij werd voorbijgegaan aan de mogelijkheid dat het redvoertuig tijdens de brand mogelijk helemaal niet beschikbaar zou zijn (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2020, p. 9)

Met de introductie van Bouwbesluit 1992 kwam hier verandering in en is de koppeling tussen de voorschriften met betrekking tot vluchtveiligheid en het optreden van de brandweer losgelaten. Met andere woorden: bewoners moesten zelfstandig kunnen vluchten. In andere brandveiligheidsvoorschriften bleef de relatie tussen het voorschrift en het brandweeroptreden echter aanwezig. Zo gaf het Bouwbesluit 1992 aan dat bij gebouwen tot 20 meter de brandweer via trappen “met geëigend materieel” in het gebouw “voldoende snel” (Bouwbesluit 1992) kan optreden. Bij hogere gebouwen werden een droge blusleiding en brandweerlift voorgeschreven ter ondersteuning van een snelle en effectieve inzet.

Er zijn echter ook voorbeelden waarbij de relatie minder expliciet aanwezig is: aan de hand van het normatief brandverloop wordt verondersteld dat de brandweer de brand “binnen zestig minuten na het ontstaan van de brand onder controle heeft” (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2024, pp. 186–187). Een voorgeschreven weerstand tegen branddoorslag van 60 minuten is daarmee te relateren aan de brandweerinzet.

1.2.2 Bouwperiode

Het Bbl kent verschillende voorschriften voor nieuw te bouwen bouwwerken, te verbouwen bouwwerken en voorschriften voor bestaande bouwwerken. De voorschriften voor bestaande bouw zijn minder streng dan voor nieuwbouw. In het *Infoblad bestaande portiekflats* wordt het verschil tussen de voorschriftenniveaus nader toegelicht:

De reden dat er een niveau bestaande bouw met prestatie-eisen is geïntroduceerd is tweeledig: de wetgever vond het belangrijk dat gemeenten de mogelijkheid hadden om in te grijpen bij bestaande gebouwen. Daarnaast vond de wetgever het ook belangrijk dat een gebouweigenaar moest weten wanneer hij in ieder geval voldeed (rechtszekerheid).

Er is voor de inhoud van de voorschriften generiek een afweging gemaakt tussen enerzijds verworven rechten (door de laagste eisen die volgens de toelichting van het Bouwbesluit sinds 1901 ooit gegolden hebben als uitgangspunt te hanteren) en anderzijds veiligheid (door voor een aantal aspecten een hogere eis te stellen dan wat er ooit gegolden heeft) (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2020, p. 5).

Daarnaast kent het Bbl voorschriften voor tijdelijke bouwwerken. Deze worden in dit rapport niet nader toegelicht

1.2.3 Hoogtebeperking

De concrete middelvoorschriften in het Bbl zijn van toepassing op bouwwerken tot 70 meter. Voor hogere gebouwen moet volgens 4.89, lid 1 van het Bbl eenzelfde mate van brandveiligheid aannemelijk worden gemaakt als beoogd met verschillende paragrafen van het Bbl (sub a) óf zijn moeten voldoen aan de richtlijnen uit de *Handreiking brandveiligheid in hoge gebouwen*, 2014 (SBRCURnet, 2014) (sub b). Door de aansturing vanuit het Bbl, kunnen de

richtlijnen uit deze handreiking beschouwd worden als grondslag voor wat betreft de aanwezige voorzieningen. Deze aansturing leidt in praktijk echter ook tot onduidelijkheid.

Onduidelijkheden over de handreiking Brandveiligheid in hoge gebouwen

In artikel 4.89, lid 1 sub b van het Bbl wordt de *Handreiking brandveiligheid in hoge gebouwen, 2014* (SBRCURnet, 2014) aangestuurd. De aansturing leidt in praktijk echter tot onduidelijkheid over de wettelijke status. Hiervoor zijn meerdere redenen.

In de handreiking wordt gesteld dat weliswaar aansluiting wordt gezocht bij de voorschriften, maar dat het document zelf geen wettelijke status heeft. De handreiking stelt hierover het volgende:

- > De handreiking geeft concrete richtlijnen voor woonfuncties, kantoorfuncties en logiesfuncties “waarmee aansluiting plaatsvindt bij de Nederlandse publieksrechtelijke regelgeving” (SBRCURnet, 2014, p. 8).
- > De handreiking geeft aan dat “de handreiking hoogbouw niet de status heeft van formele regelgeving en dat die hieraan ook niet mag worden toegekend”(SBRCURnet, 2014, p. 8).

Ten tijde van de publicatie van de handreiking was dit ook de geldende situatie; er vond toen immers geen aansturing vanuit wettelijke voorschriften plaats. Dit is veranderd met de introductie van de Omgevingswet, per 1 januari 2024. De aangestuurde handreiking is hier niet op aangepast.

Bovendien geeft de handreiking de mogelijkheid om gemotiveerd af te wijken van de eigen richtlijnen. De handreiking stelt hierover het volgende:

- > De handreiking “geeft handvatten om gemotiveerd af te kunnen wijken van de in deze handreiking aangegeven richtlijnen, zodat maatwerkoplossingen voor de brandveiligheid van een hoog gebouw mogelijk zijn”(SBRCURnet, 2014, p. 8).

Tot slot wordt opgemerkt dat in de handreiking verouderde voorschriften ten opzichte van het Bbl zijn opgenomen. Voorbeelden zijn:

- > voorschriften voor wat betreft het aantal afdalingpunten van een blusleiding
- > voorschriften voor wat betreft een zelfsluitende woningtoegangsdeur in geval van brand
- > eisen voor wat betreft de verspreiding van rook⁴
- > eisen voor wat betreft de brandweertoetreding.

Hoewel artikel 4.89 lid b aangeeft dat met het toepassen van de richtlijnen uit de handreiking een zelfde mate van brandveiligheid wordt beoogd, maar dat dit bij strikte toepassing op onderdelen kan leiden tot een lager kwaliteitsniveau dan met de voorschriften uit het Bbl.

Voor gebouwen hoger dan 200 meter zijn in de handreiking geen concrete (middel)voorschriften beschikbaar. Er dient dan volgens 4.89, lid 1 sub a eenzelfde mate van brandveiligheid als beoogd met verschillende paragrafen van het Bbl aannemelijk te worden gemaakt. De wijze waarop dit gebeurt, is aan de initiatiefnemer. Het bevoegd gezag beoordeelt of eenzelfde mate van brandveiligheid aannemelijk is gemaakt.

Gebruiksfunctie

Het gebruik van een gebouw is (mede) bepalend voor de voorschriften die van toepassing zijn. Zo worden andere eisen gesteld aan (bijvoorbeeld) een ziekenhuis met bedgebieden dan aan (bijvoorbeeld) een opslaggebouw, waar het verblijf van personen veelal van ondergeschikt belang is. Hiertoe zijn de zogenaamde ‘gebruiksfuncties’ geïntroduceerd. Enkele voorbeelden van gebruiksfuncties zijn:

- > woonfunctie
- > gezondheidszorgfunctie

⁴ En eisen m.b.t. het verschil tussen de criteria voor rookdoorlatendheid van een constructiedeel volgens Sa en Sm en de (huidige) criteria voor rookwerendheid van een scheidingsconstructie Ra en R200.

- > kantoorfunctie
- > industrie functie.

Zowel in het Bbl als de handreiking van SBRCURnet kunnen afhankelijk van de gebruiksfunctie verschillende voorschriften van toepassing zijn in relatie tot de brandweerinzet.

1.2.4 Brandveiligheidsvoorzieningen in hoge gebouwen

In de bouwregelgeving zijn verschillende voorschriften opgenomen die leiden tot voorzieningen die een brandweerinzet ondersteunen. Daarbij is een onderscheid te maken in voorzieningen die direct bedoeld zijn voor de brandweerinzet en voorzieningen die een ander doel hebben, maar ook bijdragen aan een veilige en effectieve brandweerinzet. Er zijn drie gebouwhoogtes te onderscheiden die medebepalend voor de brandveiligheidsvoorzieningen die gerealiseerd moeten worden. In onderstaande opsomming staan de belangrijkste brandveiligheidsvoorzieningen bij de verschillende gebouwhoogtes beschreven die de brandweerinzet ondersteunen. In bijlage 2 is een volledig overzicht opgenomen van brandveiligheidsvoorzieningen, inclusief de effecten op de brandweerinzet:

- > *Gebouwen tot 20 meter:*
 - weerstand tegen bezwijken van vluchtroutes en bouwconstructie
 - beperking van de ontwikkeling van brand en rook
 - brand- en rookwerende scheidingsconstructies
 - een of meer (vlucht- en) aanvalsroutes
 - rookmelders in de verkeersruimten van woningen
 - voorwaarden gesteld aan de bereikbaarheid van opstelplaatsen en bluswatervoorziening.
- > *Gebouwen tussen 20 en 70 meter (boven op de voorzieningen tot 20 m.):*
 - brandweerlift (1)⁶
 - droge blusleiding (1)⁵
 - sluis trappenhuis.
- > *Gebouwen tussen 70 en 200 meter (Boven op en in plaats van voorzieningen tot 70 m.):*
 - noodverlichting in gemeenschappelijke vluchtroutes
 - automatische detectie van brand door sprinkler en met automatische melders
 - doormelding van brandmeldingen naar de regionale meldkamer⁵
 - ontruimingsalarminstallatie met communicatiemogelijkheid voor de brandweer
 - ontruimingsconcepten voor een gehele of gefaseerde ontruiming
 - overdrukinstallatie in de trappenhuisen
 - automatische blusinstallatie (sprinkler)
 - brandweerlift (2)⁶
 - natte blusleidingen (2)⁶
 - communicatievoorziening tussen de commandoruimte en verdiepingen⁴
 - commandoruimte met bediening van installaties en gebouwinformatie.⁴

Bij gebouwen hoger dan 200 meter is de *Handreiking brandveiligheid in hoge gebouwen* (SBRCURnet, 2014) niet meer toepasbaar en moet er volgens 4.89, lid 1 sub a eenzelfde mate van brandveiligheid als beoogd met verschillende paragrafen van het Bbl aannemelijk worden gemaakt. De wijze waarop dit gebeurt, is aan de initiatiefnemer. Er is daarmee geen concreet overzicht van voorgeschreven brandveiligheidsvoorzieningen aanwezig.

⁵ Voorzieningen die specifiek bedoeld zijn voor de brandweerinzet.

Rotterdamse Brandveiligheidsvisie Hoogbouw & Hoogbouw-plus

Voor hogere gebouwen tot 400 meter kan gebruik worden gemaakt van de *Rotterdamse Brandveiligheidsvisie Hoogbouw & Hoogbouw-plus* (van Houwelingen et al., 2022). In dit document zijn richtlijnen gegeven voor brandveiligheidsvoorzieningen die gebruikt kunnen worden om aannemelijk te maken dat er sprake is van eenzelfde mate van brandveiligheid als is beoogd met de wettelijke doelen middelloosvoorschriften.

1.3 Andere kaders voor brandweerinzet

De brandweer hanteerde in het verleden een inzetmethode waarbij de brandbestrijding in de brandruimte plaatsvond, de zogenaamde offensieve binneninzet. Dat gold als standaard brandweeroptreden. Pas wanneer die niet effectief of veilig bleek, werd teruggetrokken en buiten ingezet om verdere branduitbreiding te voorkomen. Recent heeft de brandweer meer opties ontwikkeld, omdat de binneninzet bij moderne branden tot grotere risico's leidt dan voorheen. Deze ontwikkelingen zijn vastgelegd in een aantal generiek toepasbare basisprincipes van brandbestrijding evenals in de nieuwe inzetdoctrine volgens het kwadrantenmodel. In onderstaande paragrafen worden deze ontwikkelingen nader toegelicht.

1.3.1 Basisprincipes van brandbestrijding

De basisprincipes uit *De basisprincipes van brandbestrijding* (Brandweeracademie, 2020a) zijn:

1. Neem meer tijd (stop en denk na) en houdt het gebouw gesloten.
2. Doe een buitenverkenning met als doel om de brand te vinden en van buiten te blussen
3. Beantwoord drie vragen:
 - Waar zit de brand?
 - Is deze bereikbaar?
 - Is met de beschikbare slagkracht voldoende koelend vermogen beschikbaar?
4. Bij een klein gebouw is een offensieve binneninzet, onder voorwaarden, mogelijk.
5. Schat het brandvermogen in en gebruik vuistregels voor het potentieel brandvermogen en benodigd koelend vermogen.

Door toepassing van de basisprincipes en het beantwoorden van de drie vragen tijdens de verkenning kan een gefundeerde keuze voor een inzetkwadrant uit het kwadrantenmodel worden gemaakt.

1.3.2 Kwadrantenmodel voor gebouwbrandbestrijding

Het kwadrantenmodel is de praktische uitwerking van de brandweerdctrine en biedt ondersteuning bij de keuze voor de te hanteren inzetactie (Brandweeracademie, 2014). Binnen het kwadrantenmodel wordt een viertal tactisch operationele inzetacties geïntroduceerd. Dit zijn *1. defensieve buiteninzet*, *2. offensieve buiteninzet*, *3. defensieve binneninzet* en *4. offensieve binneninzet*. Elk van de vier inzetacties heeft specifieke doelstellingen en toepassingsgebieden⁶. Deze worden hier kort toegelicht.

1. Defensieve buiteninzet

Toepassingsgebied: De defensieve buiteninzet vindt buiten, en buiten de valschaduw van het gebouw plaats. Deze inzetactie wordt toegepast bij de volgende omstandigheden:

⁶ Veranderende brandomstandigheden gedurende de brandweerinzet kunnen ertoe leiden dat een heroverweging en aanpassing van de gekozen inzetactie noodzakelijk zijn.

- > De constructie is onvoldoende veilig voor een inzet.
- > De brand heeft zich uitgebreid tot buiten het initiële brandcompartiment, en ook het gebouw zelf, waaronder de gevel of dakconstructie, brandt.

Doelstelling: Het doel van een defensieve buiteninzet is schadebeperking door:

- > voorkomen van uitbreiding naar belendingen
- > voorkomen van milieuschade en beperken van overlast voor de omgeving.

2. Offensieve buiteninzet

Toepassingsgebied: De offensieve buiteninzet vindt buiten plaats, maar mogelijk binnen de valschaduw van het gebouw. Deze inzet wordt toegepast bij de volgende omstandigheden:

- > De constructie is voldoende veilig voor een inzet.
- > Een lokale (of volledig ontwikkelde) brand binnen het initiële brandcompartiment waarbij voornamelijk de inventaris brandt.
- > De condities in het gebouw zijn mogelijk voldoende veilig voor een inzet.
- > De condities in het brandcompartiment zijn onvoldoende veilig voor een inzet.

Een offensieve buiteninzet is vaak een voorbereiding op een later uit te voeren offensieve of defensieve binneninzet.

Doelstelling: Het doel van een offensieve buiteninzet is:

- > verbeteren van de condities voor eventuele slachtoffers
- > verbeteren van de condities voor een veilige toetreding door de brandweer
- > voorkomen van branduitbreiding
- > blussen van brand.

Beperkingen van het brandweermaterieel en de buiteninzet

Redvoertuigen van de brandweer hebben doorgaans een bereik tot maximaal 30 meter hoogte. Daarboven is geen mogelijkheid meer tot effectieve brandbestrijding en redding van buitenaf.⁷ De buiteninzet is dan gericht op het voorkomen van verdere uitbreiding van brand, waarbij het bouwwerk zelf mogelijk afbrandt.

Bij hogere gebouwen is een brandweerinzet mogelijk door middel van een defensieve en offensieve binneninzet. Hiertoe zijn brandveiligheidsvoorzieningen zoals een brandweerlift en droge blusleiding voorgeschreven. Gezien de toenemende afhankelijkheid van de in een gebouw aanwezige voorzieningen, is goede werking ervan cruciaal.

3. Defensieve binneninzet

Toepassingsgebied: De defensieve binneninzet vindt binnen het gebouw plaats, vanuit het (sub)brandcompartiment dat naast het compartiment waarin de brand zich bevindt. De defensieve binneninzet wordt toegepast bij de volgende omstandigheden:

- > De constructie is voldoende veilig voor een inzet.
- > Een (lokale of) volledig ontwikkelde brand binnen het initiële brandcompartiment waarbij voornamelijk de inventaris brandt.
- > De condities in het gebouw zijn voldoende veilig voor een inzet.
- > De condities in het brandcompartiment zijn onvoldoende veilig voor een inzet.

⁷ Er bestaat in principe de mogelijkheid om specialistische hoogtereddingssteams of hoge(re) redvoertuigen in te zetten. Dit is echter een afwijkende inzet.

Een defensieve binneninzet is veelal een voorbereiding op een offensieve binneninzet.

Doelstelling: Het doel van een defensieve binneninzet is:

- > gelegenheid bieden voor het uitvoeren van een evacuatie
- > voorkomen van uitbreiding van brand
- > schadebeperking.

4. Offensieve binneninzet

Toepassingsgebied: De offensieve binneninzet vindt plaats binnen het gebouw en binnen het (sub) brandcompartiment met brand. De offensieve binneninzet wordt toegepast bij de volgende omstandigheden:

- > De constructie is voldoende veilig voor een inzet.
- > Een lokale brand binnen het initiële brandcompartiment waarbij voornamelijk de inventaris brandt.
- > De condities in het gebouw en het brandcompartiment zijn voldoende veilig voor een inzet.
- > Wanneer de brandhaard is te lokaliseren en te bereiken is, en met het beschikbare slagkrachtpotentieel onder controle te houden valt.

Doelstelling: Het doel van een offensieve binneninzet is:

- > redding en bestrijding van brand.

Uit het voorgenoemde is af te leiden dat het hanteren van de basisprincipes tijdens de verkenning en de hieruit volgende keuze voor een van de vier inzetacties uit het kwadrantenmodel leiden tot enige standaardisatie in de brandweerinzet.

1.3.3 Aspecten die de brandweerinzet beïnvloeden

Hoewel er sprake is van enige standaardisatie in de brandweerinzet, zijn er diverse aspecten die van invloed kunnen zijn op het incidentverloop en de daadwerkelijke inzet. Een aantal aspecten die kunnen leiden tot afwijkingen worden hieronder nader toegelicht:

- > *De brandweerinzet is afhankelijk van regionale beleidskeuzes:* Denk hierbij bijvoorbeeld aan het uitrukvoorstel en de hiermee samenhangende uitruktijden. Wordt in geval van brand met één TS uitgerukt, of wordt direct ingezet op een grotere slagkracht? Een goede afstemming en voorbereiding dragen in positieve zin bij aan de brandweerinzet.
- > *De brandweerinzet is afhankelijk van de informatievoorziening:* Een goede informatievoorziening ter plaatse is voor de brandweer van groot belang voor de inzet. Denk hierbij aan informatie over bereikbaarheid en gebouwtoetreding, de (locatie van) aanwezige voorzieningen, alsook informatie over de brandlocatie, uitbreidingsmogelijkheden en aanwezigheid van eventuele slachtoffers. Een gedegen voorbereiding en goede bekendheid met de situatie en ter plaatse dragen evenzeer sterk bij aan een snelle en effectieve brandweerinzet.
- > *De brandweerinzet is afhankelijk van het incidentverloop:* Een snelle brandontwikkeling, rookverspreiding door het bouwwerk, falende gebouwvoorzieningen (zoals de brandweerlift of droge blusleiding), een moeilijk te bereiken brandlocatie of aanwezigheid van slachtoffers, kunnen een brandweerinzet sterk beïnvloeden. De fysieke beperkingen van het brandweerpersoneel en beperkingen van het brandweermaterieel kunnen daarbij bepalend zijn.
- > *De brandweerinzet wordt bepaald door de operationeel leidinggevende:* De operationeel leidinggevende ter plaatse heeft de vrijheid om de inzetstrategie vast te stellen.

- > De brandweerinzet is afhankelijk van de kennis en ervaring van het brandweerpersoneel. Een complexe en/of afwijkende brandweerinzet leidt soms tot een minder efficiënte inzet. Een goede afstemming en voorbereiding dragen in positieve zin bij aan de brandweerinzet.

Uit het voorgenoemde valt op te maken dat de toepassing van de basisprincipes en het kwadrantenmodel leidt tot een standaard kader voor de brandweerinzet, maar dat lokale en incidentspecifieke situaties tot aan andere brandweerinzet kunnen leiden. Een goede afstemming, betrouwbare informatievoorziening en goede voorbereiding zijn van positieve invloed op de inzet.

1.4 Brandweerinzet in hoge (woon)gebouwen

De principes die in de vorige paragraaf zijn beschreven, zijn onverminderd toepasbaar bij een brandweerinzet in hoge woongebouwen. Daarbij zijn de brandveiligheidsvoorzieningen die ter ondersteuning van de brandweer zijn voorgeschreven van invloed op de wijze waarop de inzet plaatsvindt. De brandweerinzet is daarmee mede afhankelijk van de gebouwhoogte. Binnen de kaders van de bouwregelgeving worden brandveiligheidsvoorzieningen met betrekking tot de brandweerinzet gekoppeld aan die gebouwhoogte. Daarin zijn grofweg drie relevante grenzen wat betreft gebouwhoogten te herkennen. In onderstaande paragrafen wordt op basis van die grenzen een drietal (indicatieve) brandweerinzetten beschreven.

1.4.1 Tot 20 meter

In gebouwen met een hoogte tot 20 meter zijn er diverse brandveiligheidsvoorzieningen voorgeschreven die indirect een brandweerinzet mogelijk maken, maar geen voorzieningen die direct een brandweerinzet ondersteunen. Het uitgangspunt is dat bij brand een woningrookmelder de brand detecteert, of dat de bewoner of omwonende de brand ontdekt. De bewoner ontvlucht zelfstandig de woning en informeert telefonisch de brandweer door te bellen met 112. Dit leidt volgens het *Bijgesteld landelijk kader uitruk op maat bij brand* (Brandweer Nederland, 2022) tot alarmering van één tankautospuiter. De bevelvoerder kan, indien nodig, opschalen naar middel- of (zeer) grote brand, waardoor een groter slagkrachtpotentieel ter plaatse komt. Na aankomst zal het brandscenario worden geëvalueerd middels een 'stop-en-denken-na-moment' en een eerste verkenning. Aan de hand daarvan stelt de bevelvoerder een inzetplan vast, en geeft via een doelcommando de opdracht tot de brandweerinzet.

Basiseenheid en de tankautospuiter

Een brandweerinzet wordt uitgevoerd door een brandweer 'basiseenheid'. De basiseenheid bestaat uit een bevelvoerder, een chauffeur (tevens voertuigbediener) en twee ploegen van twee manschappen. De basiseenheid heeft de beschikking over een tankautospuiter (TS) (artikel 3.1.2, lid 1 en 3 van het besluit veiligheidsregio's). Een TS is voorzien van standaardbepakking waarmee minimaal 2 stralen hoge druk en 4 handstralen lage druk of O-bundels⁸ moeten kunnen worden afgelegd (Branchevoorschrift standaardbepakking voor brandweervoertuigen, 2019, p. 26).

Indien het antwoord op de vragen uit de basisprincipes 'ja' is, wordt er doorgaans een (offensieve) binneninzet uitgevoerd. In dat geval wordt het gebouw via de brandweeringang

⁸ O-bundel: Een lagedrukhandstraal met een capaciteit van 250-400 L/min en een werkdruk tussen de 6 en 12 Bar. Het gebruik van O-bundels leidt, in vergelijking met een regulier lagedrukaflegsysteem tot een hogere inzettelsnelheid.

betreden, waarna brandslangen via trappenhuizen naar de brandverdieping worden doorgevoerd. Na verkenning zal de woning, zo nodig na het forceren van de woningtoegangsdeur, worden betreden en zal de redding of brandbestrijding worden ingezet. Rookverspreiding naar vlucht en aanvalsroutes wordt zo veel als mogelijk beperkt door het sluiten van deuren. Indien beschikbaar, kunnen tevens zogenaamde 'smokestoppers' worden geplaatst. Dit is een gordijn dat rook tegenhoudt dat bij een brandweerinzet in een deurpost geplaatst wordt, waardoor rookverspreiding beperkt wordt.

Gedurende de inzet kan het nodig zijn om het inzetplan bij te stellen en verder op of af te schalen. Mogelijk zal een beslissing tot gedeeltelijke of gehele ontruiming van het gebouw moeten worden genomen. Er zijn geen directe voorzieningen aanwezig, zoals een ontruimingsalarminstallatie, waarmee de evacuatie van personen op gang kan worden gebracht.

1.4.2 Van 20 tot 70 meter

In gebouwen met een hoogte van 20 - 70 meter zijn verschillende brandveiligheidsvoorzieningen voorgeschreven die een brandweerinzet ondersteunen (zie paragraaf 1.2.6) en enkele voorzieningen die direct voor de brandweerinzet bedoeld zijn. Dit zijn:

- > één brandweerlift
- > één droge blusleiding.

Bij brand in een gebouw van 20 tot 70 meter is de brandweerinzet tot aan het doelcommando gelijk aan die in een gebouw tot 20 meter. Gezien de beperkingen van het brandweermaterieel, ligt een keuze voor een offensieve of defensieve binneninzet voor de hand. Na het doelcommando wordt het gebouw via de brandweeringang betreden, waarna lagedrukbrandslangen of O-bundels worden aangesloten op de aanwezige droge blusleiding. Daarna zal met behulp van de brandweerlift naar de 'inzetverdieping'⁹ worden gegaan. Hier bevindt zich ook het zogenaamde 'bruggenhoofd'.⁹

Op de inzetverdieping aangekomen, zal via het aangrenzende trappenhuis naar de brandverdieping worden gegaan. In het sluis of in de aangrenzende ruimte direct achter het sluis (met de invoering van het Stb. 2024,368 per 1 juli 2025) wordt aangesloten op de droge blusleiding. Ook vindt er, een en ander verschillend per veiligheidsregio, controle plaats van de droge blusleiding (op open afsluiters). Er wordt een verkenning uitgevoerd van de brandverdieping, waarna de inzet via de woningtoegangsdeur in de woning kan plaatsvinden. Rookverspreiding naar vlucht- (en aanvalsroutes) wordt zoveel mogelijk beperkt door het sluiten van deuren. Indien beschikbaar, kunnen tevens smokestoppers worden geplaatst.

Gedurende de inzet kan het nodig zijn om het inzetplan bij te stellen en verder op of af te schalen. Mogelijk zal een beslissing tot gedeeltelijke of gehele ontruiming van het gebouw moeten worden genomen. Er zijn geen directe voorzieningen aanwezig, zoals een ontruimingsalarminstallatie, waarmee de evacuatie van personen op gang kan worden gebracht. Het grote aantal woningen dat ontruimd en doorzocht moet worden, kan een flink beslag leggen op de benodigde slagkracht van de brandweer.

⁹ Inzetverdieping: Dit betreft de verdieping waarvandaan de brandweerinzet plaatsvindt. Bij gebouwen hoger dan 20 meter is de inzetverdieping twee verdiepingen onder de brandverdieping gelegen. Hier bevindt zich het bruggenhoofd met logistieke voorzieningen zoals aanvullende blusmaterialen, ademluchtcilinders etc. Bovendien bevinden zich hier verschillende functionarissen zoals een operationeel leidinggevende en intercombediener.

1.4.3 Hoger dan 70 meter

In gebouwen met een hoogte van 70 - 200 meter worden in de handreiking verschillende brandveiligheidsvoorzieningen genoemd die een brandweerinzet ondersteunen (zie paragraaf 1.2.4) en meerdere voorzieningen die direct voor de brandweerinzet bedoeld zijn. Dit zijn:

- > een doormelding van brandmeldingen naar regionale meldkamer
- > twee brandweerliften
- > twee natte blusleidingen
- > een communicatievoorziening tussen de commandoruimte en verdiepingen
- > een commandoruimte met bediening van installaties en gebouwinformatie.

Tussen 70 en 200 meter

Een brand in een gebouw van 70 tot 200 meter zal door een bewoner worden ontdekt of door de sprinklerinstallatie of rookmelder gedetecteerd worden. Detectie door de sprinklerinstallatie leidt tot directe alarmering van de hulpdiensten. Ook worden andere bewoners in het gebouw gealarmeerd door de ontruimingsalarminstallatie (OAI). Afhankelijk van het ontruimingsconcept zullen direct alle bewoners in het gebouw, ofwel alleen de bewoners op de brandverdieping evenals de onder- en twee bovengelegen verdiepingen gealarmeerd worden. Bij een gefaseerde ontruiming ligt de beslissing tot volledige ontruiming bij de brandweer.

Ontruimingsconcepten en de ontruiming van bewoners in gebouwen van 70 tot 200 meter

Detectie van brand zal leiden tot alarmering van aanwezige personen. De wijze waarop alarmering plaatsvindt, is afhankelijk van het ontruimingsconcept. In de handreiking (SBRCURnet, 2014) worden vier ontruimingsconcepten beschreven:

Ontruimingsconcept A: Volledige ontruiming met standaard ontruimingstijd

Ontruimingsconcept B: Volledige ontruiming met verlengde ontruimingstijd

Ontruimingsconcept C: Gefaseerde ontruiming met verlengde ontruimingstijd

Ontruimingsconcept D: Gedeeltelijke ontruiming naar veilige verdieping met opvangcapaciteit.

Een ongewenste of onechte brandmelding kan bij volledige ontruiming in een hoog gebouw leiden tot de evacuatie van een (zeer) groot aantal personen. De bereidheid tot vluchten loopt bij veel onnodige ontruiming sterk terug. Veel veiligheidsregio's adviseren daarom om gefaseerde ontruiming in hoge gebouwen te hanteren.

Bij een gefaseerde ontruiming ligt er echter een aanvullende taak bij de brandweer. Zij neemt nu de beslissing tot volledige ontruiming van het gebouw. Deze taak ligt normaliter bij de gebouwbeheerder.

Weinig veiligheidsregio's hebben een uitgewerkte inzetprocedure voor gebouwen hoger dan 70 meter (zie paragraaf 1.3.4). De inzetprocedure zoals vastgelegd in de *VRICOL scenario- en taakkaarten* (Piek, 2024) van Veiligheidsregio Rotterdam wordt daarom voor dit onderzoek aangehouden.

VRICOL scenario

In geval van een bevestigde gebouwbrand wordt, in afwijking van het *Bijgesteld landelijk kader Uitruk op maat bij brand* (Brandweer Nederland, 2022) uitgerukt met een peloton (vier

TS'en een redvoertuig¹⁰ (RV) en een Officier van Dienst (OvD).¹¹ Indien de sprinkler niet effectief blijkt of de brand zich buiten de woning heeft uitgebreid, zal verder worden opgeschaald met een aanvullend peloton.¹² Bij aankomst van de eerste TS vinden ook hier het 'stop-en-denk-na-principe' en eerste verkenning plaats. Daarbij zal ook informatie worden ingewonnen bij het brandmeldpaneel nabij de (brandweer)ingang en commandoruimte. Uiteindelijk zal een doelcommando worden gegeven.

Inzetverdieping twee bouwlagen onder de brandverdieping

De inzetverdieping is volgens het *Handboek Brandbestrijding Hoogbouw hoger dan 70 meter* (Piek et al., 2024, p. 9) twee verdiepingen onder de brandverdieping om de volgende redenen:

- > Bij een wokkeltrappenhuis ligt het aansluitpunt op elke tweede verdieping op dezelfde positie. Door een bouwlaag over te slaan, liggen de aansluitpunten boven elkaar.
- > Wanneer een brandweerlift niet meer functioneert, heeft de brandweer de mogelijkheid om zichzelf in veiligheid te brengen. Dit gebeurt altijd naar de eerstvolgende bovengelegen stopplaats van de lift. Dit betekent dat er altijd een stopplaats tussen de brandweerlift en de brandverdieping moet zijn.

Als er sprake is van een door de sprinkler gecontroleerde brand, heeft ieder voertuig zijn specifieke taak die hier kort uiteengezet wordt:

- > *TS1 met de volgende verkenning en reddingstaken:*
 - bediening van installaties (vanuit de commandoruimte) en de eerste brandweerlift
 - via de inzetverdieping naar de brandverdieping voor snelle verkenning en redding.
- > *TS2 met de volgende interventietaken:*
 - via de inzetverdieping naar de brandverdieping voor brandbestrijding
 - bediening van de tweede brandweerlift.
- > *TS3 met de volgende compartimenteringstaken:*
 - via de inzetverdieping naar de brandverdieping voor bewaking en bescherming van het trappenhuis met smokestoppers en ventilator.
- > *TS4 met de volgende ontruimingstaken:*
 - via de inzetverdieping naar de brandverdieping en de onder- en twee bovengelegen verdieping(en) voor ontruiming en registratie.
- > *Redvoertuig (1) met de volgende communicatietaken:*
 - bediening van de intercom (vanuit de commandoruimte)
 - bediening van de intercom (vanaf de inzetverdieping).
- > *Officier van dienst (1) met de volgende coördinatietaken:*
 - coördinatie vanaf de inzetverdieping
 - monitoring van de ontwikkeling van het scenario.

Hoger dan 200 m

Er zijn voor gebouwen hoger dan 200 geen concrete doel- en middelvoorschriften in het Bbl of de handreiking beschikbaar (zie paragraaf 1.2.4). Dit betekent dat er geen eenduidige opsomming van brandveiligheidsvoorzieningen kan worden gegeven. Ook is er nog geen handelingsperspectief voor de brandweerinzet in dergelijke gebouwen beschikbaar. Er wordt

¹⁰ Redvoertuig: Voertuig voor het redden van mensen en dieren op hoogte en ondersteuning van basisbrandweereenheden bij het blussen op hoogte. Een redvoertuig is doorgaans uitgevoerd als autoladder of hoogwerker (artikel 3.1.3, lid 2 en 3 van het Besluit veiligheidsregio's).

¹¹ (Hoofd) officier van dienst: Belast met commandovoering op de plaats incident (artikel 2.1.2, lid 1 sub b. van het Besluit veiligheidsregio's)

¹² Peloton: Aanvullende brandweereenheden bestaande uit 4 TS'en en een OvD.

in het kader van dit onderzoek, van uitgegaan dat de wijze waarop de inzet wordt uitgevoerd in grote lijnen overeenkomt met de brandweerinzet in gebouwen tot 200 meter.

1.4.4 Preferente brandweerinzet

Uit paragraaf 1.4 volgt dat ook bij hoge woongebouwen de basisprincipes kunnen worden toegepast om te komen tot een van de vier inzetacties uit het kwadrantenmodel. Wel kunnen fysieke beperkingen van brandweermensen en beperkingen van het brandweermaterieel de effectiviteit van de brandweerinzet beïnvloeden. Dit betekent dat, naarmate het gebouw hoger wordt, de brandweer voor wat betreft de inzet steeds afhankelijker wordt van de in het gebouw aanwezige brandveiligheidsvoorzieningen.

Fysieke beperkingen van brandweermensen, beperkingen van het brandweermaterieel en het falen van brandveiligheidsvoorzieningen

Fysieke beperkingen brandweermensen: Op basis van de uitgangspunten van de PPMO-test¹³ mag er van worden uitgegaan dat een brandweermens fysiek in staat is om via de trap een snelle en effectieve brandweerinzet uit te voeren tot een hoogte van zes bouwlagen. Bij hogere gebouwen is de fysieke belasting van het beklimmen van de trap met bekapping en slangen zodanig, dat zij van invloed is op de effectiviteit en duur van de inzet. De inzetmogelijkheden worden nog verder beperkt wanneer ook brandslangen via de trap moet worden afgelegd of slachtoffers naar beneden moeten worden vervoerd.

Beperkingen van het brandweermaterieel: Bij hogere gebouwen zijn er beperkingen in het gangbaar brandweermaterieel die de brandweerinzet kunnen beïnvloeden. De belangrijkste beperkingen zijn:

- > Een redvoertuig van de brandweer komt normaliter tot een hoogte maximaal 30 meter.¹⁴
- > De pomp van een tankautospuiter van de brandweer kan bluswater met voldoende debiet en druk voor een brandweerinzet met twee stralen tot een hoogte van ongeveer 70 meter pompen.
- > De C2000-communicatiemiddelen van de brandweer worden boven de 70 meter onbetrouwbaar.

Falen van brandveiligheidsvoorzieningen: Wanneer brandveiligheidsvoorzieningen in het gebouw tijdens een brand falen, dan is dit vaak direct van invloed op een snelle en effectieve brandweerinzet. De brandweer zal in deze gevallen een alternatief inzetplan moeten bedenken, waarbij rekening moet worden gehouden met de fysieke beperkingen van brandweermensen en beperkingen van het brandweermaterieel. De brandweer heeft dan mogelijk geen andere keuze dan het brandcompartiment laten uitbranden

In Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond zijn de effecten van het falen van een brandweerlift onderzocht. Hiertoe zijn enkele tests uitgevoerd waarbij brandweermensen met bekapping en slangen (volgens de VRICOL-procedure) naar boven zijn gelopen tot het punt waarbij een inzet nog net mogelijk was. Uit deze test bleek dat de hoogte die overbrugd moet worden, sterk van invloed is op de effectiviteit van een brandweerinzet. Een effectieve inzet is mogelijk tot een hoogte van ongeveer tien verdiepingen ofwel 30 meter. De (wetenschappelijke) onderbouwing van deze bevinding is echter wel beperkt, wat betekent dat er nog onvoldoende bewijs is om deze conclusie mee te staven.

Bij een brand op hoogte vanaf ongeveer 30 meter is er, gezien de beperkingen in het bereik van een gangbaar redvoertuig, geen effectieve offensieve buiteninzet meer mogelijk. De

¹³ PPMO-test: Om de fitheid van brandweerpersoneel te testen, is het Periodiek Preventief Medisch Onderzoek (PPMO) ingesteld. Het PPMO is afgestemd op handelingen die in praktijk worden uitgevoerd.

¹⁴ Het verticale bereik van een redvoertuig wordt mede bepaald door de horizontale afstand die ook overbrugd moet worden, bijvoorbeeld omdat een redvoertuig niet nabij een gebouw kan komen. Ter illustratie: wanneer ook een horizontale afstand van 20 meter moet worden overbrugd, is het effectieve verticale bereik van een redvoertuig nog maar 20 meter.

defensieve buiteninzet, gericht op het voorkomen van branduitbreiding naar gebouwen op andere percelen, is in principe mogelijk door aangrenzende gebouwen te koelen, maar ook dan loopt de brandweer vanwege de slechte bereikbaarheid van buitenaf tegen beperkingen aan.

Dit onderschrijft het belang van een snelle en effectieve binneninzet in hoge gebouwen. Een brandweerlift en natte of droge blusleidingen zijn voorzieningen die deze inzet direct ondersteunen. Daarnaast zijn er andere voorzieningen zoals de weerstand met betrekking tot bezwijken van de bouwconstructie en vluchtroute en de brand- en rookwerende scheidingsconstructies die bijdragen bij aan een snelle en effectieve binneninzet.

Bij een brand op een hoogte vanaf ongeveer 70 meter is het gangbare brandweermaterieel ook niet meer toereikend om het bluswater op hoogte te krijgen, zijn de communicatiemogelijkheden beperkt en maken fysieke beperkingen van het brandweerpersoneel een (tijdige) inzet via enkel de trap onmogelijk. De brandweer is daarmee volledig afhankelijk van de in het gebouw aanwezige brandveiligheidsvoorzieningen. Diverse voorzieningen zoals de brandweerlift en natte blusleiding zijn (mede) daarom dubbel uitgevoerd (redundant¹⁵). Daarnaast dragen aanvullende voorzieningen zoals een sprinkler- en overdrukinstallatie bij aan (de kans op) een veilige en effectieve binneninzet.

De preferente brandweerinzet is in gebouwen boven de 20 m een offensieve binneninzet. Wanneer de voorgeschreven brandveiligheidsvoorzieningen aanwezig en succesvol zijn, blijft de brand immers bij aankomst van de brandweer beperkt tot één woning, zonder significante rookverspreiding naar vlucht- en aanvalsroutes. Zeker in gebouwen boven de 70 meter waarbij de sprinklerinstallatie de brand in vroeg stadium onder controle houdt, is sprake van beperkte brandomvang, worden draag- en scheidingsconstructies beperkt belast en is beperkt¹⁶ sprake van rookverspreiding. Hierdoor kan de brandweer de brandhaard goed bereiken, en is een inzet binnen het gebouw mogelijk. Door de verwachte beperkte brandomvang kan veelal volstaan worden met een offensieve binneninzet.

Wanneer brandveiligheidsvoorzieningen falen en een brand zich toch uitbreidt tot buiten de woning of rookverspreiding door het gebouw plaatsvindt, is een offensieve brandweerinzet niet altijd meer mogelijk. De brandweer zal dan overschakelen naar een defensieve binneninzet of zelfs een buiteninzet. Dit kan betekenen dat het hele gebouw ontruimd moet worden.

Er zijn bij gebouwen tot 70 meter geen systemen aanwezig om bewoners tijdig te alarmeren of te ondersteunen bij een evacuatie. Hierdoor is het niet vanzelfsprekend dat aanwezige personen veilig kunnen vluchten. De brandweer zal actief woningen moeten doorzoeken en achtergebleven personen redden of evacueren. In gebouwen boven de 70 m zijn wel systemen aanwezig die een gebouwontruiming ondersteunen. Dit betekent echter niet automatisch dat men veilig kan vluchten. Daarnaast neemt door de hoogte en het aantal personen een evacuatie veel tijd in beslag, en is ook hier ondersteuning door de brandweer noodzakelijk. Een dergelijke brandweerinzet is complex en risicovol, waarbij veel van de capaciteit van de brandweer gevraagd wordt.

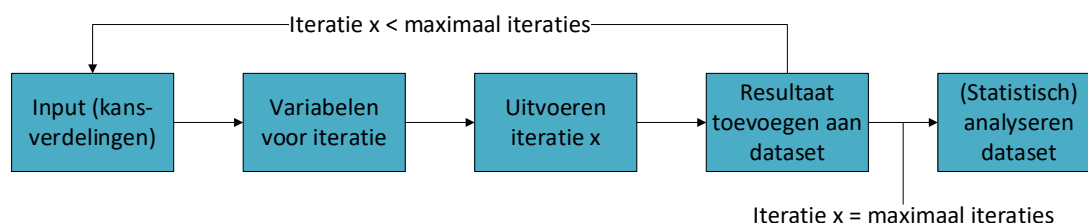
¹⁵ Redundant: dit betekent dat voorzieningen technisch onafhankelijk (bijvoorbeeld mechanisch of elektrotechnisch) moeten zijn. Daarnaast mogen gebeurtenissen die los staan van de voorzieningen (zoals instroming van water in de brandweerliftschacht) niet allebei de brandveiligheidsvoorzieningen onbruikbaar maken.

¹⁶ Bij nieuw te bouwen en recent gebouwde gebouwen zal rookverspreiding beperkt zijn. Bij oudere bestaande gebouwen waren de voorschriften met betrekking tot rookverspreiding minder streng.

Uit het voorgaande valt op te maken dat in hoge gebouwen diverse voorzieningen aanwezig zijn die zowel direct als indirect een veilige brandweerinzet in het gebouw mogelijk maken. Brandveiligheidsvoorzieningen zoals natte of droge blusleidingen en brandweerliften zijn direct van invloed op de veilige benodigde tijd voor de brandweerinzet (RST). Deze voorzieningen dragen bij aan de tijd die de brandweer nodig heeft om een inzet uit te voeren. Andere brandveiligheidsvoorzieningen zoals brand- en rookwerende scheidingsen, draagconstructies en een sprinklerinstallatie zijn van invloed op de veilige beschikbare tijd voor de brandweerinzet (AST). Deze voorzieningen zorgen ervoor dat de brandomvang en de gevolgen daarvan gedurende een bepaalde tijd beperkt blijven, zodat de brandweer tijd beschikbaar voor een veilige inzet.

1.5 Monte Carlo simulaties

Bij het bepalen van de RST (beschikbare veiligheidstijd voor een brandweerinzet) wordt gebruikgemaakt van een statistische methodiek die Monte-Carlo-simulatie wordt genoemd. Bij een Monte-Carlo-simulatie wordt een rekenkundige handeling, zoals de bepaling van de RST in dit onderzoek, veelvuldig opeenvolgend herhaald. Bij elke herhaling (iteratie) worden uit de aangenomen kansverdelingen willekeurig waardes gekozen. Hoe waarschijnlijk het is dat een waarde gekozen wordt, is afhankelijk van de kansverdeling. Met de gekozen waarden wordt de berekening uitgevoerd en het resultaat wordt toegevoegd aan een dataset. Daarna wordt gestart met de volgende iteratie. Dat proces wordt herhaald tot het maximum aantal iteraties wordt bereikt dat is ingegeven. Als het proces uit voldoende iteraties bestaat, ontstaat een beeld van de statistische spreiding van de uitkomst in de vorm van een kansverdeling. In dit onderzoek is de uitkomst een kansverdeling van de RST.



Figuur 1.1 Generiek processchema Monte-Carlo simulaties

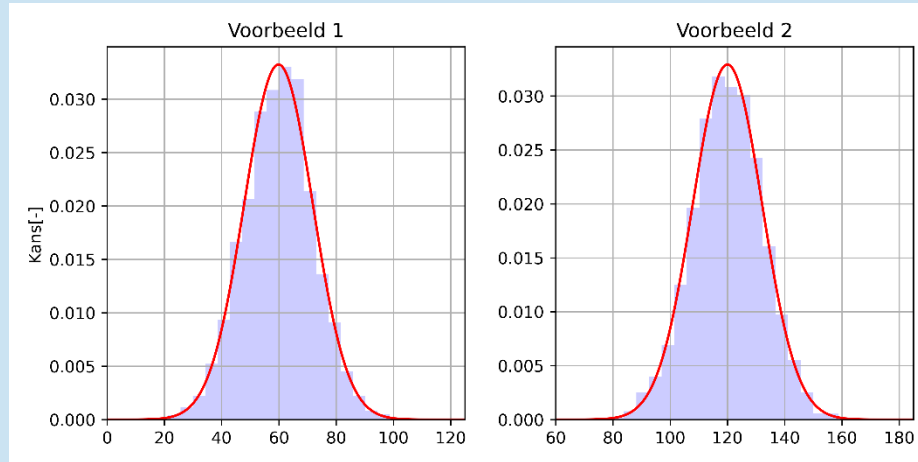
1.5.1 Iteraties en kwaliteit van het rekenresultaat

De kwaliteit van een Monte-Carlo simulatie is afhankelijk van de kwaliteit van de inputgegevens. Daarnaast wordt de nauwkeurigheid van de Monte-Carlo-simulatie sterk bepaald door het aantal iteraties dat wordt uitgevoerd. Hoe meer iteraties worden uitgevoerd, hoe nauwkeuriger de uitkomst is. Dit is hieronder in een voorbeeld weergegeven.

Uit het voorbeeld blijkt tevens dat het van belang is de gevoeligheid voor het aantal iteraties van de Monte-Carlo-simulatie in acht te nemen. In principe geldt: als de statistische output van de Monte-Carlo-simulatie nauwelijks meer wijzigt, is het aantal iteraties voldoende. Vanwege het karakter van een Monte-Carlo-simulatie wordt nooit een exacte oplossing verkregen.

Voorbeeld Monte Carlo simulatie en nauwkeurigheid

In een fictieve situatie worden twee kansverdelingen opgeteld. De kansverdelingen zijn beide normaal verdeeld. De eerste kansverdeling heeft een gemiddelde van 60 (μ_1) en de tweede kansverdeling heeft een gemiddelde van 120 (μ_2). Beide verdelingen hebben een standaardafwijking (σ) van 12. Deze verdelingen zijn hieronder grafisch weergegeven:

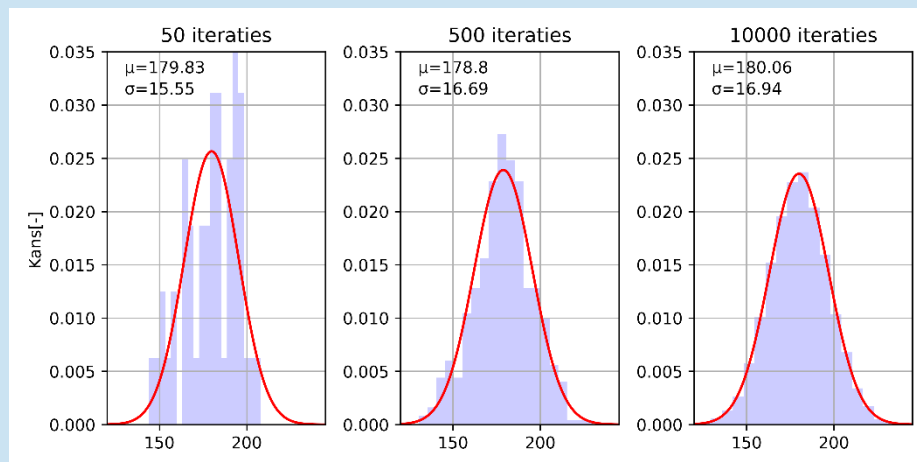


Figuur 1.2 Fictieve kansverdelingen die worden opgeteld

Vanuit de statistiek geldt dat voor normaal verdeelde variabelen:

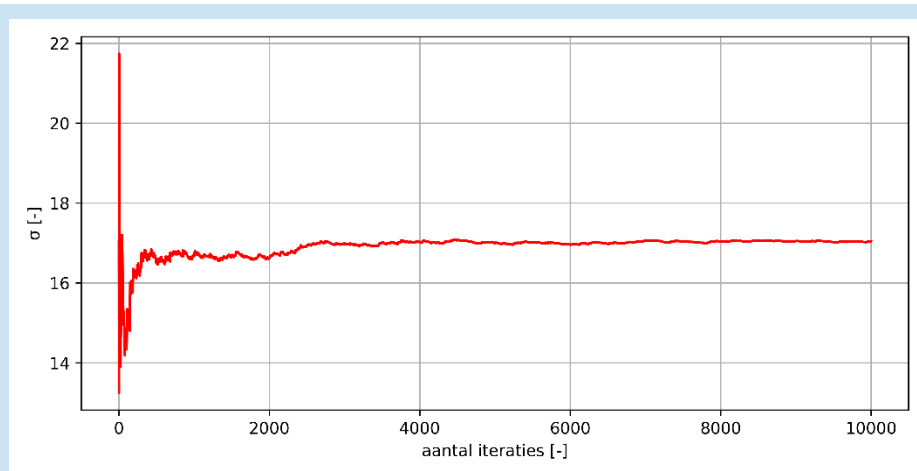
$$\begin{aligned}\mu_{nieuw} &= \mu_1 + \mu_2 = 60 + 120 = 180 \\ \sigma_{nieuw} &= \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} = \sqrt{12^2 + 12^2} = 16,97\end{aligned}$$

Dezelfde oefening uitvoeren met Monte-Carlo-simulaties met een toenemend aantal iteraties laat zien dat de oplossing in toenemende mate nauwkeuriger is. Met name de spreiding (standaardafwijking σ) is in dit geval gevoelig voor het aantal iteraties.



Figuur 1.3 Resultaat van Monte-Carlo-simulaties voor toenemend aantal iteraties.

Uit onderstaand figuur blijkt dat het minimum aantal iteraties dat nodig is om tot een stabiel resultaat te komen in dit geval rond de 4000 ligt. De standaardafwijking wijzigt nauwelijks meer met een toenemend aantal iteraties.



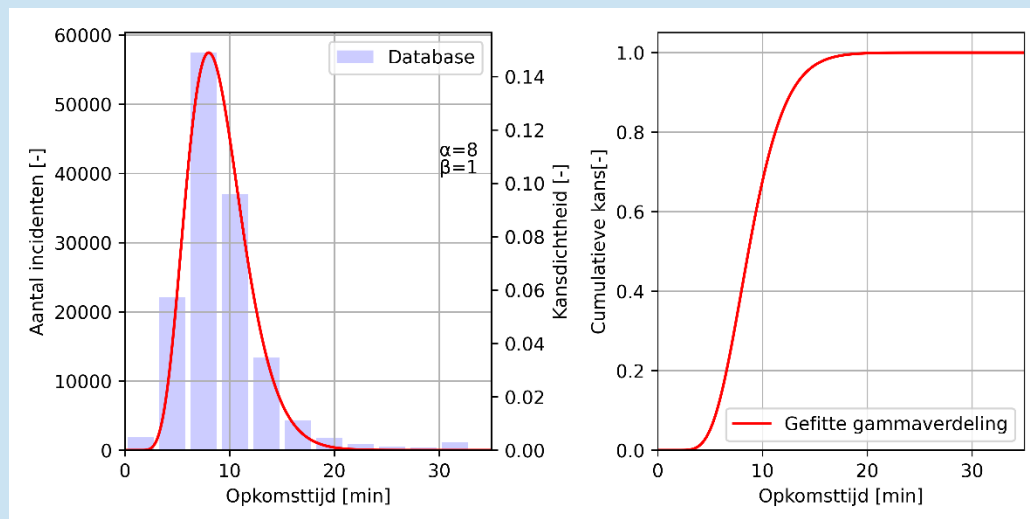
Figuur 1.4 Ontwikkeling standaardafwijking met toenemend aantal iteraties

1.5.2 Kansverdelingen

De inputgegevens bij een Monte-Carlo-simulatie bestaan uit kansverdelingen. Binnen dit onderzoek worden kansverdelingen gebruikt die betrekking hebben op de tijd die een bepaald onderdeel van de brandweerinzet duurt (zie paragraaf 2.3.1). De kansverdeling beschrijft hoe waarschijnlijk het is dat een onderdeel een bepaalde tijd duurt. Een voorbeeld is hieronder gegeven.

Voorbeeld opkomsttijd

In Figuur 1.5 is een kansverdeling gegeven van de opkomsttijd van de brandweer. Links zijn de gemeten opkomsttijden weergegeven in een histogram (de blauwe kolommen). De kolommen geven aan hoe vaak een bepaalde opkomsttijd zich voordoet (rechter y-as). Op de gemeten opkomsttijden (database) is vervolgens een kansdichtheidsfunctie gefit (de rode lijn met de linker y-as). In dit geval geeft een kansdichtheidsfunctie weer hoe waarschijnlijk het is dat een bepaalde gebeurtenis zich voordoet (in dit geval een opkomsttijd). De kans op een opkomsttijd tussen de 7 en 8 minuten is ongeveer 0,15 of 15 %.



Figuur 1.5 Voorbeeld van een kansverdeling voor opkomsttijd

Rechts is de bijbehorende cumulatieve kansverdeling gegeven. Hieruit kan worden opgemaakt hoe waarschijnlijk het is dat een waarde gelijk aan of lager dan de beschouwde waarde zich voordoet (de 'overschrijdingskans'). Zo blijkt dat in 0,8 of 80 % van de gevallen de brandweer binnen 12 minuten na alarmering op locatie is. Dit betreft het 80^e percentiel van de kansverdeling.

1.5.3 Betrouwbaarheid van voorzieningen

In dit onderzoek wordt uitgegaan van het wel of niet correct functioneren van voorzieningen (zie paragraaf 2.3.2). Het niet correct functioneren (falen) van voorzieningen resulteert in een ander verloop van de brandweerinzet. De kans dat een voorziening correct functioneert (succesvol is), wordt hier de betrouwbaarheid genoemd. Die betrouwbaarheid (P_{succes}) wordt weergegeven als één getal. De kans dat een systeem niet correct functioneert, is dan $1-P_{\text{succes}}$. Een voorbeeld is hieronder gegeven.

Voorbeeld betrouwbaarheid brandweerlift

Een brandweerlift in een gebouw heeft een (arbitrair gekozen) betrouwbaarheid van $P_{\text{succes}} = 0,98$. De kans op correct functioneren is dan 98 %. De kans op het niet correct functioneren bedraagt $1-0,98 = 0,02$ of 2 %.

2 Methodologie RST-analyse

De benodigde veilige tijd voor brandweerinzet (RST) is in dit onderzoek een uiteenzetting en kwantificering van de tijdlijn van het brandweeroptreden zoals beschreven in hoofdstuk 1. Door dit kwantificeren voor verschillende gebouwhoogtes te doen, ontstaat er een beeld van de ontwikkeling van de RST bij een toenemende gebouwhoogtes. Vervolgens is onderzocht welke onderdelen van de tijdlijn belangrijk zijn voor de totale RST. Voor die onderdelen kan worden overwogen om middels experimenten een verificatie uit te voeren.

2.1 Opzet en methode

In deze paragraaf worden de algemene onderzoeksopzet en onderzoeksmethode nader toegelicht

2.1.1 Algemene aanpak

Om de RST te kunnen analyseren, is de volgende aanpak gebruikt, die in de volgende paragrafen verder zal worden toegelicht:

1. Vaststellen van een modelbrandweerinzet voor verschillende gebouwhoogtes.
2. Bepalen van de probabilistische RST met behulp van Monte Carlo-simulaties
 - Scenariospecifieke RST
 - Integrale RST
3. Gevoeligheidsanalyse: welke onderdelen zijn belangrijk voor de RST?

Zonder de brandweerinzet te modelleren en te vereenvoudigen, is het niet mogelijk om deze op een systematische wijze te kwantificeren. Daarom is begonnen met het vaststellen van een aantal modelbrandweerinzetten voor verschillende gebouwhoogtes. Die modelbrandweerinzetten zijn vervolgens met een probabilistische methode gekwantificeerd. Daarbij is gebruikgemaakt van Monte-Carlo-simulaties. Vervolgens is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om te bepalen welke onderdelen van de modelbrandweerinzetten belangrijk zijn voor de uitkomst.

2.1.2 Probabilistische methode

De RST is de optelsom van alle opeenvolgende onderdelen van de modelbrandweerinzetten die beschreven worden in paragraaf 2.2.2. Voor het kwantificeren daarvan is gekozen om te werken met een probabilistische methode.¹⁷ Dit is een methode waarbij voor het bepalen van de RST rekening wordt gehouden met de spreiding van de tijden van de opeenvolgende onderdelen in de modelbrandweerinzetten. Het is namelijk niet mogelijk om alle gebeurtenissen die zich gedurende de onderdelen van de modelbrandweerinzetten kunnen voordoen, uit te drukken in één inzetijd. De RST is in elke situatie anders, vanwege bijvoorbeeld het volgende:

- > Afhankelijk van de ligging van het gebouw zal de aanrijtijd van de brandweer verschillen.
- > Elk gebouw heeft een ander gebouwontwerp, dat de inzet zal beïnvloeden.

¹⁷ Probabilistisch = 'gebaseerd op kansrekening' (bron: <https://nl.wiktionary.org/wiki/probabilistisch>).

- > Het karakter van het incident of het gebouw kan leiden tot een situatie waarin maar beperkt of juist veel verkenningstijd nodig is.

Het voordeel van een probabilistische methode is dat er rekening wordt gehouden met een breed scala aan kenmerken, zoals brandkenmerken, gebouwkenmerken en menskenmerken die de RST kunnen beïnvloeden. Er wordt bij een probabilistische methode rekening gehouden met zowel waarschijnlijke als onwaarschijnlijke gebeurtenissen tijdens de brandweerinzet. Een nadeel van een probabilistische methode is dat de kwaliteit van het resultaat sterk afhangt van de kwaliteit van de inputgegevens. Die inputgegevens (kansverdelingen) zijn op het gebied van brand en brandweer schaars.

De uitkomst van de probabilistische methode is in dit onderzoek de kans dat een bepaalde RST zich voordoet. Door die kans voor het volledige spectrum aan gebouwhoogtes binnen de kaders van dit onderzoek te bepalen, ontstaat er een overzicht van de gemiddelde RST per gebouwhoogte en van de spreiding om dat gemiddelde heen. Het spectrum aan gebouwhoogtes bedraagt 0-400 meter. Het onderling vergelijken van de RST met de verschillende gebouwhoogtes wordt dan mogelijk. Ook wordt de methode gebruikt om inzicht te krijgen in de onderdelen van de inzet die bepalend zijn voor de totale RST. De probabilistische methode is uitgevoerd met behulp van Monte-Carlo-simulaties.

2.1.3 Monte-Carlo-simulaties

De algemene werking van een Monte-Carlo-simulatie is reeds toegelicht in paragraaf 1.5. Meer specifiek betrokken op dit onderzoek werkt de Monte-Carlo-simulatie als volgt:

1. Inputvariabelen definiëren (dit zijn kansverdelingen, zie paragraaf 1.5.2).
2. Willekeurig waarden kiezen uit de inputvariabelen.
3. RST van de iteratie bepalen door noodzakelijke rekenkundige bewerkingen uit te voeren:
 - Opeenvolgende onderdelen van de modelbrandweerinzet worden gesommeerd.
 - Bij parallelle onderdelen wordt het maatgevende onderdeel meegenomen in de bepaling van de RST.
 - Bij de integrale RST wordt gewerkt met de betrouwbaarheid van brandveiligheidsvoorzieningen. Dit wordt nader toegelicht in paragraaf 2.1.5.
4. Het resultaat van de iteratie wordt toegevoegd aan een dataset.
5. De dataset wordt na het afronden van alle iteraties statistisch geanalyseerd.

De Monte-Carlo-simulatie wordt uitgevoerd voor elke bouwlaag in het aangenomen bereik aan gebouwhoogtes (0 tot 400 meter hoog). De methode is geprogrammeerd in de Python-programmeertaal.

Aantal rekenkundige iteraties Monte Carlo simulaties

Ongeacht de aanpak (scenariospecifieke RST of Integrale RST) is het aantal iteraties op 10.000 gesteld. Of dat voldoende is, wordt beoordeeld in hoofdstuk 3.

2.1.4 Scenariospecifieke RST

Bij de resultaten van de scenariospecifieke RST worden verschillende scenario's los van elkaar beschouwd. De scenario's worden in dit onderzoek gekenmerkt door het wel of niet correct functioneren van de voorgeschreven brandveiligheidsvoorzieningen. In deze resultaten wordt de betrouwbaarheid van die voorzieningen niet meegewogen, maar worden de gevolgen van het wel of niet correct functioneren getoond in verschillende RST-waardes per scenario. Het voordeel hiervan is, dat inzicht ontstaat in het belang van de verschillende

voorzieningen. Een nadeel is dat de betrouwbaarheid van de voorzieningen niet wordt meegewogen. Dit is met name relevant wanneer de voorzieningen een hoge of lage betrouwbaarheid hebben. Daarom is ook bekeken wat de RST is wanneer de betrouwbaarheid wel wordt meegewogen in de integrale RST.

2.1.5 Integrale RST

Bij de integrale RST wordt de betrouwbaarheid van de systemen wel meegewogen in de resultaten via de Monte Carlo simulatie. De scenario's zoals beschreven in 2.1.4 worden geïntegreerd in één uitkomst. Bij die integratie wordt de betrouwbaarheid van de voorzieningen gebruikt. Hoe die integratie wordt uitgevoerd, is beschreven in paragraaf 2.2.4. Het voordeel van deze aanpak is, dat de betrouwbaarheid van de voorzieningen kan worden meegewogen in de RST. Een nadeel is dat data voor het bepalen van de betrouwbaarheid niet of nauwelijks aanwezig zijn. Een ander nadeel is dat uit het rekenresultaat niet direct het belang van de voorzieningen blijkt, zoals dat wel duidelijk wordt bij de scenariospecifieke RST. Daarom zijn de scenariospecifieke RST en de integrale RST complementair aan elkaar.

2.2 Uitgangspunten

In deze paragraaf worden de uitgangspunten beschreven die voor de uitgevoerde simulaties gelijk zijn. De uitgangspunten staan vast; ze worden dus niet veranderd tijdens het onderzoek

2.2.1 Gebouw

De voorzieningen die beschreven zijn in deze paragraaf worden als uitgangspunt gebruikt in dit onderzoek. Dit betekent dat ervan is uitgegaan dat het beschouwde (model)gebouw voldoet aan de minimale eisen voor nieuwbouw. Hieronder zijn de voorzieningen beschreven die in dit onderzoek relevant worden verondersteld voor de RST.

Tabel 2.1 Aangenomen brandveiligheidsvoorzieningen per gebouwhoogte

0-20 meter	20-70 meter	70-400 meter*
Geen voorzieningen	Droge blusleiding	2x natte blusleiding**
	Brandweerlift	2x brandweerlift

* Er wordt aangenomen dat de brandveiligheidsvoorzieningen in gebouwen hoger dan 200 meter gelijk zijn aan die in gebouwen lager dan 200 meter. De aanvullende voorzieningen die in de richtlijn van de gemeente Rotterdam worden genoemd, hebben geen directe gevolgen voor de RST zoals die in dit onderzoek wordt bepaald.

** uit de hoogbouwrichtlijn blijkt niet direct dat er 2 aparte blusleidingen aanwezig moeten zijn. Er moet alleen sprake zijn van een redundant uitgevoerd pompset. Er wordt verwacht dat de pompset het maatgevende onderdeel met betrekking tot de betrouwbaarheid is. Vandaar dat als uitgangspunt is gekozen dat er 2 blusleidingen aanwezig zijn.

Voorgeschreven voorzieningen zoals de commandoruimte in gebouwen hoger dan 70 meter hebben een ondersteunende functie tijdens de inzet. Hoewel deze voorzieningen wel degelijk bijdragen aan de effectiviteit van de brandweerinzet, is de invloed van die

voorzieningen op de RST nauwelijks te kwantificeren. Het gevolg van die ondersteuning is daarom niet meegewogen in de RST. Voorzieningen die vooral invloed hebben op de brand- en rookverspreiding, zoals de automatische brandbestrijdingsinstallatie (of blusinstallatie) en het overdruksysteem, worden in een volgende fase van dit onderzoek meegenomen in de bepaling van de AST.

De gebouwhoogte is in dit onderzoek gedefinieerd als de bovenzijde van de hoogstgelegen vloer van een verblijfsgebied. Daarnaast is als uitgangspunt genomen dat er op die hoogstgelegen vloer een brandweerinzet wordt gedaan. Voor de bepaling van het aantal bouwlagen in een gebouw wordt uitgegaan van een verdiepingshoogte van 3 meter (bovenkant vloer tot bovenkant vloer). Dit resulteert in de uitgangspunten die genoemd staan in onderstaande tabel 2.2.

Tabel 2.2: Uitgangspunten met betrekking tot het aantal bouwlagen

Hoogte hoogste verdiepingvloer [m]	Aantal veronderstelde bouwlagen [-]
20	6
70	23
200	66
400	133

Voor de bepaling van de verplaatsingstijd via trappenhuizen en liften wordt de verdiepingshoogte verondersteld een kansverdeling te zijn (zie paragraaf 2.3.1).

2.2.2 Modelbrandweerinzet

In paragraaf 1.4 is de brandweerinzet beschreven waarvan in dit onderzoek is uitgegaan. De beschrijving van de preferente brandweerinzet is niet direct bruikbaar bij de RST-analyse. Daarom wordt de brandweerinzet in deze paragraaf vereenvoudigd en geschematiseerd naar een 'modelbrandweerinzet' met daarin gebeurtenissen die zowel opeenvolgend als gelijktijdig kunnen plaatsvinden. Als onderscheid wordt gebruikgemaakt van de verschillende gebouwhoogtes zoals beschreven in de voorgaande paragraaf en paragraaf 1.4.

De eerste vijf gebeurtenissen zijn voor alle modelbrandweerinzetten grotendeels gelijk en betreffen:

1. start brand
2. signaleringstijd
3. alarmeringstijd
4. opkomsttijd
5. werkzaamheden bij aankomst.

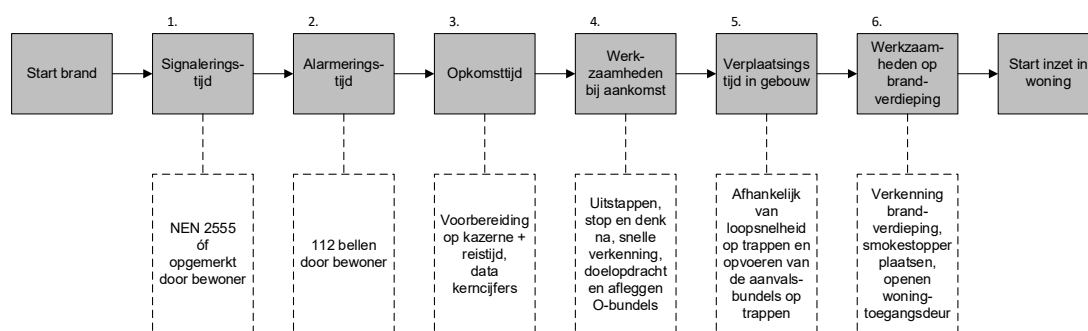
Deze onderdelen zijn alleen grafisch weergegeven in de modelbrandweerinzet tot 20 meter gebouwhoogte. Ze zijn weggelaten in de overige modelbrandweerinzetten. Een volledige en uitvergroete weergave van de modelbrandweerinzetten is opgenomen in bijlage 3.

Tot 20 meter

Op basis van de voorgeschreven brandveiligheidsvoorzieningen worden in gebouwen tot een hoogte van 20 meter de volgende gebeurtenissen met betrekking tot de brandweerinzet verondersteld:

- > Ontstaan van de brand.
- > Signaleren van de brand door woningrookmelder (NEN 2555) of door bewoners.
- > Alarmering van de brandweer door het bellen van 112.
- > Opkomsttijd van de brandweer tot aan de aankomst bij het gebouw.
- > Werkzaamheden direct na aankomst: (rondom)verkenning, afleggen van materiaal tot aan het trappenhuis, geven van de doelopdracht, et cetera.
- > Verplaatsingstijd in het gebouw: verticale verplaatsing via het trappenhuis met blusmateriaal.
- > Werkzaamheden op de brandverdieping: verkenning, rookverspreiding beperken, openen van de woningtoegangsdeur.

In Figuur 2.1 zijn de gebeurtenissen van de modelbrandweerinzet in gebouwen tot 20 meter hoog schematisch weergegeven.



Figuur 2.1 Modelbrandweerinzet in gebouwen tot 20 meter hoog

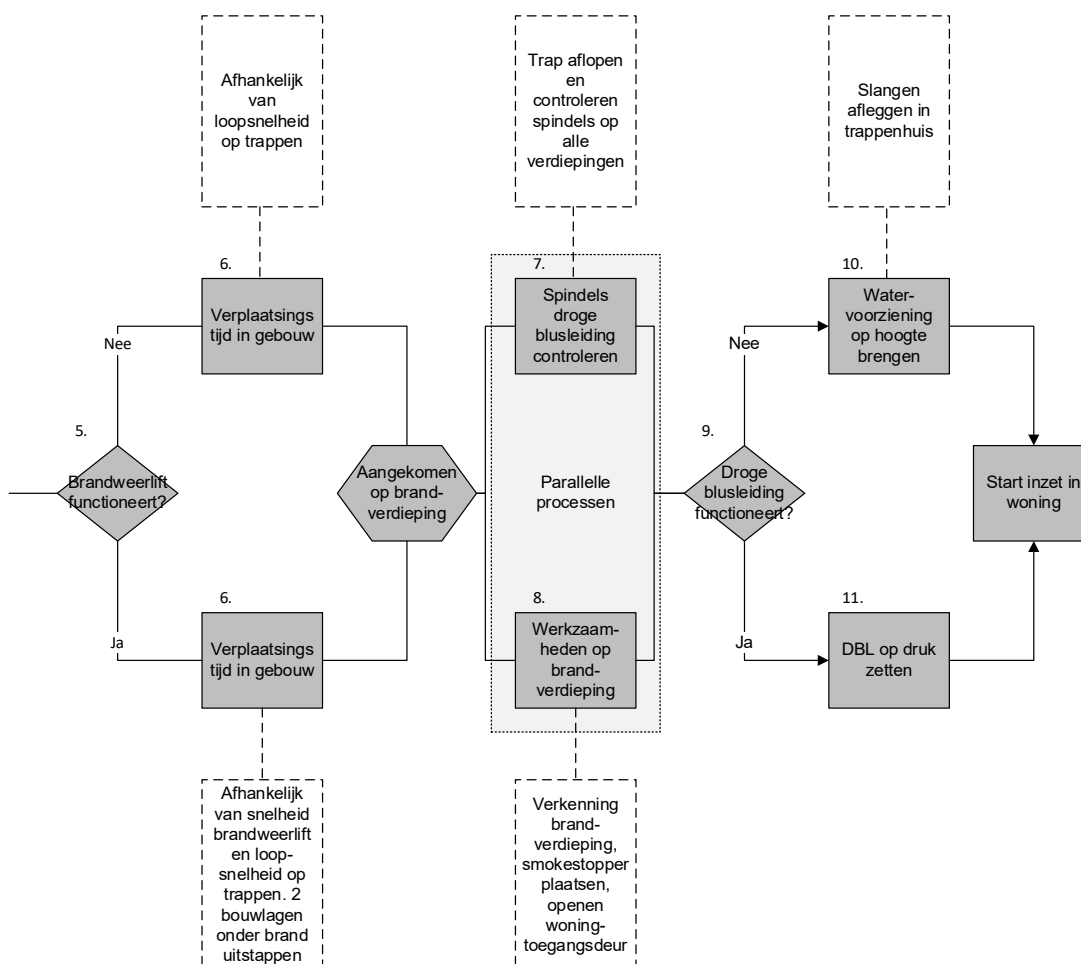
Van 20 tot 70 meter

Op basis van de voorgeschreven brandveiligheidsvoorzieningen worden in gebouwen met een hoogte van 20 tot 70 meter de volgende gebeurtenissen binnen de brandweerinzet verondersteld:

- > Ontstaan van de brand.
- > Signaleren van de brand door woningrookmelder (NEN 2555) of door bewoners.
- > Alarmering van de brandweer door het bellen van 112.
- > Opkomsttijd van de brandweer tot aan de aankomst bij het gebouw.
- > Werkzaamheden direct na aankomst: (rondom)verkenning, afleggen van materiaal tot aansluitpunt droge blusleiding, geven van de doelopdracht.
- > Verplaatsingstijd in het gebouw: verticale verplaatsing via brandweerlift tot twee bouwlagen onder de brandverdieping. Verdere verplaatsing naar de brandverdieping via het trappenhuis. Als de brandweerlift faalt, vindt de verticale verplaatsing alleen plaats via het trappenhuis.
- > Werkzaamheden op de brandverdieping: aankoppelen op de droge blusleiding, verkenning, rookverspreiding beperken, openen van de woningtoegangsdeur.
- > Parallel aan het voorgaande onderdeel worden de aansluitpunten van de droge blusleiding gecontroleerd. Deze controle gebeurt handmatig. Hiertoe worden de trappen vanaf de bovenste verdieping van het pand afgedaald.

- > Als de droge blusleiding faalt, moet er alsnog bluswater op hoogte worden gebracht via slangen door het trappenhuis.

In Figuur 2.2 zijn de gebeurtenissen vanaf gebeurtenis 5 van de modelbrandweerinzet in gebouwen van 20 meter tot 70 meter schematisch weergegeven.



Figuur 2.2 Modelbrandweerinzet in gebouwen van 20 tot 70 meter hoog vanaf gebeurtenis 5

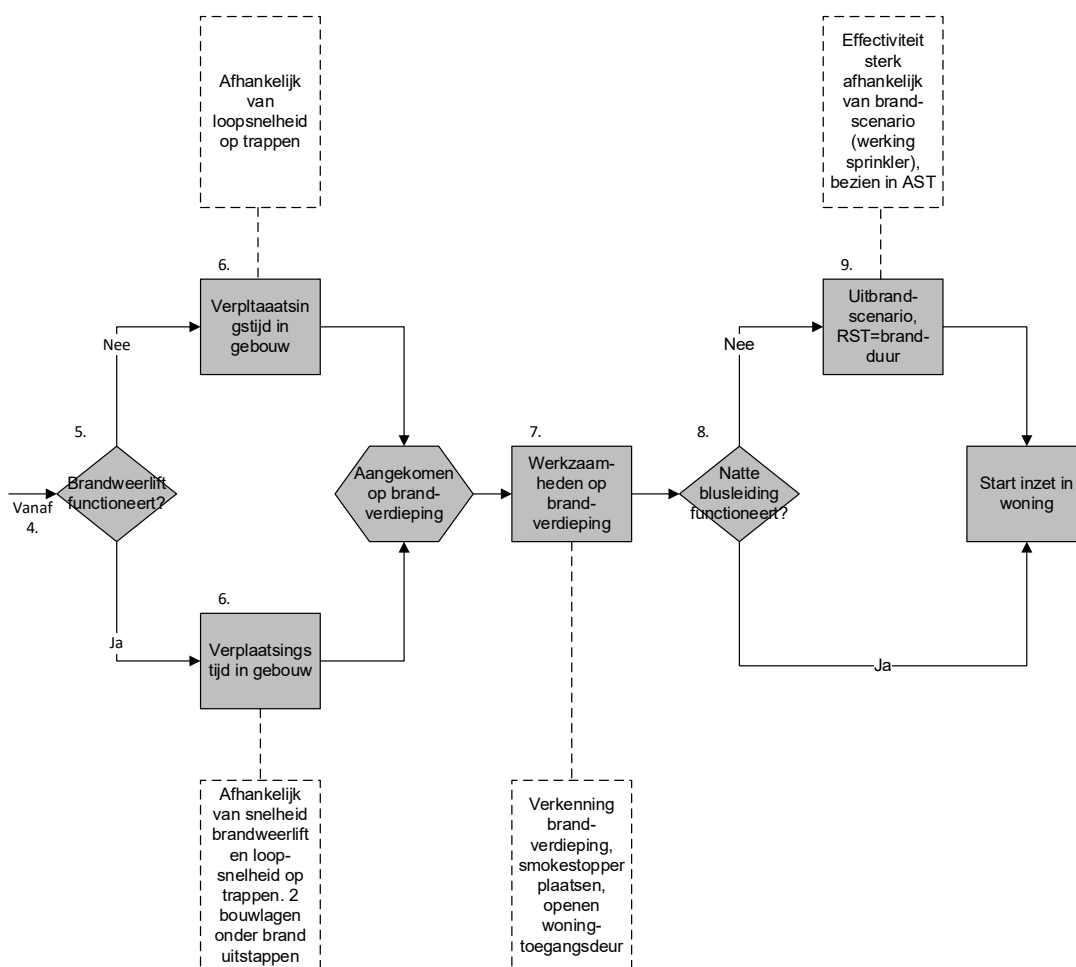
Hoger dan 70 meter

Op basis van de voorgeschreven brandveiligheidsvoorzieningen is in gebouwen met een hoogte van hoger dan 70 meter de volgende brandweerinzet te verwachten:

- > Ontstaan van de brand.
- > Signaleren van de brand door de automatische blusinstallatie. Deze installatie meldt ook automatisch door naar de brandweer.
- > Opkomsttijd van de brandweer tot aan de aankomst bij het gebouw. De tweede TS bereidt zich voor op de inzet op de brandverdieping (zie paragraaf 1.4.3).
- > Werkzaamheden direct na aankomst: bemannen van de commandoruimte, rondom-verkenning, afleggen van materiaal, geven van de doelopdracht.
- > Verplaatsingstijd in het gebouw: verticale verplaatsing via brandweerliften tot twee bouwlagen onder de brandverdieping. Verdere verplaatsing naar de brandverdieping via het trappenhuis. Als de brandweerlift faalt, vindt de verticale verplaatsing alleen plaats via het trappenhuis.

- > Werkzaamheden op de brandverdieping: aankoppelen op natte blusleiding, verkenning, rookverspreiding beperken, openen van de woningtoegangsdeur.
- > Als de natte blusleiding faalt, is er geen adequate brandbestrijding mogelijk. Een reguliere TS levert onvoldoende druk om water op te kunnen voeren in hoge gebouwen. Uitgangspunt is dan dat het compartiment (de woning) uitbrandt.

In Figuur 2.3 zijn de gebeurtenissen vanaf gebeurtenis 5 van de modelbrandweerinzet in gebouwen van 20 meter tot 70 meter schematisch weergegeven.



Figuur 2.3 Modelbrandweerinzet in gebouwen van 20 tot 70 meter hoog vanaf gebeurtenis 5

Sprinklerinstallatie

In dit onderzoek is als uitgangspunt aangehouden dat wanneer de natte blusleiding faalt, er geen adequate brandbestrijding kan plaatsvinden. Als de sprinklerinstallatie correct functioneert en de brand beperkt houdt in omvang, is het echter de vraag of dit uitgangspunt valide is. Mogelijk kan de brand dan alsnog worden bestreden met bijvoorbeeld draagbare blustoestellen.

Fysieke beperkingen van de brandweermens

In de modelbrandweerinzetten voor gebouwen hoger dan 20 meter wordt ervan uitgegaan dat brandweermensen met bekpakking en slangen een grote hoogte in het gebouw via trappen kunnen bereiken. In de praktijk kan dit echter niet verwacht worden. Vanaf een hoogte van ongeveer 30 meter is het namelijk niet meer realistisch om dergelijke fysieke inspanningen te veronderstellen.

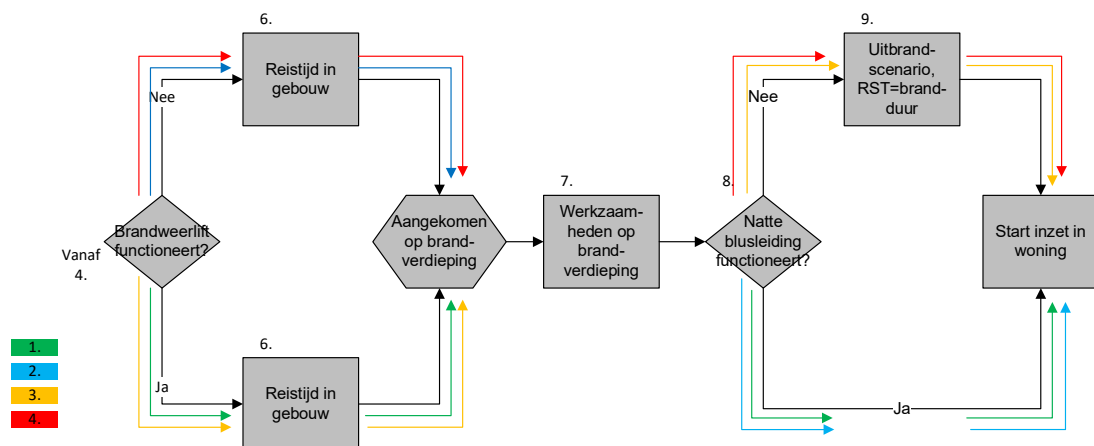
2.2.3 Aangehouden scenario's bij scenario specifieke RST

Omdat de voorgeschreven voorzieningen volgens de bouwregelgeving afhankelijk zijn van de gebouwhoogte, wordt daarin een onderscheid gemaakt. Dit is in de volgende tabel weergegeven.

Tabel 2.3 Aangehouden scenario's

0-20 meter	20-70 meter	70+
1 Basis (geen voorzieningen)	1 Brandweerlift werkt Droge blusleiding werkt	1 Brandweerlift werkt Natte blusleiding werkt
	2 Brandweerlift faalt Droge blusleiding werkt	2 Brandweerlift faalt Natte blusleiding werkt
	3 Brandweerlift werkt Droge blusleiding faalt	3 Brandweerlift werkt Natte blusleiding faalt
	4 Brandweerlift faalt Droge blusleiding faalt	4 Brandweerlift faalt Natte blusleiding faalt

Om de scenario's beter te duiden, is in Figuur 2.4 een voorbeeld gegeven. Daarin zijn de aangehouden scenario's voor gebouwen hoger dan 70 meter weergegeven in de modelbrandweerinzet.



Figuur 2.4 Aangehouden scenario's weergegeven in modelbrandweerinzet in gebouw hoger dan 70 meter

2.2.4 Betrouwbaarheid van voorzieningen in integrale RST

In de aanpak voor de integrale RST wordt de betrouwbaarheid van de brandweerlift en de blusleiding meegewogen in het eindresultaat. De betrouwbaarheid (P_{succes}) geeft aan wat de kans is dat de brandveiligheidsvoorziening correct functioneert. Dit is een waarde tussen 0 en 1. Een betrouwbaarheid van 0,83 betekent, dat de voorziening in 83 % van de gevallen correct functioneert. Dit is uitvoeriger beschreven in paragraaf 1.5.3.

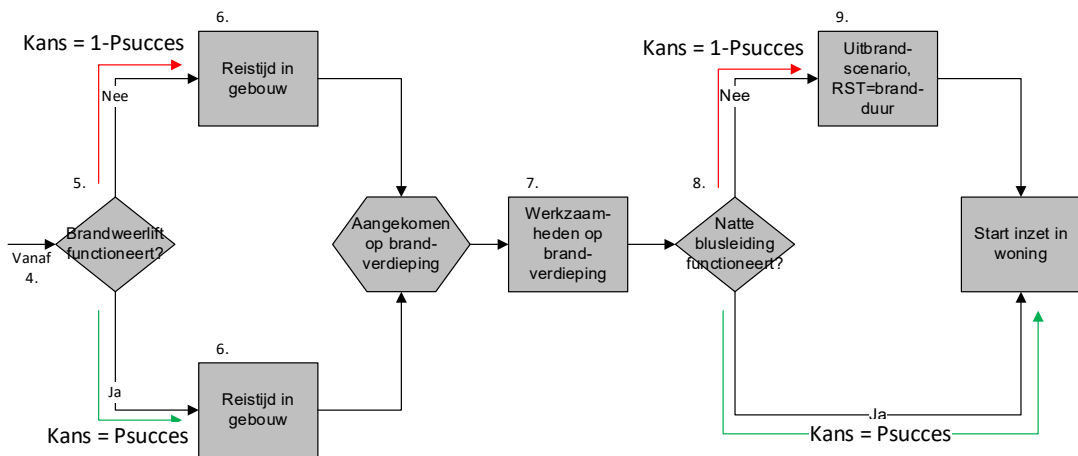
In het geval van redundant uitgevoerde voorzieningen geldt dat de betrouwbaarheid:

$$P_{succes, redundant} = 1 - (1 - P_{succes})^2$$

Veronderstelde mate van redundantie

Door de gevolgen voor de betrouwbaarheid van redundantie op deze wijze mee te wegen, wordt aangenomen dat brandveiligheidsvoorzieningen volledig onafhankelijk van elkaar kunnen functioneren. Dit betekent dat zij technisch onafhankelijk (bijvoorbeeld mechanisch of elektrotechnisch) moeten zijn. Daarnaast mogen gebeurtenissen die eigenlijk los staan van de voorzieningen (bijvoorbeeld instroming van water in de brandweerliftschacht) niet beide brandveiligheidsvoorzieningen onbruikbaar maken.

Om beter te duiden hoe de Monte-Carlo-simulatie bij de integrale aanpak wordt uitgevoerd, is in Figuur 2.4 een voorbeeld gegeven. Daarin is aangegeven hoe wordt besloten welke 'route' door de modelbrandweerinzet wordt genomen op basis van de betrouwbaarheid (P_{succes}) van de brandveiligheidsvoorzieningen.



Figuur 2.5 Implementatie betrouwbaarheid (P_{succes}) in modelbrandweerinzet weergegeven voor een gebouw hoger dan 70 meter

Implementeren betrouwbaarheid in Monte-Carlo-simulatie

De betrouwbaarheid van brandveiligheidsvoorzieningen is in de Monte Carlo simulaties ingevoerd middels een Bernoulli-verdeling. Bij een Bernoulli-verdeling wordt een dataset gegenereerd waarbij de gegenereerde waarden een 0 en 1 kunnen zijn. De kans dat een bepaalde waarde wordt gegenereerd is:

$$\begin{aligned} \text{Kans op } 0 &= P_{succes} \\ \text{Kans op } 1 &= 1 - P_{succes} \end{aligned}$$

Uit de gegenereerde dataset wordt een willekeurige waarde gekozen. De gekozen waarde bepaalt of de voorziening in de iteratie correct functioneert of niet. Het wel of niet correct functioneren bepaalt het verloop van de modelbrandweerinzet die in de iteratie van de Monte Carlo simulaties wordt verondersteld.

2.3 Variabelen in Monte Carlo simulaties

In deze paragraaf worden de variabelen die gebruikt zijn bij de Monte-Carlo-simulaties toegelicht. Deze variabelen worden samen met de uitgangspunten voor het gebouw en de brandweerinzet gebruikt bij de analyse van de RST.

2.3.1 Gebruikte kansverdelingen

In dit onderzoek is gebruikgemaakt van data uit literatuur, data in eigen beheer, zelf uitgevoerde analyses en inschattingen om de verschillende onderdelen uit de modelbrandweerinzetten te kwantificeren. De inschattingen zijn afgestemd met de klankbordgroep. Een overzicht daarvan is in Tabel 2.4 gegeven. In bijlage 4 zijn de variabelen per onderdeel gemotiveerd.

Soort asymmetrische verdeling

In dit onderzoek is ervoor gekozen om voor continue kansverdelingen die asymmetrisch verdeeld zijn, zoals de opkomsttijd, een gammaverdeling aan te houden. Het voordeel van de gammaverdeling is dat deze geen 0-waarden of negatieve waarden kan geven en flexibel is in gebruik.

Statistische centrummaten en spreidingsmaten bij kansverdelingen

In dit onderzoek worden normaalverdelingen, gammaverdelingen en uniforme kansverdelingen gebruikt. Elke verdelingsvorm wordt gekenmerkt door verschillende parameters die iets zeggen over de spreiding in de kansverdeling. Voor normaalverdelingen zijn het gemiddelde (μ) en de standaardafwijking (σ) gebruikelijke parameters. Bij een gammaverdeling wordt de spreiding bepaald door de parameters α (de vormparameter), β (de schaalparameter) en loc (verschuiving van de curve op de x-as). Een uniforme verdeling wordt getypeerd door een minimale en maximale waarde.

Tabel 2.4 Gehanteerde kansverdelingen per stap in de modelbrandweerinzet

	Type verdeling	μ	σ	α	loc	β	min	max	bron
Detectietijd < 70m [s]	Gamma	298	189	2,5	0	120	-	-	Analyse
Alarmeringstijd <70m [s]	Normaal	60	12	-	-	-	-	-	Ingeschat
Detectietijd > 70m [s]	Normaal	172	40	-	-	-	-	-	Literatuur
Opkomsttijd** [min]	Gamma	10,0	2,8	8	1	1	-	-	Data NIPV
Handelingen bij aankomst [min]	Gamma	Afhankelijk van hoogte gebouw							Ingeschat
Verdiepingshoogte [cm]	Uniform	-	-	-	-	-	260	380	Ingeschat
Loopsnelheid op trap omhoog [m/s]	Normaal	0,7	0,1	-	-	-	-	-	Literatuur
Loopsnelheid op trap omlaag [m/s]	Normaal	0,9	0,15	-	-	-	-	-	Literatuur
Snelheid brandweerlift [m/s]	Uniform	Afhankelijk van hoogte gebouw							Analyse

Handelingen op brandverdieping [min]	Gamma	8	5,7	2	0	4	-	-	Ingeschat
Uitbrandsценario [min]	Gamma	60	10	-	-	-	-	-	Analyse
* Parameters voor gammaverdeling									
** Opkomsttijd voor eerste TS, voor tweede TS wordt curve met 2 minuten naar rechts verschoven.									

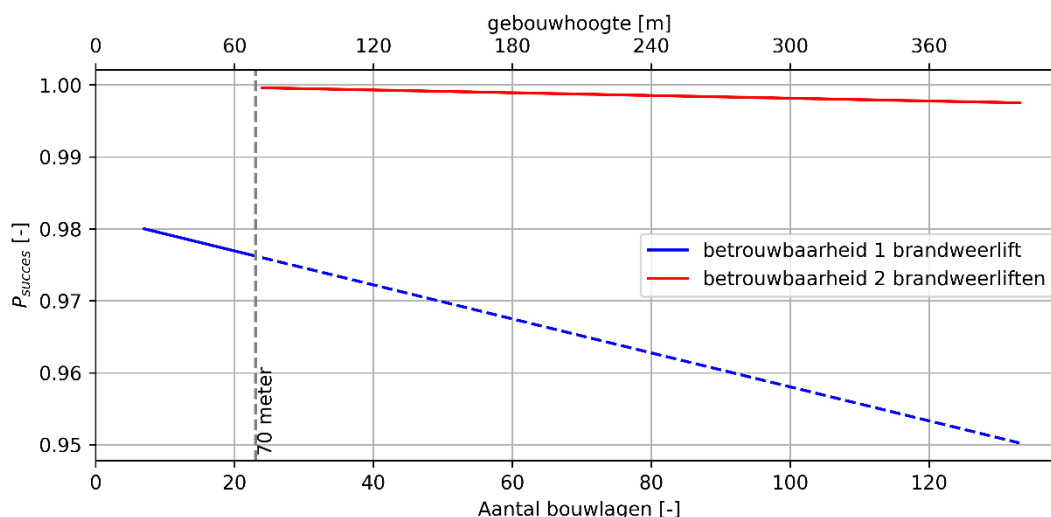
2.3.2 Betrouwbaarheid van de voorzieningen

Brandweerlift

Omdat er geen gegevens over beschikbaar zijn, is de betrouwbaarheid van brandweerliften ingeschat. Daarbij is uitgegaan van de volgende zaken:

- > De betrouwbaarheid is afhankelijk van de hoogte van een gebouw. In hogere gebouwen hebben brandweerliften doorgaans meer installatie-onderdelen die er bij falen toe kunnen leiden dat de lift faalt. Bovendien zijn er meer stopplaatsen met meer deuren en sensoren die de betrouwbaarheid negatief beïnvloeden
- > In gebouwen hoger dan 70 meter is sprake van een dubbel uitgevoerde brandweerlift. Uitgangspunt is dat deze (installatietechnisch) volledig onafhankelijk van elkaar zijn.
- > Omdat brandweerliften doorgaans ook als reguliere lift worden gebruikt, is het aannemelijk dat defecten voor het functioneren als gewone lift snel worden opgemerkt en verholpen. Zodoende is de betrouwbaarheid hoog. De kans op incorrect functioneren is ingeschat op 3-5 %, afhankelijk van de gebouwhoogte.

Op basis hiervan zijn de discrete kansen gekozen zoals weergegeven in Figuur 2.6.



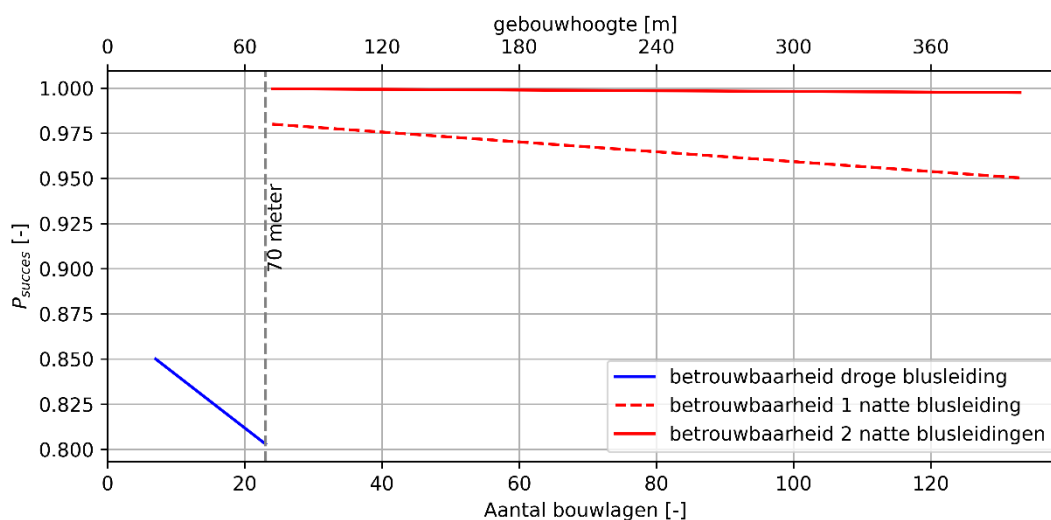
Figuur 2.6 Kansen met betrekking tot de betrouwbaarheid van de brandweerlift(en)

Blusleidingen

Omdat er geen gegevens over beschikbaar zijn, is de betrouwbaarheid van droge of natte blusleidingen ingeschat. Daarbij zijn de volgende uitgangspunten gekozen:

- > De betrouwbaarheid is afhankelijk van de hoogte van een gebouw. In hogere gebouwen hebben blusleidingen doorgaans meer installatie-onderdelen die die er bij falen toe kunnen leiden dat de leiding faalt.

- > Uit casuïstiek blijkt dat droge blusleidingen soms niet correct kunnen functioneren. Een voorbeeld daarvan is gegeven in (Kobes et al., 2024). De kans op incorrect functioneren is aanwezig en ingeschat op 15-20 %, afhankelijk van de gebouwhoogte.
- > Natte blusleidingen staan continu op druk, waardoor aannemelijk is dat defecten aan de leidingen snel worden opgemerkt. De kans op incorrect functioneren is daarom kleiner dan het geval is bij een droge blusleiding en ingeschat op 2-5 %, afhankelijk van de gebouwhoogte. De leidingen worden in gebouwen hoger dan 70 meter daarnaast redundant uitgevoerd.



Figuur 2.7 Kansen met betrekking tot de betrouwbaarheid van de blusleiding(en)

2.4 Gevoeligheidsanalyse

Een onderdeel van dit onderzoek is om aan te geven welke onderdelen van de RST kunnen worden geverifieerd middels praktijkexperimenten. De experimenten zelf worden in deze fase van het onderzoek niet uitgevoerd. In deze fase wordt alleen bepaald welke onderdelen er het beste experimenteel onderzocht kunnen worden, mocht daar behoefte aan zijn. Daartoe wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Er is daarbij de keuze gemaakt om alleen in te gaan op de onderdelen die zijn ingeschat en die een groot aandeel hebben in het eindresultaat. De onderdelen die gebaseerd zijn op inschattingen zijn:

Kansverdelingen:

- > alarmeringstijd
- > handelingen bij aankomst
- > handelingen op de brandverdieping.

Betrouwbaarheid van de voorzieningen:

- > betrouwbaarheid van de brandweerlift en blusleidingen.

Als het aandeel voor wat betreft het eindresultaat naar verhouding groot is, zijn de ingeschatte uitgangspunten nader onderzocht.

Kansverdelingen

Bij de gevoeligheidsanalyse wordt beoordeeld wat de bijdrage van de bovengenoemde onderdelen van de modelbrandweerinzet aan de RST is. Dit wordt gedaan voor zowel het gemiddelde als voor de spreiding. De gemiddelden en spreiding van de uitgangspunten zijn bekend en reeds eerder in dit hoofdstuk beschreven. Het gemiddelde en de standaardafwijking van de RST volgen uit de RST-analyse. Daarom zijn geen nieuwe berekeningen nodig.

De statistische uitgangspunten zijn vergeleken met de resultaten voor scenario 1 uit de scenariospecifieke RST (zie paragraaf 3.2.1). Aanname is daarbij dat de bijdrage van de onderdelen in de andere scenario's in deze aanpak van vergelijkbare orde van grootte zijn.

Het onderdeel 'verdiepingshoogte' is ook ingeschat, maar draagt niet direct bij aan de RST. Het wordt gebruikt om de verplaatsingstijd te bepalen, zowel via de brandweerlift als via de trap. Er is voor gekozen om de gevolgen van de verdiepingshoogte voor de RST niet nader te bestuderen. Reden hiervoor is dat de verdiepingshoogte de RST-analyse naar verwachting maar heel beperkt beïnvloedt.

Betrouwbaarheid van de voorzieningen

Het belang van de aangenomen betrouwbaarheid van de brandveiligheidsvoorzieningen blijkt uit een vergelijking tussen de scenariospecifieke RST en de integrale RST. Uit de analyse blijkt echter niet direct welke gevolgen het wijzigen van de uitgangspunten heeft op de RST. Om dat te onderzoeken is op de uitgangspunten een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd (van Rede et al., 2024). Daarbij is de betrouwbaarheid van de brandveiligheidsvoorzieningen verminderd met 0,1 en is de Monte-Carlo-simulatie opnieuw uitgevoerd. De invloed van redundantie wordt opnieuw bepaald overeenkomstig paragraaf 2.3.2. De resultaten van de gevoeligheidsanalyse worden vervolgens vergeleken met de resultaten van de integrale RST.

2.5 Kwaliteit van het onderzoek

In deze paragraaf wordt ingegaan op de kwaliteit van het uitgevoerde onderzoek. Er wordt daarbij stilgestaan bij de interne en externe validiteit en betrouwbaarheid van het onderzoek.

Interne en externe validiteit

Interne validiteit gaat over de geloofwaardigheid van het onderzoek: wordt er door de onderzoeksmethode en de (kwaliteit van) uitvoering daarvan een juist beeld verkregen van de realiteit die wordt onderzocht? Externe validiteit gaat over de kwaliteit van de gebruikte data: hoe generaliseerbaar zijn die data over verschillende situaties?

De interne validiteit is in dit onderzoek zoveel mogelijk geborgd door te kiezen voor een probabilistische onderzoeksmethodiek. Daarmee wordt onderkend dat een brandweerinzet in gebouwen niet te beschrijven is in één scenario, maar dat de realiteit gevormd wordt door tal van mogelijke scenario's. Op die wijze wordt een zo realistisch mogelijk beeld van de RST verkregen. De kwaliteit van de uitvoering van het onderzoek is zo goed mogelijk geborgd door het uitvoeren van peer-reviews van zowel de uitgevoerde berekeningen als de inhoud van deze rapportage. De peer-reviews zijn uitgevoerd door personen die onderlegd zijn in methodiek die gebruikt is in dit onderzoek en door personen die kennis hebben van de

operationele brandweer. De probabilistische aard van het onderzoek zorgt daarnaast voor een breed toepassingsgebied (vanwege de grote hoeveelheid scenario's) en dus externe validiteit van de onderzoeksresultaten.

Betrouwbaarheid

De betrouwbaarheid van dit onderzoek is zo goed mogelijk geborgd door de methode en de uitgangspunten die daarbij gebruikt zijn grotendeels te baseren op wetenschappelijke literatuur. Als er geen data beschikbaar zijn, is duidelijk beschreven welke uitgangspunten zijn gehanteerd en waarom deze zijn gehanteerd. De literatuurstudie is uitgevoerd door verschillende personen, waardoor het zoekbereik is vergroot. De geprogrammeerde Python-code is gearchiveerd en kan worden opgevraagd.

Een aantal variabelen berust op inschattingen van de onderzoekers. Die variabelen zijn voorgelegd aan een klankbordgroep. Toch is het reëel te veronderstellen dat, wanneer die inschatting gemaakt wordt door een andere onderzoeker, nuances denkbaar zijn. In welke mate dergelijke nuances gevolgen hebben voor de onderzoeksresultaten, is ingeschat aan de hand van een gevoeligheidsanalyse.

3 Resultaten RST-analyse

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de analyse van de benodigde veilige tijd voor brandweerinzet (RST) beschreven en geanalyseerd. Daarbij wordt eerst de scenario-specifieke RST behandeld, en daarna de integrale RST. Hoe beide methodes zijn opgebouwd, is beschreven in paragraaf 0. De uitgangspunten die bij de uitgevoerde Monte Carlo simulaties zijn gebruikt, staan beschreven in paragraaf 2.3.

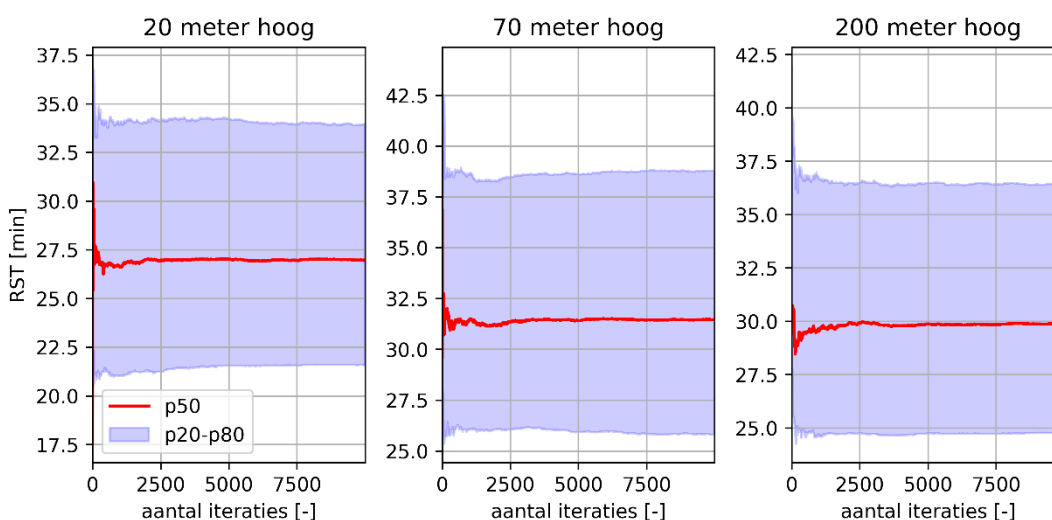
Aangehouden centrummaat en percentielen

In dit onderzoek is gekozen om de mediaan (50^{ste} percentiel en daarmee de middelste waarde van de dataset) als centrummaat te gebruiken voor het weergeven van de resultaten. In tegenstelling tot het gemiddelde (μ) wordt de mediaan minder sterk beïnvloed door uitschieters in de dataset. Dit is met name relevant bij datasets die asymmetrisch zijn verdeeld. Dat is hier het geval.

Om de spreiding rond de mediaan weer te geven, worden het 20^{ste} en 80^{ste} percentiel gebruikt. Als in de lopende tekst waarden worden genoemd, betreft dit het 80^{ste} percentiel. Met andere woorden: het is de waarde die in 80 % van de gevallen wordt gehaald. In specifieke gevallen wordt ook het 95^{ste} percentiel getoond in figuren. Het 95^{ste} percentiel geeft zicht op de extremen van de kansverdeling.

3.1 Beoordeling aantal iteraties Monte Carlo simulaties

In paragraaf 1.5.1 is beschreven dat het aantal iteraties van de Monte-Carlo-simulaties belangrijk is voor het resultaat. In Figuur 3.1 is daarom de ontwikkeling van de RST weergegeven als functie van het uitgevoerde aantal iteraties in de simulaties. De getoonde resultaten zijn afkomstig van de integrale RST. Die methode is maatgevend, omdat daarin de meeste variabelen worden gebruikt.

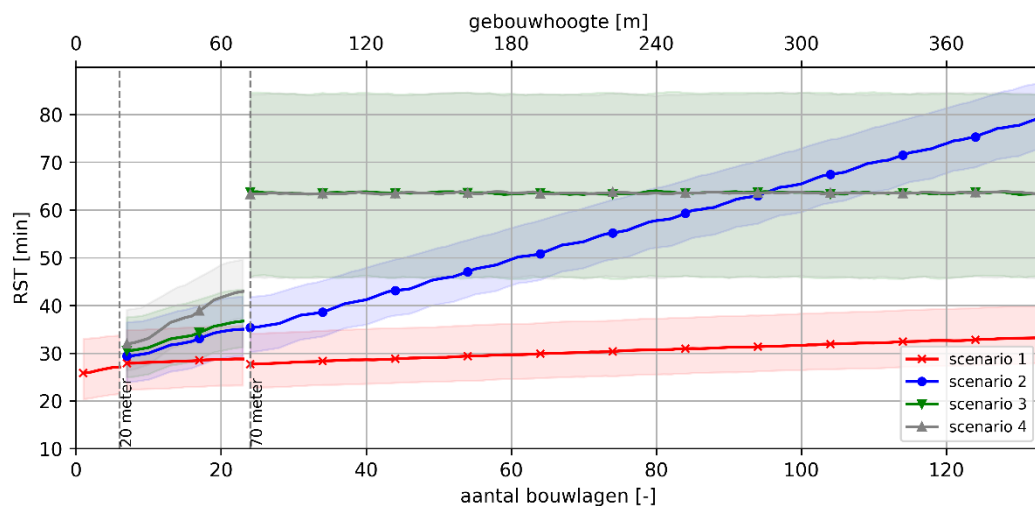


Figuur 3.1 Ontwikkeling 50^{ste}, 20^{ste} en 80^{ste} percentiel met aantal uitgevoerde iteraties voor een gebouw van 20, 70 en 200 meter hoog

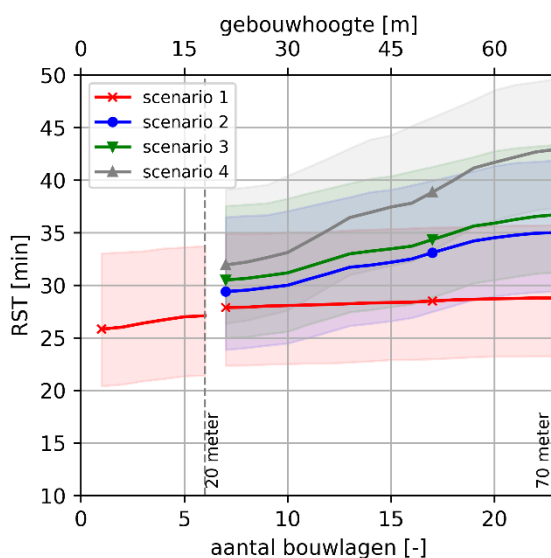
Uit Figuur 3.1 is op te maken dat de RST na ongeveer 3000 iteraties nauwelijks meer wijzigt. Het aangehouden aantal iteraties (10.000) is daarmee voldoende om een nauwkeurig beeld te krijgen van de RST.

3.2 Scenariospecifieke RST

Bij de scenariospecifieke RST wordt het effect van het wel of niet correct functioneren van brandveiligheidsvoorzieningen in het gebouw inzichtelijk gemaakt middels specifieke scenario's. In scenario 1 werken alle voorzieningen. In scenario 2 faalt de brandweerlift. In scenario 3 faalt de blusleiding en in scenario 4 falen zowel de brandweerlift als de blusleiding. Een nadere omschrijving van deze scenario's is opgenomen in paragraaf 2.1.4. Een overzicht van de resultaten van de scenariospecifieke RST is weergegeven in Figuur 3.2, Figuur 3.2 en tabel B5.1. In de figuren wordt de mediaan weergegeven als een lijn. Het vlak om de lijn heen betreft het gebied tussen het 20^e en 80^e percentiel.



Figuur 3.2 Scenariospecifieke RST voor alle bouwlagen



Figuur 3.3 Scenariospecifieke RST tot een gebouwhoogte van 70 meter

Tabel 3.1 Berekende RST voor verschillende gebouwhoogtes

Scenario	RST [min] bij gebouwhoogte [m], 80 ^{ste} percentiel			
<i>Gebouwhoogte</i>	20	70	200	400
1	34	36	37	40
2	n.v.t.	42*	60*	85*
3		43*	84**	84**
4		50*	84**	84**
*	Theoretisch uitgangspunt = verticale verplaatsing via trappenhuizen. Zeker voor hogere gebouwen kan dit fysiek onmogelijk zijn. Zie paragraaf 1.4.			
**	Uitbrandscenario: zie paragraaf 2.3.1 en bijlage 3.			

3.2.1 Werkende voorzieningen (scenario 1)

In scenario 1 is als uitgangspunt gehanteerd dat alle brandveiligheidsvoorzieningen correct werken. Uit de resultaten valt het volgende op te maken:

- > Voor gebouwhoogtes van 0-20 meter neemt de RST toe met de gebouwhoogte. Dit is het gevolg van de langere verplaatsingstijd in het gebouw.
- > Voor gebouwen tussen de 20-70 meter en 70-400 meter geldt hetzelfde. De toename wordt daar bepaald door de snelheid van de brandweerlift. Doordat een brandweerlift zich sneller verplaatst dan een persoon via de trap, is de helling van de lijn hier minder steil dan het geval is bij een gebouwhoogte tussen de 0-20 meter (waar immers geen brandweerlift aanwezig is).
- > Met een toenemende hoogte van het gebouw neemt de tijd toe die nodig is voor de 'handelingen bij aankomst' (rondomverkenning, slangen afleggen); zie paragraaf 2.3.1. Dit beïnvloedt de RST in hogere gebouwen.
- > De onzekerheid in de resultaten is in alle gevallen ongeveer gelijk.

3.2.2 Brandweerlift faalt (scenario 2)

In scenario 2 is als uitgangspunt gehanteerd dat de brandweerlift faalt. Uit de resultaten valt het volgende op te maken:

- > Doordat de brandweermensen zich via trappen naar de brandverdieping moeten verplaatsen, neemt de RST toe naarmate de hoogte van het gebouw toeneemt. De 'knik' die elke zes bouwlagen te zien is in de resultaten wordt veroorzaakt door de aangenomen rusttijd tijdens de verplaatsing.
- > De onzekerheid in de resultaten is in alle gevallen min of meer gelijk.

3.2.3 Blusleiding faalt (scenario 3)

In scenario 3 is als uitgangspunt gehanteerd dat de natte of droge blusleiding faalt. Uit de resultaten valt het volgende op te maken:

- > In gebouwen tussen de 20 en 70 meter zal de brandweer via trappenhuizen water moeten opvoeren naar de brandverdieping. Dit kost tijd, waardoor de RST iets sneller toeneemt naarmate de gebouwhoogte toeneemt, dan het geval is in scenario 2.
- > Voor gebouwen hoger dan 70 meter is de onzekerheid groter dan voor lagere gebouwen.

- > In gebouwen hoger dan 70 meter is aangenomen dat het opvoeren van water niet meer mogelijk is. Er bestaat dan geen mogelijkheid meer om de brand adequaat te bestrijden. De brandweer heeft geen andere keuze dan het brandcompartiment te laten uitbranden. Er is sprake van een uitbrandscenario, waardoor de RST gelijk is aan de brandduur (zie paragraaf 2.3.1.).

3.2.4 Brandweerlift en blusleiding falen (scenario 4)

In scenario 4 is als uitgangspunt gehanteerd dat alle brandveiligheidsvoorzieningen falen. Uit de resultaten valt het volgende op te maken:

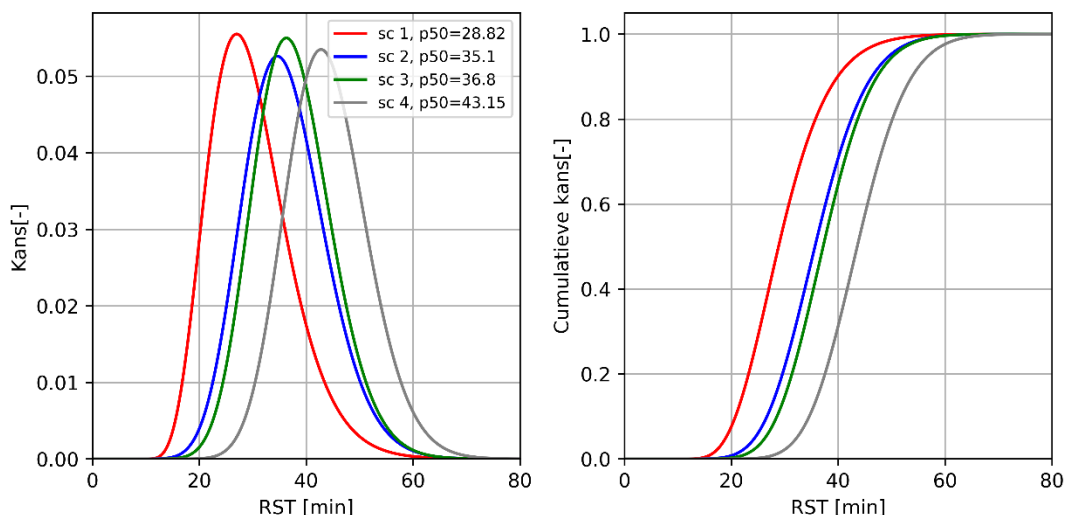
- > In gebouwen tussen de 20 en 70 meter zal de brandweer zich eerst via trappenhuisen moeten verplaatsen naar de brandverdieping. Doordat de droge blusleiding faalt, moet zij via de trappen water opvoeren naar de brandverdieping. Dit kost tijd, waardoor de RST sneller toeneemt naarmate de gebouwhoogte toeneemt dan het geval is in scenario's 2 en 3.
- > In gebouwen hoger dan 70 meter is het opvoeren van water niet mogelijk. Er bestaat dan geen mogelijkheid meer om de brand adequaat te bestrijden. De brandweer besluit het brandcompartiment uit te laten branden. Er is sprake van een uitbrandscenario, waardoor de RST gelijk is aan de brandduur (zie paragraaf 2.3.1.).
- > Voor gebouwen hoger dan 70 meter is de onzekerheid groter dan voor lagere gebouwen.

3.2.5 Belang van brandveiligheidsvoorzieningen

Uit de resultaten in de vorige paragraaf blijkt het belang van de voorgeschreven brandveiligheidsvoorzieningen. In de volgende alinea's is dit belang aan de hand van twee voorbeelden nader geduid.

Gebouw van 70 meter hoog

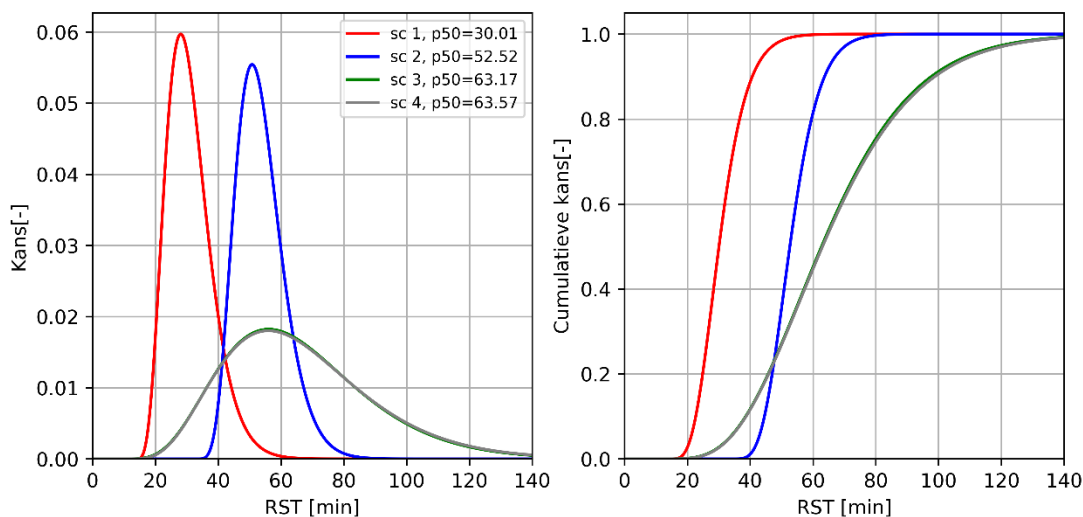
De scenariospecifieke resultaten voor een gebouw van 70 meter (23 bouwlagen) zijn weergegeven in Figuur 3.4. Als in een gebouw met 23 bouwlagen enkel de brandweerlift niet correct functioneert (scenario 2), bedraagt de mediaan (p50) van de RST ongeveer 35 minuten. Dit is ongeveer 6 minuut langer dan het geval is in het scenario waarin alle brandveiligheidsvoorzieningen correct werken (scenario 1 met een mediaan van 29 minuten). In scenario's 3 en 4 neemt dat verschil in tijdsduur verder toe. Het belang van een correct werkende droge blusleiding is iets groter dan het belang van een correct werkende brandweerlift (verschil tussen scenario 2 en 3). Het betreft echter een klein verschil.



Figuur 3.4 Verdelingen voor RST van een gebouw met 23 bouwlagen (70 meter hoog)

Gebouw 200 meter hoog

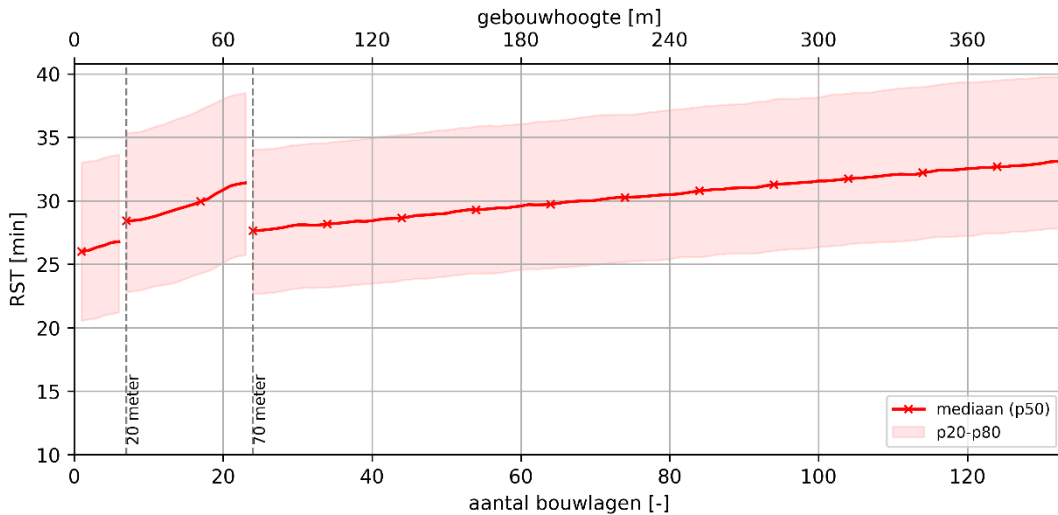
De scenariospecifieke resultaten voor een gebouw van 200 meter (67 bouwlagen) zijn weergegeven in Figuur 3.5. Als in een gebouw met 67 bouwlagen enkel de brandweerlift niet correct functioneert (scenario 2), bedraagt de mediaan (p50) van de RST ongeveer 53 minuten. Dit is ongeveer tweemaal zo groot als in het scenario waarin alle brandveiligheidsvoorzieningen correct werken (scenario 1 met een mediaan van 30 minuten). In scenario's 3 en 4 kan er geen inzet worden uitgevoerd in de woning waarin de brand zich bevindt. Er is dan sprake van een uitbrandscenario met een mediaan van de RST van ongeveer 63 minuten. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de brand zich niet verder uitbreidt buiten het brandcompartiment.



Figuur 3.5 Verdelingen voor RST van een gebouw met 67 bouwlagen (200 meter hoog)

3.3 Integrale RST

Uit de vorige paragraaf blijkt het belang van correct werkende brandveiligheidsvoorzieningen. Er wordt daar geen onderscheid gemaakt tussen scenario's met een lage of hoge kans, omdat de betrouwbaarheid van de voorzieningen niet wordt meegewogen in de resultaten. In de volgende paragrafen wordt stilgestaan bij de resultaten waarin die betrouwbaarheid wél is meegewogen. In Figuur 3.6 zijn de resultaten van de integrale RST weergegeven.



Figuur 3.6 Integrale RST voor alle bouwlagen

3.3.1 Resultaten integrale RST

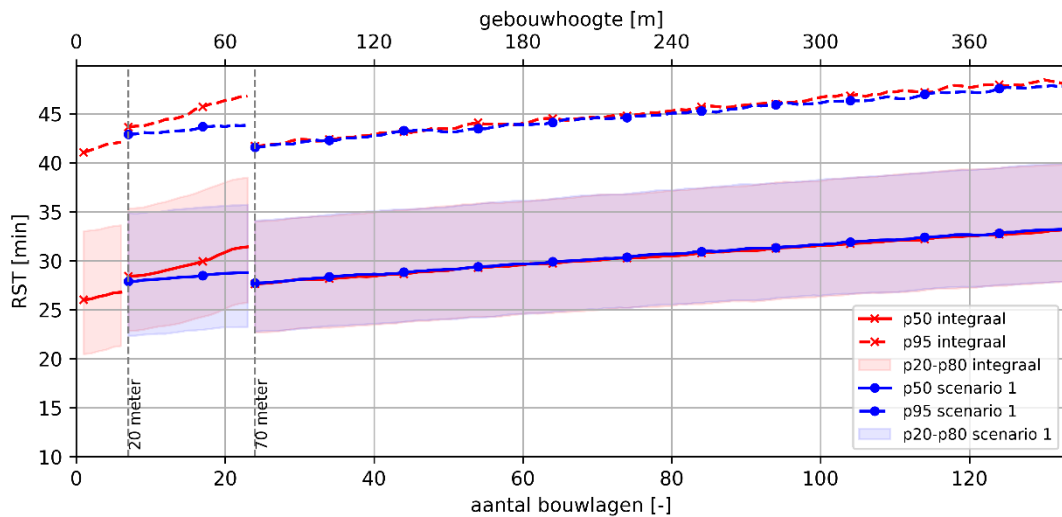
Uit de resultaten blijkt het volgende:

- > In gebouwen met een hoogte tot 20 meter zijn geen brandveiligheidsvoorzieningen voor de brandweer aanwezig. De RST is hier gelijk aan de RST voor scenario 1, zoals is weergegeven in paragraaf Figuur 3.2.
- > De brandweer kan in een gebouw van 70 meter hoog binnen ongeveer 38 minuten na het ontstaan van de brand starten met de inzet in de brandwoning waarin de brand zich bevindt.
- > De brandweer kan in een gebouw van 200 meter hoog binnen ongeveer 36 minuten na het ontstaan van de brand starten met de inzet in de woning waarin de brand zich bevindt.
- > De brandweer kan in een gebouw van 400 meter hoog binnen ongeveer 40 minuten na het ontstaan van de brand starten met de inzet in de woning waarin de brand zich bevindt.

Een brandweerinzet in een gebouw met een hoogte tussen 70 en circa 300 meter heeft op basis van de resultaten een kortere RST dan een inzet in een gebouw met een hoogte tussen de 20 en 70 meter. Vanaf een gebouwhoogte boven de 300 meter neemt de RST voor een brandweerinzet toe. De betrouwbaarheid van de brandveiligheidsvoorzieningen is bepalend voor de RST en voor de verschillen in resultaten tussen de verschillende gebouwhoogten.

3.3.2 Het belang van brandveiligheidsvoorzieningen

Uit de vorige paragraaf blijkt dat de betrouwbaarheid van de brandveiligheidsvoorzieningen de uitkomst van de RST-analyse sterk beïnvloedt. Dit is in Figuur 3.7 grafisch weergegeven door de resultaten van de scenariospecifieke RST voor scenario 1 te vergelijken met de resultaten van de integrale RST. In de figuur wordt ook het 95^{ste} percentiel getoond om de gevolgen van de betrouwbaarheid voor de extremen van de rekenresultaten van de RST te duiden.



Figuur 3.7 Integrale RST vergeleken met de RST voor scenario 1

Uit de resultaten kan het volgende worden opgemaakt:

- > De integrale RST voor gebouwen met een hoogte tussen 20 en 70 meter is langer dan die voor het scenario waarin alle brandveiligheidsvoorzieningen correct functioneren. Situaties waarin een of beide falen, beïnvloeden de integrale RST.
- > De integrale RST voor gebouwen met een hoogte tussen 70 en 400 meter is vrijwel volledig gelijk aan de resultaten van scenario 1, zie paragraaf 3.2.1. Dit betekent dat de aangenomen betrouwbaarheid van de brandveiligheidsvoorzieningen zo hoog is, dat de kans op incorrect functioneren hiervan statistisch te verwaarlozen is.
- > De waarden voor de 95^{ste} percentiel laten dezelfde trends zien. De betrouwbaarheid van de voorzieningen beïnvloedt de extremen van de RST-verdeling niet.

3.4 Conclusie RST-analyse

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de RST-analyse beschreven. De benodigde veilige tijd voor brandweerinzet (RST) is samen met de gebouwhoogte weergegeven in tabel 3.2 op de volgende pagina.

Tabel 3.2 Resultaten voor de scenariospecifieke RST

Scenario	RST [min] bij gebouwhoogte [m], 80 ^{ste} percentiel			
	20	70	200	400
<i>Gebouwhoogte</i>	20	70	200	400
1	34	36	37	40
2	n.v.t.	42*	60	85
3		43*	84	84
4		50*	84	84

Uit deze rekenresultaten blijkt dat de RST toeneemt met de hoogte van het gebouw en dat het correct werken of falen van brandveiligheidsvoorzieningen in het gebouw essentieel is voor een effectieve brandweerinzet. Het falen van de voorzieningen leidt tot een situatie waarin een lange RST mogelijk is.

In de integrale RST resultaten is de betrouwbaarheid van de brandveiligheidsvoorzieningen meegewogen. Voor gebouwen met een hoogte tussen de 20 en 70 meter is de invloed van de betrouwbaarheid van de brandveiligheidsvoorzieningen van groter belang daar voor gebouwen hoger dan 70 meter. De brandveiligheidsvoorzieningen zijn in gebouwen hoger dan 70 meter betrouwbaarder uitgevoerd, met name vanwege de redundantie in de systemen.

Tabel 3.3 Resultaten voor de integrale RST

	RST [min] bij gebouwhoogte [m], 80 ^{ste} percentiel			
	20	70	200	400
<i>Gebouwhoogte</i>	20	70	200	400
Integrale RST	34	38	37	40

Het blijkt dat de RST toeneemt met de gebouwhoogte. De aanwezige brandveiligheidsvoorzieningen en de betrouwbaarheid daarvan beïnvloeden die toename. In gebouwen tussen de 20 en 70 meter hoog neemt de RST sneller toe met de gebouwhoogte dan in de andere beschouwde gebouwhoogtes. Hierdoor ontstaat de situatie dat in gebouwen tussen 20 tot 70 meter de benodigde veilige tijd voor een brandweerinzet langer is dan in een gebouw hoger dan 70 meter. Het omslagpunt ligt op een gebouwhoogte van ongeveer 300 meter.

3.5 Resultaten gevoeligheidsanalyse

In deze paragraaf worden de resultaten van de nadere analyse van de rekenresultaten besproken. De analyse heeft tot doel inzicht te geven in de invloed van verschillende onderdelen van de in dit onderzoek gehanteerde modelbrandweerinzet op de resultaten van de RST. Daarbij worden alleen onderdelen geanalyseerd waarvan de uitgangspunten zijn ingeschat. Dit zijn:

- > Kansverdelingen:
 - alarmeringstijd
 - handelingen bij aankomst
 - handelingen op de brandverdieping
- > Betrouwbaarheid van de brandweerlift en blusleidingen.

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse worden vergeleken met de resultaten van de integrale RST (zie paragraaf 3.3).

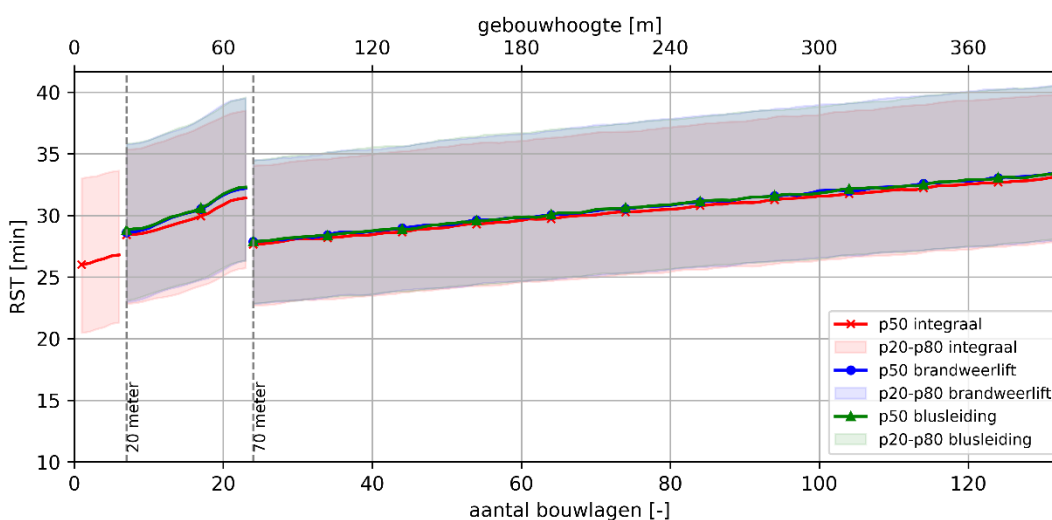
3.5.1 Kansverdelingen

In bijlage 5 zijn de rekenresultaten voor de gevoeligheidsanalyse van de kansverdelingen opgenomen. Hieronder worden deze resultaten beschouwd. Het blijkt dat:

- > Met name het onderdeel 'handelingen op brandverdieping' van belang is voor het rekenresultaat. Dit onderdeel draagt voor ongeveer 25-30 % bij aan de gemiddelde RST. Bovendien is de invloed van de standaardafwijking van die verdeling groot in vergelijking met de andere onderdelen.
- > Het onderdeel 'handelingen bij aankomst' draagt in beperktere mate bij aan zowel het gemiddelde als de spreiding van de RST, maar is wel relevant. Bovendien neemt de bijdrage toe bij hogere gebouwen.
- > De alarmeringstijd levert in vergelijking met voorgaande onderdelen een beperkte bijdrage aan de totale RST.

3.5.2 Betrouwbaarheid brandveiligheidsvoorzieningen

In deze gevoeligheidsanalyse zijn de betrouwbaarheden van de brandveiligheidsvoorzieningen verlaagd met 0,1 (of 10 %). De gevolgen van redundantie zijn opnieuw vastgesteld conform paragraaf 2.3.2. In Figuur 3.8 zijn de resultaten van de Monte-Carlo-simulaties met de aangepaste betrouwbaarheden weergegeven en vergeleken met de resultaten van de integrale RST.



Figuur 3.8 Resultaat gevoeligheidsanalyse voor betrouwbaarheid van voorzieningen

Tabel 3.4 Rekenresultaten gevoeligheidsanalyse

	RST [min] bij gebouwhoogte [m], 80 ^{ste} percentiel			
Gebouwhoogte	20	70	200	400
Integrale RST (rekenresultaat)	34	38	37	40
Resultaat gevoeligheidsstudie	n.v.t.	39	38	41

Uit de resultaten blijkt het volgende:

- > In gebouwen met een hoogte van meer dan 20 meter neemt de RST toe als de betrouwbaarheid van met name de droge blusleiding wordt verlaagd.
- > In gebouwen hoger dan 70 meter neemt het 50^{ste} percentiel van de RST niet of nauwelijks toe als de betrouwbaarheid van zowel de droge blusleiding als de brandweerlift wordt verlaagd. De verandering van de betrouwbaarheid is hier statistisch verwaarloosbaar. Het 80^{ste} percentiel neemt wel toe. De spreiding rond de mediaan neemt als gevolg van de lagere betrouwbaarheid wel toe.

Op basis van de rekenresultaten kan worden gesteld dat de gevoeligheid van de rekenresultaten voor de betrouwbaarheid van de brandveiligheidsvoorzieningen in alle gevallen beperkt is. Voor gebouwen lager dan 70 meter is die gevoeligheid groter dan in gebouwen hoger dan 70 meter. Dit komt door de hoge betrouwbaarheid van de voorzieningen in die hogere gebouwen.

3.5.3 Conclusie gevoeligheidsanalyse

Uit de resultaten van de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de volgende onderdelen van de modelbrandweerinzetten de RST in uiteenlopende mate beïnvloeden

- > *Handelingen op brandverdieping.* Dit onderdeel beïnvloedt de resultaten van de RST het meest.
- > *Handelingen bij aankomst.* Dit onderdeel beïnvloedt de resultaten van de RST in mindere mate dan het eerdergenoemde onderdeel. Toch is die invloed niet verwaarloosbaar.
- > *Betrouwbaarheid brandveiligheidsvoorzieningen.* Het gaat daarbij met name om de voorzieningen die getroffen worden in gebouwen hoger dan 20 meter en lager dan 70 meter.

Om de betrouwbaarheid van dit onderzoek verder te verhogen is (experimenteel) onderzoek naar deze drie onderdelen nodig.

4 Conclusie

In dit hoofdstuk worden de onderzoeksvragen beantwoord. Hierbij worden alleen de deelvragen uit fase 1 beantwoord.

4.1 Brandweerinzet vanuit bouwregelgeving

In deze paragraaf wordt de eerste deelvraag in fase 1 van het onderzoek beantwoord. Deze luidt:

Welke brandweerinzet wordt vanuit de huidige bouwregelgeving verwacht c.q. mogelijk gemaakt in gebouwen?

In gebouwen zijn, op basis van wettelijke voorschriften, brandveiligheidsvoorzieningen aanwezig die de brandweer ondersteunen bij de inzet. De aanwezigheid van voorzieningen is grotendeels afhankelijk van de hoogte van het gebouw. Gebouwen kunnen met betrekking tot de brandweerinzet op basis van de hoogte als volgt worden ingedeeld: gebouwen tot 20 m, gebouwen van 20 tot 70 m en gebouwen hoger dan 70 m. De voorgeschreven voorzieningen per gebouwhoogte zijn van invloed op de wijze waarop een brandweerinzet plaatsvindt.

Om een effectieve inzet uit te voeren, past de brandweer basisprincipes toe en beantwoordt zij drie cruciale vragen tijdens de verkenning over locatie, bereikbaarheid en blussing van de brand. Op basis hiervan wordt een passende inzetactie gekozen volgens het kwadrantenmodel. Een effectieve offensieve buiteninzet is bij een brand op hoogte vanaf ongeveer 30 meter met een gangbaar redvoertuig niet meer mogelijk. Dit betekent dat voor een inzet in hogere gebouwen uitgegaan moet worden van een offensieve of defensieve binneninzet.

Op basis van de hoogte-indeling kunnen de beperkingen en ondersteunende voorzieningen als volgt worden samengevat:

Gebouwen tot 20 meter hoogte:

- > De brandweerinzet vindt plaats via de trap.
- > Er is geen afhankelijkheid van installaties in het gebouw
- > Er is geen ontruimingsalarminstallatie om evacuatie van personen te ondersteunen.

Gebouwen van 20 tot 70 meter:

- > De brandweerinzet wordt ondersteund door een brandweerlift en blusleiding.
- > Als voorzieningen falen, kunnen de fysieke beperkingen van brandweermensen en de hoogtebeperkingen van het brandweermaterieel uitdagingen opleveren.
- > Er is geen ontruimingsalarminstallatie om evacuatie van personen te ondersteunen.

Gebouwen hoger dan 70 meter:

- > De brandweerinzet wordt ondersteund door meerdere brandweerliften en natte blusleidingen. Ook wordt gebruikgemaakt van communicatiemiddelen en een commandoruimte.
- > Als voorzieningen falen, kunnen de fysieke beperkingen van brandweermensen en meerdere beperkingen van het brandweermaterieel onoverbrugbare uitdagingen opleveren. Veel cruciale

- voorzieningen zijn daartoe dubbel uitgevoerd. Ook is er een sprinklerinstallatie die een brand in een vroeg stadium controleert.
- > Er is een ontruimingsalarminstallatie met intercomfunctie voor de brandweer die een evacuatie van personen kan ondersteunen

Wanneer de aanwezige voorzieningen functioneren zoals bedoeld, blijft de brand bij aankomst van de brandweer beperkt tot één woning. Er vindt beperkt rookverspreiding plaats naar vlucht- en aanvalsroutes. Hierdoor kan de brandweer de getroffen woning veilig bereiken en een offensieve binneninzet uitvoeren. Dit betekent dat de brand doorgaans binnen afzienbare tijd na ontstaan onder controle is.

Als voorzieningen niet functioneren zoals bedoeld en de brand zich uitbreidt naar andere woningen en/of rook zich door het gebouw verspreidt, is een veilige offensieve binneninzet niet (altijd) mogelijk. De brandweer moet dan overschakelen naar een defensieve binneninzet of zelfs een buiteninzet. Dit kan ertoe leiden dat een volledige ontruiming van het gebouw die door de brandweer ondersteund moet worden noodzakelijk wordt.

4.2 Benodigde veilige tijd voor brandweerinzet (RST)

In deze paragraaf wordt de tweede deelvraag in fase 1 van het onderzoek beantwoord. Deze vraag luidt:

Wat is de theoretische RST van een brandweerinzet bij een toenemende hoogte van gebouwen?

Om de theoretische benodigde veilige tijd voor brandweerinzet (RST) te kunnen bepalen is de brandweerinzet in hoge gebouwen zoals beschreven in deelvraag 1 geschematiseerd in een drietal modelbrandweerinzetten. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen de hoogte van een gebouw en de bijbehorende brandveiligheidsvoorzieningen. Op basis van deze modelbrandweerinzetten is de RST op twee manieren bepaald: scenariospecifiek en integraal.

Scenariospecifieke RST

In de scenariospecifieke RST is onderscheid gemaakt tussen scenario's waarin alle voorzieningen werken (scenario 1) en scenario's waarin een of meerdere brandveiligheidsvoorzieningen falen (scenario's 2 tot en met 4).

Tabel 4.1 Resultaten voor de scenariospecifieke RST

Scenario	Voorziening die falen	RST [min] bij gebouwhoogte [m], 80 ^{ste} percentiel			
		Gebouwhoogte	20	70	200
1	-	34	36	37	40
2	Brandweerlift	n.v.t.	42	60	85
3	Blusleiding		43	84	84
4	Brandweerlift en blusleiding		50	84	84

Het blijkt dat de RST toeneemt met de hoogte van het gebouw. Ook blijkt dat het wel of niet correct werken van de brandveiligheidsvoorzieningen van grote invloed is op de RST. Het belang van correct werkende brandveiligheidsvoorzieningen neemt toe met de hoogte van het gebouw. In specifieke situaties (scenario's 3 en 4 bij gebouwen met een hoogte van 200 en 400 meter) leidt het falen van de voorzieningen tot een scenario waarin geen effectief brandweeroptreden meer mogelijk is.

Integrale RST

In de integrale RST zijn de scenario's uit de scenariospecifieke RST geïntegreerd in één RST per gebouwhoogte, waarbij de betrouwbaarheid van de brandveiligheidsvoorzieningen is gebruikt. In Tabel 4.2 zijn de rekenresultaten weergegeven.

Tabel 4.2 Resultaten voor de integrale RST

	RST [min] bij gebouwhoogte [m], 80 ^{ste} percentiel			
Gebouwhoogte	20	70	200	400
Integrale RST	34	38	37	40

Er kan worden geconcludeerd dat de RST toeneemt met de hoogte van het gebouw. In gebouwen hoger dan 70 meter neemt de RST minder snel toe dan in gebouwen die lager zijn dan 70 meter. Dit komt door de betrouwbaarheid van de brandveiligheidsvoorzieningen, die in gebouwen hoger dan 70 meter hoger is vanwege redundantie van deze voorzieningen. Als gevolg hiervan is de theoretische RST in gebouwen hoger dan 70 meter en lager dan 300 meter ongeveer gelijk aan de RST in gebouwen tot 70 meter. In gebouwen hoger dan 300 meter is er een toename van de theoretische RST ten opzichte van gebouwen tot 70 m.

Fysieke beperkingen van de brandweermens

In de uitgangspunten voor gebouwen hoger dan 20 meter wordt ervan uitgegaan dat brandweermensen met bepakking en slangen een grote hoogte in het gebouw via trappen kunnen afleggen. In de praktijk kan dit echter niet verwacht worden. Vanaf een hoogte van ongeveer 30 meter is het niet meer realistisch om dergelijke fysieke inspanningen te veronderstellen.

De theoretische RST in een gebouw met een hoogte van 20 meter bedraagt 34 minuten en neemt toe tot 40 minuten bij een gebouw met een hoogte van 400 meter. De aanwezige brandveiligheidsvoorzieningen in het gebouw zijn bij een toenemende hoogte in toenemende mate van invloed op de theoretische RST en dragen bij aan een veilige en effectieve brandweerinzet.

4.3 RST in de praktijk

De derde deelvraag van dit onderzoek luidt:

Welke onderdelen uit de theoretische RST kunnen op basis van de praktijk worden geverifieerd en wat is de RST op basis van experimenten?

De derde deelvraag omvat experimenten; omdat die nog niet zijn uitgevoerd, wordt deze vraag dus slechts deels beantwoord.

Er is naar voren gekomen dat voor een aantal onderdelen in de modelbrandweerinzetten niet of nauwelijks data beschikbaar zijn. Daarvoor zijn inschattingen gemaakt. Die inschattingen zijn van grote invloed op de theoretische RST. Daarom kan het zinvol zijn om deze onderdelen op basis van de praktijk te verifiëren. Het betreft de volgende onderdelen:

- > Handelingen bij aankomst (rondomverkenning, afleggen van slangen).
- > Handelingen op de brandverdieping (verkenning van de brandverdieping, aansluiten op de watervoorziening, toegang verschaffen tot de woning).
- > Betrouwbaarheid van brandveiligheidsvoorzieningen in gebouwen lager dan 70 meter. De exacte betrouwbaarheid van brandveiligheidsvoorzieningen in gebouwen hoger dan 70 meter is vanwege redundantie in de voorzieningen minder relevant.

De gevolgen van onzekerheid als gevolg van ontbrekende data zijn inzichtelijk gemaakt met een gevoeligheidsanalyse. Die gevolgen blijken beperkt en lijken in gelijke mate aanwezig te zijn in de resultaten voor de verschillende gebouwhoogten.

5 Discussie

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

5.1 Uitgangspunten brandweerinzet

5.1.1 Aangenomen brandveiligheidsvoorzieningen

Voor wat betreft de aanwezige voorzieningen boven de 70 meter is in dit onderzoek uitgegaan van de richtlijnen uit de *Handreiking brandveiligheid in hoge gebouwen, 2014* (SBRCURnet, 2014). Andere invullingen van brandveiligheidsvoorzieningen zoals op basis van artikel 4.89, lid 1 sub a van het Bbl, of andere mogelijkheid tot gelijkwaardigheid zijn in dit onderzoek niet meegenomen. Andere brandveiligheidsvoorzieningen hebben een andere brandweerinzet tot gevolg, waardoor deze mogelijk leiden tot een andere uitkomst van dit onderzoek.

5.1.2 Escalatie van het incident

Dit onderzoek richt zich op de inzet van de brandweer bij woningbranden. In de scenario's blijft de brand beperkt tot de initiële woning, en wordt de rookverspreiding naar de aangrenzende woningen en vlucht- en aanvalsroutes geminimaliseerd. In de praktijk kunnen verschillende factoren de brandontwikkeling en het incidentverloop echter beïnvloeden, wat kan leiden tot escalatie van het incident. Voorbeelden van dergelijke factoren zijn:

- > **Energietransitie, materiaalgebruik en klimaatadaptatie:** Deze drie aspecten spelen een cruciale rol in de ontwikkeling van een duurzame bouwpraktijk, maar brengen ook nieuwe uitdagingen met zich mee voor de brandweer:
 - **Energietransitie:** De transitie van fossiele brandstoffen naar duurzame energiebronnen, zoals elektrificatie, zonnepanelen, lithium-ionaccu's en thuisbatterijen, kan het brandverloop beïnvloeden en nieuwe brandrisico's introduceren.
 - **Veranderend materiaalgebruik:** De toepassing van duurzame bouwmaterialen, waaronder kruislaaghout (CLT) en biobased isolatie, beïnvloedt de brandbaarheid van constructies en kan resulteren in een ander brandverloop dan bij traditionele bouwmaterialen.
 - **Klimaatadaptatie:** Aanpassingen aan gebouwen om de gevolgen van klimaatverandering te beperken, zoals vergroening van gevels en daken, kunnen het brandverloop beïnvloeden.

De huidige bouwvoorschriften zijn voornamelijk gericht op traditionele bouwmethoden en houden onvoldoende rekening met de nieuwe risico's die deze ontwikkelingen met zich meebrengen.

- > **Stedelijk verdichting en meervoudig ruimtegebruik:** Binnenstedelijke gebieden met een hoge bebouwingsdichtheid en multifunctioneel ruimtegebruik stellen aanvullende eisen aan brandbestrijding:

- *Beperkte bereikbaarheid*: Door hoge verkeersdichtheid en beperkte ruimte voor opstelling van brandweervoertuigen kan de inzet van de brandweer worden bemoeilijkt.
- *Gecombineerde functies*: De nabijheid van andere functies, zoals kantoren en commerciële ruimten, kan de evacuatie en brandbestrijding complexer maken.
- > *Branden in de gebouwschil*: Wanneer een woningbrand zich verspreidt via de gevel of het dak, ontstaat er een gebouwbrand. Dit brengt aanvullende risico's met zich mee:
 - *Beheersbaarheid*: Een gebouwbrand is door de brandweer veel moeilijker onder controle te krijgen
 - *Kans op branduitbreiding*: De kans op branduitbreiding naar andere woningen neemt sterk toe.
- > *Gebouwontruiming*: Bij branduitbreiding naar naastgelegen woningen en rookverspreiding naar vlucht- en aanvalsroutes kan een volledige evacuatie van het gebouw noodzakelijk zijn. Twee belangrijke factoren beïnvloeden de evacuatie:
 - *Zelfredzaamheid van bewoners*: Niet alle bewoners kunnen zelfstandig vluchten; zij zijn voor een veilige evacuatie afhankelijk van de brandweer
 - *Alarmering*: De meeste woongebouwen hebben geen ontruimingsalarminstallatie, zodat bewoners niet automatisch gewaarschuwd worden bij brand, wat de evacuatie vertraagt. Dit betekent dat de brandweer extra tijd en personeel nodig heeft om bewoners te alarmeren, te evacueren en woningen te doorzoeken op achtergebleven personen.

Vergrijzing en langer thuis wonende ouderen

Demografische ontwikkelingen, zoals vergrijzing en het beleid om ouderen langer zelfstandig te laten wonen, introduceren extra uitdagingen op het gebied van brandveiligheid en evacuatie:

- > *Beperkte mobiliteit*: Ouderen hebben vaker fysieke beperkingen, waardoor zij minder snel kunnen vluchten en afhankelijk zijn van hulp.
- > *Verhoogde kwetsbaarheid*: Snellere vermoeidheid en beperkte fysieke inspanning kunnen de evacuatie vertragen en de kans op letsel vergroten.

Hierdoor nemen de benodigde tijd en inzet van de brandweer toe bij evacuaties in woongebouwen met kwetsbare personen, zoals ouderen.

De hierboven genoemde externe invloeden kunnen leiden tot escalatie van het incident, toenemende brandweertaken en een zwaardere belasting van de brandweerpersoon. De omstandigheden waaronder de brandweer opereert verslechteren. De afwijkingen leiden tot een toename van de RST. Deze invloeden zijn in dit onderzoek niet meegenomen. Dit betekent, dat de RST in werkelijkheid waarschijnlijk groter zal zijn dan in dit rapport is weergegeven.

5.1.3 Informatievoorziening over het gebouw en de omgeving

Een betrouwbare en actuele informatievoorziening over het gebouw en de omgeving is essentieel voor een veilige en effectieve brandweerinzet. Naarmate de complexiteit van het bouwwerk toeneemt, wordt het belang van deze informatievoorziening alleen maar groter. Voor een veilige en effectieve inzet zijn onder andere de volgende gegevens van belang:

- > *Bereikbaarheid van het bouwwerk*: Toegangswegen en obstakels die de toegang kunnen belemmeren.
- > *Opstelplaatsen en bluswatervoorzieningen*: Locaties waar brandweervoertuigen kunnen worden opgesteld en waar bluswater beschikbaar is.
- > *Brandweeringangen en gebouwtoetreding*: Specifieke toegangen voor de brandweer en de manier waarop het gebouw veilig kan worden betreden.

- > *Brandveiligheidsvoorzieningen*: Locaties en (effectieve) werking van systemen zoals sprinklers, brandmelders en rookafzuiging.
- > *Gebouwinformatie*: Bouwkundige tekeningen, installatiegegevens en andere relevante documentatie.
- > *Contactgegevens*: Bereikbaarheid van gebouwbeheerders en deskundigen op het gebied van brandveiligheidsinstallaties.
- > *Brandlocatie en rookverspreiding*: De plek waar de brand zich bevindt en waar rookverspreiding heeft plaatsgevonden
- > *Ontruimingsstatus*: De mate waarin het gebouw al ontruimd is en of er nog personen aanwezig zijn.

Deze aspecten zijn in dit onderzoek meegewogen in de RST in het onderdeel 'handelingen op locatie'. Dit is een inschatting gemaakt door de onderzoekers, waarin de tijd die nodig is voor de rondomverkenning en verdere voorbereidingen toeneemt met de hoogte van het gebouw. Als de brandweermensen voor aankomst bij het gebouw al informatie hebben over het gebouw en het incident, kan de RST in hoge gebouwen mogelijk korter worden. Er ligt een gezamenlijke verantwoordelijkheid voor gebouwbeheerders, vergunningverleners en de brandweer om ervoor te zorgen dat de noodzakelijke informatie (blijvend) beschikbaar is. Vervolgens hebben de meldkamers als taak om de informatie aan de aanrijdende brandweereenheden over te dragen.

5.2 Methode

5.2.1 Modelbrandweerinzetten

In dit onderzoek is de brandweerinzet in (hoge) woongebouwen geschematiseerd naar verschillende modelbrandweerinzetten om de RST in hoge gebouwen te bepalen. Het gaat daarbij om een theoretische aanpak gebaseerd op uitgangspunten en keuzes om tot een aantal kwantificeerbare modelbrandweerinzetten te komen. Andere keuzes of uitgangspunten kunnen leiden tot andere resultaten.

5.2.2 Gebruikte probabilistische methodiek

Bij een probabilistische methodiek wordt rekening gehouden met een breed spectrum aan scenario's. Hierdoor is de onzekerheid in de resultaten in principe relatief klein. De kwaliteit van een probabilistische methode wordt echter bepaald door de kwaliteit van de input, en die input is in het geval van brand en een brandweerinzet slechts beperkt voorhanden. Daarom zijn er in dit onderzoek inschattingen gemaakt van specifieke onderdelen van de modelbrandweerinzet. Die inschattingen zijn uiteraard altijd enigszins subjectief en leiden daarmee tot enige mate van onzekerheid. De uitgevoerde gevoeligheidsanalyse beperkt deze onzekerheid voor met name de betrouwbaarheid van de brandveiligheidsvoorzieningen. Zonder aanvullende experimenten (zie ook paragraaf 4.3) blijft die onzekerheid voor een aantal onderdelen bestaan. Overigens is niet op voorhand te bepalen of de resultaten uit aanvullende experimenten de onzekerheid volledig kunnen wegnemen. Als het gaat om handelingen binnen een brandweerinzet die in de praktijk afhankelijk zijn van diverse factoren, zal er altijd een spreiding in de benodigde tijd voor die handelingen aanwezig zijn. Het is met een beperkt aantal experimenten onmogelijk om die volledige spreiding inzichtelijk te maken.

5.2.3 Kans op brand

In dit onderzoek is de RST bepaald, gegeven een brand in een gebouw met een bepaalde hoogte. Er is daarbij geen rekening gehouden met het feit dat de kans op een brand in een hoog gebouw met een groter oppervlakte waarschijnlijk hoger is dan de kans op brand in een lager gebouw met een kleiner oppervlakte. In theorie betekent dit dat er in een hoog gebouw vaker sprake zal zijn van een brandweerinzet dan in een lager gebouw. Dit is nu niet meegewogen in de RST-analyse, waardoor de conclusies daarvan mogelijk niet (helemaal) compleet zijn.

5.3 Slotbeschouwing

5.3.1 Het belang van brandveiligheidsvoorzieningen

Uit de resultaten is gebleken dat de RST toeneemt met de hoogte van een gebouw. Daarnaast blijkt dat de brandveiligheidsvoorzieningen die gebruikt worden door de brandweer tijdens de inzet belangrijker worden naarmate het gebouw hoger wordt. In hoge gebouwen wordt de effectiviteit van de brandweerinzet in belangrijke mate bepaald door die voorzieningen.

5.3.2 Beperkingen van de brandweermensen in relatie tot de brandveiligheidsvoorzieningen

Bij een brandweerinzet in hoge gebouwen moet ook worden stilgestaan bij de fysieke beperkingen van brandweermensen. Het is niet realistisch te veronderstellen dat zij met bepakking en met slangen grote hoogtes via trappenhuisen kunnen overbruggen. Dat is met de voorzieningen die in gebouwen aanwezig zijn in principe ook niet noodzakelijk. Toch zijn er scenario's denkbaar waarbij er alsnog (te) veel verwacht wordt van brandweermensen. Denk bijvoorbeeld aan scenario's in hoge gebouwen waarin de brandweerlift en/of de blusleiding falen. In die gevallen is het denkbaar dat er geen effectieve brandweerinzet mogelijk is, puur vanwege het feit dat de brand niet bereikt kan worden (met of zonder bluswater). Met name in gebouwen hoger dan 70 meter lijkt hier aandacht voor te zijn, omdat de brandveiligheidsvoorzieningen uitgevoerd zijn met een hoge betrouwbaarheid. De gebouwhoogte waarop nog een inzet mogelijk is via trappenhuisen ligt waarschijnlijk een stuk lager dan 70 meter. Dit is beschreven in het blauwe kader in paragraaf 1.4.4.

5.3.3 Risicoacceptatie

Door het nemen van maatregelen kunnen brandveiligheidsrisico's in gebouwen worden beperkt. Er blijft na het nemen van maatregelen altijd nog een restrisico over. Voor wat betreft deze restrisico's is het belangrijk dat goed wordt afgewogen welke acceptabel worden gevonden en welke niet. Het is onrealistisch om geen enkel risico te accepteren. Er zijn immers altijd scenario's denkbaar waarbij een effectieve brandweerinzet onmogelijk is. In vervolgonderzoek (Fase III) zal nader worden ingegaan op dit acceptabele risico door een vergelijking te maken tussen de beschikbare veilige tijd (AST) en de benodigde veilige tijd (RST). Hierbij kan worden gedacht aan een acceptabel percentage aan scenario's waarbij er geen brandweerinzet mogelijk is (het 'acceptabele risico'). In die scenario's is de beschikbare veilige tijd voor brandweerinzet (AST) lager dan de benodigde veilige tijd voor brandweerinzet (RST).

Daarbij moet ook rekening worden gehouden met het feit dat het falen van de brandweerinzet in een hoger gebouw waarschijnlijk vergaande gevolgen heeft die groter

kunnen zijn dan een brand in een lager gebouw. Mogelijk moet het percentage aan scenario's waarin geen brandweerinzet mogelijk is afnemen met een toenemende hoogte van het gebouw (het acceptabele risico neemt af).

6 Literatuur

- Branchevoorschrift standaardbepakking voor brandweervoertuigen.* (2019). Brandweer Nederland. (2022). *Bijgesteld landelijk kader Uitrust op maat bij brand.* Brandweer Nederland.
- Brandweeracademie. (2014). *Kwadrantenmodel voor gebouwbrandbestrijding (2.0).* Brandweeracademie.
- Brandweeracademie. (2020a). *Basisprincipes van brandbestrijding.* IFV.
- Brandweeracademie. (2020b). *Reddingen bij brand 2016-2018.* IFV.
- Brandweeracademie. (2020c). *Rookverspreiding in woongebouwen. Hoofdrapport van de praktijkexperimenten in een woongebouw met inpandige gangen.* IFV.
- Ćłapa, I., Cisek, M., Tofiło, P., & Dziubiński, M. (2015). Firefighters ascending and evacuation speeds during counter flow on staircase. *Safety Science, 78*, 35–40. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.04.002>
- Cleary, T. (2009). Full-Scale Residential Smoke Alarm Performance 1. *14th International Conference of Fire Detection.*
- Cleary, T. (2014). Results from a Full-Scale Smoke Alarm Sensitivity Study. *Fire Technology, 50*(3), 775–790. <https://doi.org/10.1007/s10694-010-0152-2>
- Fujiyama, T., & Tyler, N. (2004). An explicit study on walking speeds of pedestrians on stairs. *10th International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled People, Hamamatsu, Japan, May 2004*, 1–10. <http://discovery.ucl.ac.uk/1243/>
- Joglar, F., Mowrer, F., & Modarres, M. (2005). A probabilistic model for fire detection with applications. *Fire Technology, 41*(3), 151–172. <https://doi.org/10.1007/s10694-005-1268-7>
- Kobes, M., van der Graaf, P. J., Leene, M., & de Witte, L. (2024). *Brandveiligheid van verduurzaamde en snel gerealiseerde woningen De rode draad uit branden in de gebouwschil.* NIPV.
- Kretz, T., Grünebohm, A., Kessel, A., Klüpfel, H., Meyer-König, T., & Schreckenberger, M. (2008). Upstairs walking speed distributions on a long stairway. *Safety Science, 46*(1), 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2006.10.001>
- Leene, M., van Liempd, R., van den Dikkenberg, R., Graaf, J. van der, De Witte, L., & Weewer, R. (2022). *Brandveiligheid in hoogbouw: Een verkennend onderzoek naar de (on)mogelijkheden bij het repressief brandweeroptreden in hoge gebouwen.* NIPV.
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. (2020). *Infoblad bestaande portiekflats.*
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. (2024). *Integrale nota van toelichting Bbl - toelichting op de staatsbladen.* <https://www.bouwbesluitonline.nl/docs/wet/bbl-nvt/toelichting-op-de-staatsbladen>
- NEN. (2011). *NEN 6055: Thermische belasting op basis van het natuurlijk brandconcept - Bepalingsmethode.*
- Piek, R. (2024). *Taakkaart 110 vricol: verkenning & redding hoogbouw 70+.*
- Piek, R., Houwelingen, M., Tuns, J., Polet, M., & Tabak, J. (2024). *Handboek brandbestrijding Hoogbouw hoger dan 70 meter.*
- SBRCURnet. (2014). *Handreiking brandveiligheid in hoge gebouwen.* SBRCURnet.
- SFPE. (2016). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (M. J. Hurley, D. Gottuk, J. R. Hall, K. Harada, E. Kuligowski, M. Puchovsky, J. Torero, J. M. Watts, & C. Wiecezorek (Eds.); 5th ed., Vol. 1, Issue 5). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0>
- van Houwelingen, M., de Jonge, L., Termijn, V., & Torabi, S. (2022). *Rotterdamse Brandveiligheidsvisie Hoogbouw & Hoogbouw-plus* (Vol. 1).
- van Liempd, R., de Witte, L., Karemaker, M., van Herpen, R., & Jansen, V. (2022). *Rookverspreiding en persoonlijke veiligheid.* NIPV.
- van Rede, P., van Liempd, R., & de Witte, L. (2024). *Handreiking proces doelgerichte brandveiligheidsaanpak voor gebouwen.* NIPV.

Veiligheidsregio Rotterdam Rijnmond. (2017). Brand maastorenflat rotterdam. *SLIM - Team Brandonderzoek*.

Bijlage 1: Overzicht van hoofd- en deelvragen fasen I t/m III

Hoofdvraag totale onderzoek:

Welke aanpassingen in de regelgeving zijn nodig om de brandveiligheid in hoge gebouwen te verbeteren?

Deelvragen Fase I:

1. Welke brandweerinzet wordt vanuit de huidige bouwregelgeving verwacht c.q. mogelijk gemaakt in gebouwen?
2. Wat is de theoretische RST van een brandweerinzet bij een toenemende hoogte van gebouwen?
3. Welke onderdelen uit de theoretische RST kunnen op basis van de praktijk worden geverifieerd en wat is de RST op basis van experimenten?

Deelvragen Fase II:

4. Wat is de AST van een brandweerinzet bij een toenemende hoogte van gebouwen?

Deelvragen Fase III:

5. Wat is de kans dat de $AST > RST$ bij het huidige voorzieningenniveau in hoge gebouwen?
6. Welke voorzieningen kunnen worden getroffen om de AST te verlengen?
7. Welke innovaties kunnen de RST verkorten en daarmee het optreden volgens de basisprincipes voor brandbestrijding verbeteren?
8. Welke voorzieningen en/of innovaties zijn noodzakelijk om de brandveiligheid van hoge gebouwen af te stemmen op de inzet van de brandweer?

Bijlage 2: Brandveiligheidsvoorzieningen 20 - 400 meter

Tabel B2.1 Wettelijk voorgeschreven brandveiligheidsvoorzieningen in woongebouwen van 13 tot 200 meter en het mogelijk effect op de brandweerinzet

Hoogte	Vorgeschreven voorzieningen in woongebouwen
Lager dan 13 m (Bbl)	<p><i>Weerstand tegen bezwijken van vluchtroutes en bouwconstructie:</i> Weerstand m.b.t bezwijken in geval van brand van de vlucht (en aanvals-)route 30 min. Weerstand m.b.t bezwijken in geval van brand van de bouwconstructie 60 min. (< 7m.) of 90 min (7-13m) min.</p> <p><i>Effect op de inzet:</i> Een weerstand m.b.t bezwijken bij brand (buiten het compartiment waar de brand zich bevindt) maakt het mogelijk om langer in een gebouw te verblijven zonder gevaar voor instorting. Dit ondersteunt een veilige brandweer inzet bij hogere gebouwen. Naarmate het gebouw hoger wordt, neemt de weerstand m.b.t bezwijken toe. Deze is gekoppeld aan de benodigde tijd om het gebouw te doorzoeken en/of een redding uit te voeren. Een specifiek punt van aandacht is de weerstand van vlucht- en aanvalswegen, die ongeacht de hoogte van het gebouw binnen 30 minuten mogen bezwijken</p> <p><i>Beperking ontwikkeling brand en rook:</i> Voor constructieonderdelen in overige ruimten geldt klasse D en Dfl. en in extra beschermde vluchtroute geldt klasse B en Cfl. Bovendien geldt volgens artikel 6.15a een verbod op plaatsen van brandgevaarlijke objecten. De gevelconstructie voldoet tot ten minste een hoogte van 2,5 meter aan brandklasse B. Daarboven voldoet een gevel aan brandklasse D (mits geen aanvullende voorschriften gelden)</p> <p><i>Effect op de inzet:</i> De kans op ontstaan en uitbreiding van brand in een vluchtroute wordt zoveel mogelijk beperkt en een veilige vlucht- en aanvalsroute geborgd. De kans op het ontstaan en uitbreiding van brand bij de buitengevels wordt beperkt door de onderste 2,5 meter, volgens brandklasse B, beperkt brandbaar uit te voeren. Daarboven is de gevel met een lagedruk straal bereikbaar, waardoor branduitbreiding in theorie valt te controleren. Het is maar de vraag in hoeverre dat in praktijk het geval is (Kobes et al., 2024).</p> <p><i>Brand- en rookwerende scheidingsconstructies:</i> Tussen twee brandcompartimenten 60 min WBDBO en tussen een brandcompartiment en een extra beschermde vluchtroute een brandwerende scheidingsconstructie 30 min WBDBO . Daarnaast een weerstand tegen rookdoorgang tussen (beschermde) subbrandcompartimenten en (extra) beschermde vluchtroute Ra of R200. Zelfsluitende (woning)toegangsdeuren.</p> <p><i>Effect op de inzet:</i> De brandomvang wordt gedurende 60 minuten beperkt tot een brandcompartiment. Volgens het normatief brandverloop heeft de brandweer een brand na 60 minuten onder controle (zie kader paragraaf 1.2.1). Een weerstand tegen rookdoorgang en zelfsluitende constructiedelen voorkomt rookverspreiding tussen woningen en naar de vlucht - en aanvalsroute. Dit draagt bij aan de kans op een binneninzet binnen een gebouw.</p> <p><i>Een (vlucht en-) Aanvalsroute</i></p> <p><i>Effect op de inzet:</i> Er is een (vlucht- en) aanvalsroute voor de brandweer beschikbaar waarvoor een brand (zonder redvoertuig) slechts van één zijde benaderd en bestreden kan worden.</p>

Rookmelders in de woningen

Effect op de inzet: Detectie door rookmelders in woningen leidt tot alarmering van bewoners van betreffende woning. Rookmelders zijn, volgens de voorschriften, doorgaans in de gang van de woning geprojecteerd, waardoor detectie van brand later kan plaatsvinden. Er vindt geen directe alarmering van overige bewoners in het gebouw of van de hulpdiensten plaats. Dit is van invloed op de ontruiming en brandweerinzet

Voorwaarden aan bereikbaarheid opstelplaatsen en bluswatervoorziening (lokale afweging binnen het omgevingsplan of middels bruidschatregels)

Effect op de inzet: Deze voorschriften borgen dat gebouwen bereikbaar zijn. Zij borgen echter niet dat het gebouw ook rondom bereikbaar is voor brandweermaterieel zoals RV's. Bovendien worden voorwaarden gesteld aan de beschikbaarheid van een 'adequate' bluswatervoorziening. Deze voorschriften zijn verwerkt in het omgevingsplan (of door algemeen geldende bruidschatregels), waardoor per gemeente afwijkingen kunnen bestaan.

13 tot 20 m. (Bbl)

Voorzieningen boven op voorzieningen tot 13 m

Weerstand tegen bezwijken van vluchtroutes en bouwconstructie: Weerstand m.b.t bezwijken in geval van brand van de bouwconstructie 120 min. (>13m.).

Effect op de inzet: Naarmate het gebouw hoger wordt, neemt de weerstand m.b.t bezwijken verder toe. Deze is gekoppeld aan de extra benodigde tijd om het gebouw te doorzoeken en/of een redding uit te voeren.

Beperking ontwikkeling brand en rook: De gevelconstructie voldoet tot ten minste een hoogte van 2,5 meter en vanaf een hoogte van 13 aan brandklasse B.

Effect op de inzet: De kans op het ontstaan en uitbreiding van brand bij de buitengevels wordt beperkt door de onderste 2,5 meter, en alles boven de 13 meter volgens brandklasse B, beperkt brandbaar uit te voeren. De (gehele) gevel is niet langer met een lagedrukstraal bereikbaar. Er bestaan twijfels in hoeverre brandklasse B volstaat om branduitbreiding via de gevelconstructie te voorkomen (Kobes et al., 2024). De voorschriften worden op dit punt vermoedelijk aangepast.

Twee of meer (vlucht- en) aanvalsroutes

Effect op de inzet: Er zijn twee (vlucht- en) aanvalsroutes voor de brandweer beschikbaar, waardoor een brand van twee zijden benaderd en bestreden kan worden.

20- 70 m. (Bbl)

Voorzieningen boven op voorzieningen tot 20 m

Een brandweerlift

Effect op de inzet: De brandweerlift zorgt voor snel transport van personeel en materieel, waardoor een snelle inzet in hoge gebouwen mogelijk blijft. Daarnaast wordt de brandweerlift gebruikt voor transport van slachtoffers

Een droge blusleiding

Effect op de inzet: De droge blusleiding is een betrouwbare (door de brandweer gevoede) bluswatervoorziening op hoogte. Een snelle inzet in hoge gebouwen blijft mogelijk, doordat er geen brandslangen door het trappenhuis naar boven hoeven te worden doorgevoerd. De aansluitingsmogelijkheid van brandslangen in het sluis alsook in de aangrenzende ruimte direct achter het sluis (met de invoering van het Stb. 2024,368 per 1 juli 2025) voorkomt

rookverspreiding naar het trappenhuis, waardoor een veilige ontvluchting en inzet mogelijk blijven.

Sluis trappenhuis

Effect op de inzet: Het sluis van het trappenhuis voorkomt (in aanvulling op de voorgeschreven brand- en rookwerende scheidingsconstructies) binnendringen van brand en rook in de (vlucht- en) aanvalsroute in het trappenhuis. De aansluitingsmogelijkheid van brandslangen in het sluis alsook in de aangrenzende ruimte direct achter het sluis (met de invoering van het Stb. 2024,368 per 1 juli 2025) voorkomt rookverspreiding naar het trappenhuis, waardoor een veilige ontvluchting en inzet mogelijk blijven.

70 - 200 m. (handreiking)

Voorzieningen boven op en in plaats van voorzieningen tot 70 m

Weerstand tegen bezwijken van vluchtroutes en bouwconstructie: Weerstand m.b.t bezwijken in geval van brand van verticale delen van de vlucht- (en aanvals)route 60 min of 105min (afhankelijk van het ontruimingsconcept).

Effect op de inzet: Naarmate het gebouw hoger wordt, neemt de weerstand m.b.t bezwijken van de verticale delen van de vlucht- (en aanvals)route toe. Deze is enerzijds gekoppeld aan het ontruimingsconcept en daarmee aan de ontruimingstijd van het gebouw, maar maakt het ook mogelijk om gedurende lange tijd een brandweerinzet uit te voeren..

Brand- en rookwerende scheidingsconstructies: Reductie 30 min tussen compartimenten onderling en naar de horizontale delen van de vluchtroute. Verticale delen vluchtroutes aanvullend beschermd (R)EI/W 105 Sm.

Effect op de inzet: Een reductie van brandwerende scheidingsconstructies is gezien de sprinklerinstallatie – en de hiermee samenhangende effecten op de brandontwikkeling – mogelijk. Aanvullende bescherming tegen binnendringing van brand en rook in het trappenhuis waardoor de (vlucht- en) aanvalsroute langer geborgd blijft. De waarde is vooral van belang in situaties waarbij de sprinkler niet effectief is.

Noodverlichting in gemeenschappelijke vluchtroutes

Effect op de inzet: Noodverlichting ondersteunt een snelle en effectieve ontruiming. Het effect op de brandweerinzet is beperkt.

Automatische detectie van brand door sprinklerinstallatie en met automatische melders Doormelding van brandmeldingen naar de regionale meldkamer van de brandweer

Effect op de inzet: In aanvulling op de voorgeschreven rookmelders, vindt detectie door de sprinklerinstallatie (binnen de woningen) en detectie door automatische melders (in de gemeenschappelijke vluchtroutes) plaats. Detectie van brand leidt tot alarmering van overige bewoners in het gebouw en hulpdiensten. De snelle alarmering is van invloed op de ontruiming en brandweerinzet.

Ontruimingsalarminstallatie met gesproken woord en intercommogelijkheid

Effect op de inzet: Detectie van brand leidt tot alarmering van overige bewoners in het gebouw. Hierdoor wordt een vroegtijdige ontruiming in gang gezet en kan, in combinatie met het juiste ontruimingsconcept, een snelle en efficiënte evacuatie van bewoners plaatsvinden. Bovendien kunnen via de intercomfunctie bewoners worden toegesproken door de brandweer, bijvoorbeeld om evacuatieopdrachten mee te geven.

Ontruimingsconcepten voor gehele of gefaseerde ontruiming

Effect op de inzet: Het ontruimingsconcept beschrijft de wijze waarop het gebouw in geval van brand ontruimd wordt. Het gebouw kan in zijn geheel (concept A en B), gefaseerd (concept C) of op alternatieve wijze wordt ontruimd (zie ook paragraaf 2.2.3). Bij gefaseerde ontruiming geeft doorgaans de brandweer de opdracht om tot volledige ontruiming over te gaan.

Overdrukinstallatie in de trappenhuizen

Effect op de inzet: Drukverschillen tussen het trappenhuis en de omgeving kunnen leiden tot een zogenaamd 'schoorsteen- of stackeffect' waarbij rookverspreiding naar het trappenhuis plaatsvindt. De overdrukinstallatie (in aanvulling op de voorgeschreven brand- en rookwerende scheidingsconstructies en voorportalen) voorkomt het binnendringen van brand en rook in het trappenhuis, waardoor een veilige ontvluchting en inzet mogelijk blijven

Automatische blusinstallatie (sprinkler)

Effect op de inzet: Een sprinkler controleert de brand in een vroeg stadium, waardoor deze in omvang beperkt blijft. Dit resulteert in een beperkt thermische belasting van draag- en scheidingsconstructies. De beperkte brandomvang leidt tot verminderde rookproductie en drukopbouw. Dit is van invloed op rookverspreiding naar aangrenzende woningen en vlucht- (en aanvals)routes. De woning met brand is door de brandweer goed te bereiken en de brand binnen de woning is makkelijk te bestrijden.

Twee brandweerliften

Effect op de inzet: Bij gebouwhoogtes vanaf 70 meter is de brandweer, gezien de fysieke beperkingen van het brandweerpersoneel, afhankelijk van de brandweerlift. Deze is daarom redundant uitgevoerd. Bovendien is een aanvullende brandweerlift noodzakelijk, gezien het grote aantal taken bij een brandweerinzet.

Twee natte blusleidingen

Effect op de inzet: Bij gebouwhoogtes vanaf 70 meter is de brandweer, gezien beperkingen van het brandweermaterieel,¹⁸ afhankelijk van de natte blusleiding. Deze is daarom redundant en nat uitgevoerd. De blusleidingen, elk met een met een capaciteit van 37m³ /h, maken een snelle en gelijktijdige inzet met tot vier O-bundels mogelijk.

Communicatievoorziening tussen de commandoruimte en verdiepingen

Effect op de inzet: Bij gebouwhoogtes vanaf 70 meter is de brandweer, gezien beperkingen van het brandweermaterieel,¹⁹ afhankelijk van de in het gebouw aanwezige communicatiemiddelen. De communicatiemiddelen tussen commandoruimte en verschillende bouwlagen faciliteren de brandweerinzet.

Commandoruimte met bediening van installaties en gebouwinformatie

Effect op de inzet: Een ruimte voor bediening van gebouwinstallaties, communicatie en gebouwinformatie zal een brandweerinzet ondersteunen. Biedt ook mogelijkheid voor COPI-overleg, maar wordt in praktijk niet gebruikt.

¹⁸ De maximale pompdruk van een tankautospuiter is ongeveer 12 tot 15 bar. Deze druk volstaat niet om water met voldoende capaciteit en werkdruk op hoogtes van (ongeveer) 70 meter te krijgen

¹⁹ Het C2000-communicatiesysteem van de brandweer werkt (vaak) niet meer bij gebouwen boven de 70 meter.

Brandveiligheidsvoorzieningen in woongebouwen van 200 tot 400 meter en het effect op de brandweerinzet (Rotterdamse Brandveiligheidsvisie Hoogbouw-plus)

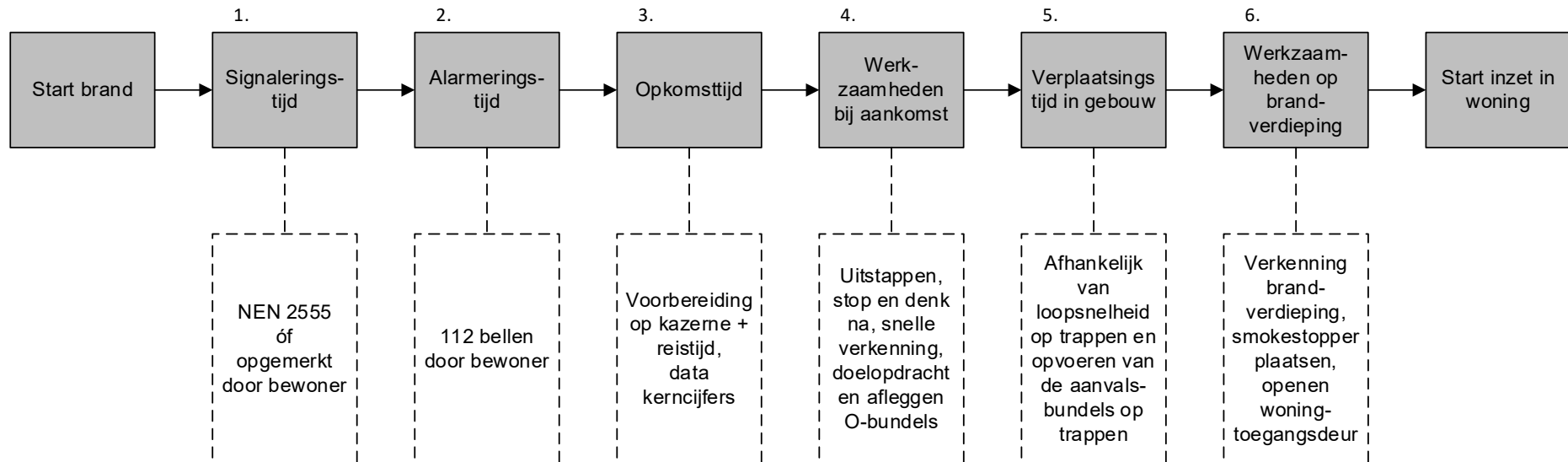
Hoogte	Voorziening (selectie) in woongebouwen
200 - 400 m. (Hoogbouw +)	<p><i>Weerstand tegen bezwijken van vluchtroutes en bouwconstructie:</i> Weerstand m.b.t bezwijken in geval van brand van de bouwconstructie 120 min en aanvullend de tijd van een totaalont-ruiming tot 240 min, bepaald volgens natuurlijke en standaardbrandkromme waar de maatgevende telt.</p> <p><i>Effect op de inzet:</i> Naarmate het gebouw hoger wordt, neemt de weerstand m.b.t bezwijken nog verder toe. Deze is enerzijds gekoppeld aan het ontruimingsconcept en daarmee aan de ontruimingstijd van het gebouw, maar maakt het ook mogelijk om gedurende lange tijd in brandweerinzet uit te voeren. De relatie met beide brandkrommen is om een grote mate van betrouwbaarheid in te bouwen.</p> <p><i>Beperking ontwikkeling brand en rook:</i> Gevelconstructie brandklasse A2.</p> <p><i>Effect op de inzet:</i> Gevels zijn niet bereikbaar en een eventuele brand kan niet worden bestreden. Een hogere brandklasse A2 voorkomt branduitbreiding over de gevel.</p> <p><i>Loggia en aan drie zijden gesloten balkon gesprinklerd</i></p> <p><i>Effect op de inzet:</i> Het besloten karakter en van deze ruimten, inclusief de te verwachten inrichting en aankleding, maakt dat een brand zich kan ontwikkelen. Een ontwikkelde brand kan zich naar de woning of naar de gevelconstructie uitbreiden. Een (droge) sprinkler contro-leert de brand in een vroeg stadium en vergroot de kans op een effectieve brandweerinzet.</p> <p><i>Brand- en rookwerende scheidingsconstructies:</i> géén reductie 30 min door aanwezigheid van sprinkler.</p> <p><i>Effect op de inzet:</i> Het risico op branduitbreiding tussen compartimenten of naar de horizontale delen van de vluchtroute, bijvoorbeeld door een niet (effectief) functionerende sprinkler, wordt verder verkleind.</p> <p><i>Voorportalen voor trappenhuizen moeten gescheiden zijn</i></p> <p><i>Effect op de inzet:</i> De kans op rookverspreiding naar beide trappenhuizen (met de hierin gelegen vlucht- en aanvalsroutes) wordt verder verkleind in geval van onbedoelde rook-verspreiding naar een van de voorportalen. Dit ondersteunt een veilige ontvluchting en brandweerinzet.</p> <p><i>Aanvullende evacuatielift</i></p> <p><i>Effect op de inzet:</i> Een slim aangestuurde evacuatielift draagt zorg voor een veilige en snelle evacuatie van personen met een fysieke beperking, waardoor geen of minder ondersteuning van de brandweer nodig is. De brandweer kan zich richten op andere inzettaken.</p> <p><i>Brandweeringangen gesitueerd aan twee verschillende gevels</i></p> <p><i>Effect op de inzet:</i> Vallende constructiedelen kunnen een belemmering vormen voor een veilige (ontvluchting en) brandweerinzet. De beschikbaarheid van twee brandweeringangen (en vluchtmogelijkheden) leidt tot een grotere betrouwbaarheid.</p>

Commandoruimte met bediening van installaties en gebouwinformatie: Aanvulde informatievoorzieningen, zoals een digitale klok die gaat lopen vanaf het moment van branddetectie. Ook is er informatie over de sterkte bij brand, de beschikbare hoeveelheid bluswater, de locatie van de evacuatie en brandweerliften en de verschillende contactgegevens

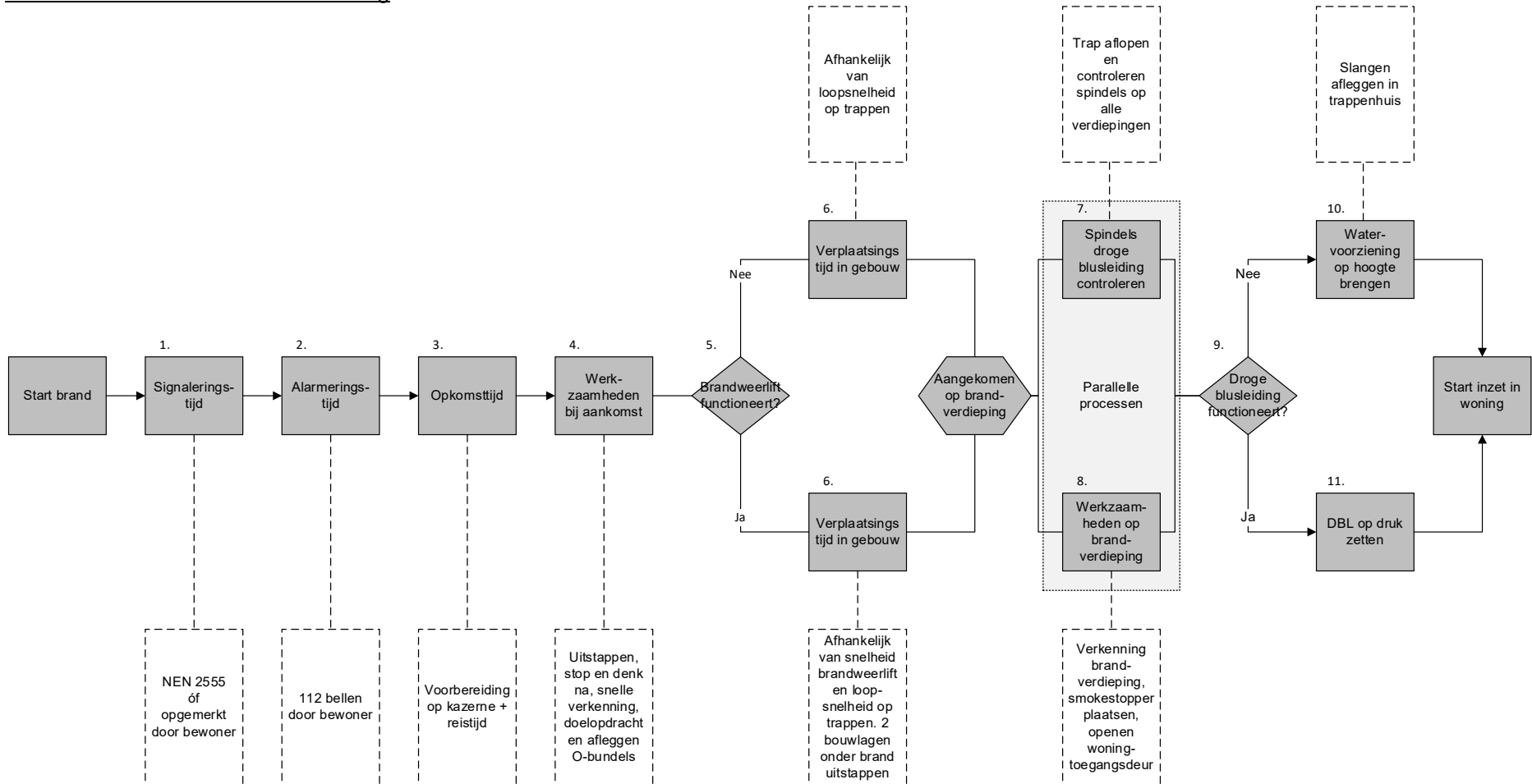
Effect op de inzet: Met behulp van de lopende klok, in combinatie met de informatie over de sterkte van brand, kunnen afgewogen keuzes met betrekking tot de brandweerinzet gemaakt worden. Zo kan besloten worden wanneer een volledige ontruiming vereist is, of wanneer een brandweerinzet moet worden afgebroken. Ook de informatie over de nog resterende sprinkler- en bluswatercapaciteit draagt hieraan bij.

Bijlage 3: Modelbrandweerinzetten

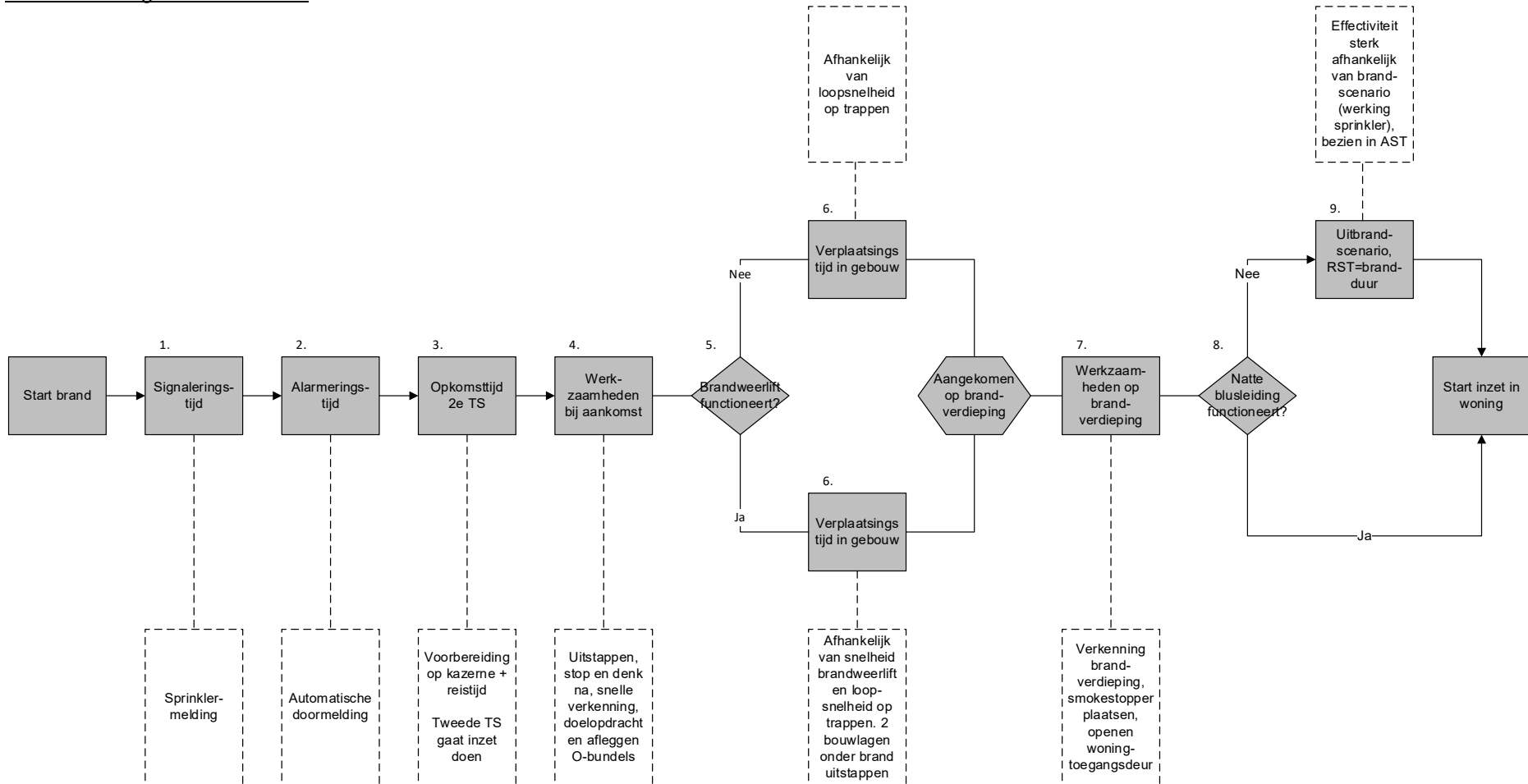
Gebouwen tot 20 meter hoogte



Gebouwen tussen 20 en 70 meter hoog



Gebouwen hoger dan 70 meter



Bijlage 4: Kansverdelingen

In deze bijlage worden de kansverdelingen die zijn gebruikt bij de analyse van de benodigde veilige tijd voor de brandweerinzet (RST) beschreven en gemotiveerd.

Signaleringstijd (detectietijd) \leq 70 meter

In gebouwen lager dan of gelijk aan 70 meter wordt geen centrale vorm van detectie of alarmering verondersteld. Het signaleren van de brand is in deze gevallen met name afhankelijk van detectie door rookmelders in de woningen en het opmerken door de bewoners van de woning waarin de brand zich bevindt of burens van die woning. Het is daarnaast belangrijk mee te wegen dat bewoners niet thuis kunnen zijn, hetgeen de signalering (detectie) van de brand kan vertragen. Om zicht te krijgen op de detectietijd, is een eenvoudige gebeurtenissenboom opgesteld waarin de kans op een bepaalde signaleringstijd is berekend. De kansen zijn zo genomen, dat zij op hoofdlijnen aansluiten op de bevindingen uit het rapport *Reddingen bij brand 2016-2018* (Brandweeracademie, 2020b, para. 2.2.7). De volgende gebeurtenissen en daarbij behorende kansen worden aangenomen relevant te zijn:

Tabel B4.1 Gebeurtenissen en discrete kansen bij analyse signaleringstijd < 70 meter

Gebeurtenis	Discrete kans [-]
<i>Bewoners thuis?:</i>	
> Ja	> 0,5*
> Nee	> 0,5
<i>Rookdetectie in brandruimte aanwezig?*</i>	
> Ja	> 0,1
> Nee	> 0,9
<i>Wijze van detecteren bij bewoners thuis en geen rookdetectie in brandruimte:</i>	
> Gedetecteerd in verkeersruimte	> 0,5
> Opgemerkt door bewoners	> 0,5
<i>Wijze van detecteren bij bewoners <u>niet</u> thuis en geen rookdetectie in brandruimte:</i>	
> Burens akoestisch gealarmeerd	> 0,1
> Opgemerkt door rookverspreiding	> 0,9

* De verwachting is dat dit sterk wisselt per huishouden. Daarom wordt uitgegaan van een conservatieve variabele.

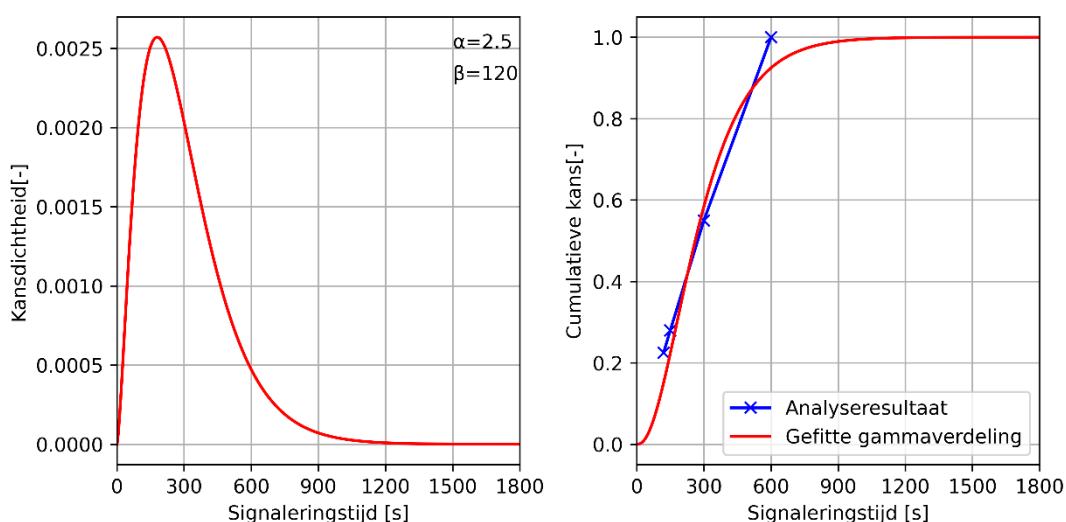
** Rookdetectie is alleen verplicht in verkeersruimten van woningen, terwijl branden veelal ontstaan in verblijfsruimten. De kans op brand in een ruimte waarin detectie aanwezig is, is zodoende klein.

De signaleringsvorm en bijbehorende tijd zijn als volgt gedefinieerd, zie Tabel B4.2. Daarbij is ook een bron aangegeven, mocht die voorhanden zijn.

Tabel B4.2: Gebeurtenissen en kansen bij analyse signaleringstijd < 70 meter

Signaleringsvorm	Signaleringstijd [s]	Bron
Detectie in brandruimte	150	(Cleary, 2009, 2014)
Detectie in verkeersruimte	300	<i>Ingeschat</i>
Waarneming door bewoners woning waarin brand zich bevindt	120	<i>Ingeschat</i>
Detectie door rookverspreiding	600	(Brandweeracademie, 2020c) na 10 minuten vergaande rookverspreiding opgemerkt naar andere woningen

De uitkomst van de gebeurtenisboom is de cumulatieve kans op een bepaalde signaleringsvorm en -tijd, zie de rechter grafiek in Figuur B4.1 De uitkomsten zijn weergegeven in een cumulatieve kansverdeling. Daarop is een continue gammaverdeling gefit (gepast). Het voordeel van de gebruikte gammaverdeling is, dat deze niet alleen aansluit op de analyseresultaten, maar ook dat deze korte (enkele seconden) en lange signaleringstijden (tot 20-30 minuten) mogelijk maakt, zie de rechter grafiek in Figuur B4.1. Dit sluit naar mening van de onderzoekers goed aan op de realiteit. De signaleringstijd wordt aangevuld met een alarmeringstijd, deze staat beschreven in de volgende paragraaf.

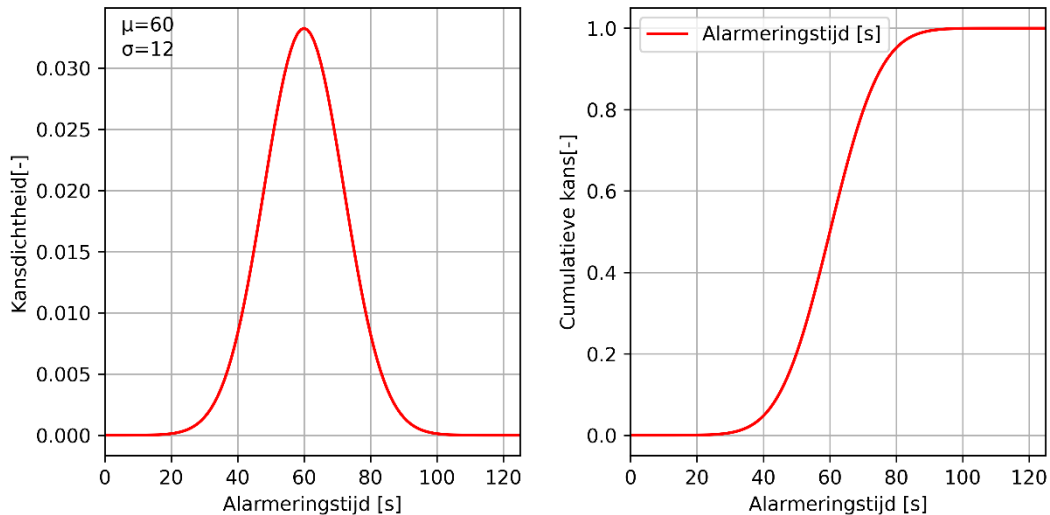


Figuur B4.1 Analyseresultaat en gefitte gammaverdeling

Alarmeringstijd ≤ 70 meter

In gebouwen lager dan of gelijk aan 70 meter wordt een detectie van de brand niet automatisch doorgemeld aan een alarmcentrale. Er wordt van uitgegaan dat personen de brand melden aan de meldkamer (112 bellen). De tijd die daarvoor nodig is, is afhankelijk van met name de reactietijd van degene die de brand heeft gesignaleerd. Het is de vraag of mensen wel direct 112 bellen na het signaleren van een brand. Het is ook mogelijk dat zij eerst een bluspoging ondernemen, alvorens ze de brand melden aan de meldkamer.

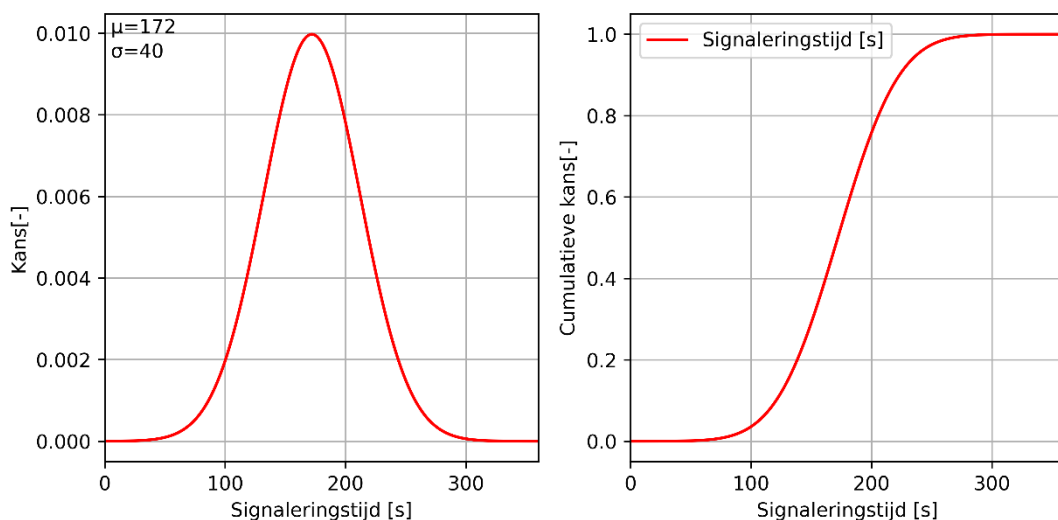
In de literatuur zijn geen data gevonden over een kwantitatieve alarmeringstijd. Daarom is er door de onderzoekers een inschatting gemaakt. Het betreft een normale verdeling met een gemiddelde alarmeringstijd van 1 minuut en een standaardafwijking van 12 seconden. Dit resulteert in de kansverdeling zoals aangegeven in Figuur B4.2.



Figuur B4.2 gehanteerde verdeling voor alarmeringstijd ≤ 70 meter

Signaleringstijd > 70 meter

In gebouwen hoger dan 70 meter is er een automatische brandblusinstallatie aanwezig die een brand detecteert als de installatie in werking treedt. Het is ook mogelijk dat de brand op een andere wijze wordt gesignaleerd, bijvoorbeeld door de bewoners. Voor dit onderzoek is ervoor gekozen om de brandblusinstallatie als primaire detectievorm te hanteren voor gebouwen boven de 70 m. Deze installatie heeft in tegenstelling tot rookmelders in de woningen in elke ruimte een projectie en heeft naar verwachting daarom een hogere betrouwbaarheid. De signaleringstijd is in dit geval gelijk aan de detectietijd. De gehanteerde kansverdeling is ontleend aan (Joglar et al., 2005) en is in Figuur weergegeven. Omdat een sprinklerinstallatie doorgaans automatisch doormeldt naar een particuliere of regionale alarmcentrale, is er geen rekening gehouden met een aanvullende alarmeringstijd.

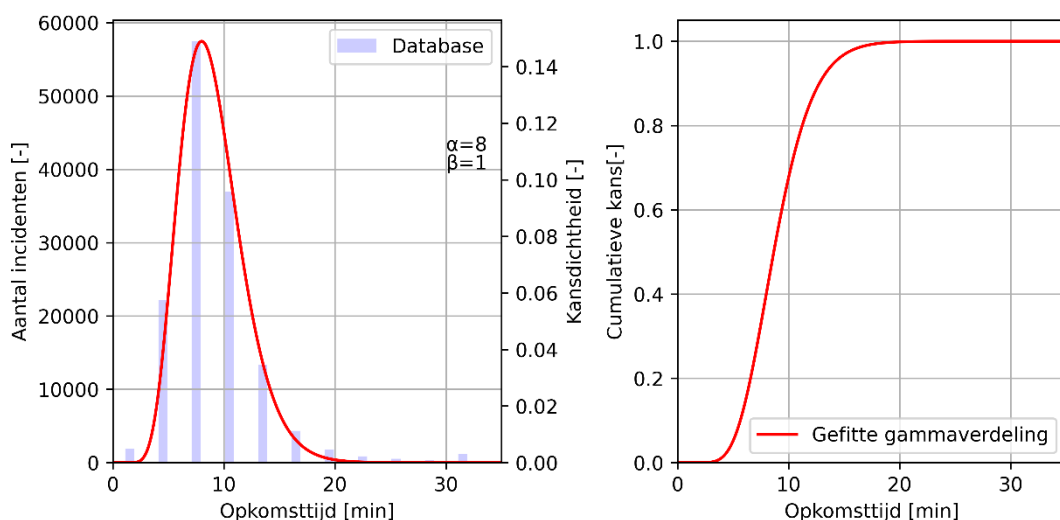


Figuur B4.3 gehanteerde verdeling voor signaleringstijd > 70 meter

Opkomsttijd van de brandweer

De opkomsttijd van de brandweer in Nederland is de tijd die verstrijkt tussen het moment van alarmeren en het arriveren van de brandweer op de plaats van het incident. Voor de opkomsttijd zijn gegevens aangehouden die afkomstig zijn uit de database 'Kerncijfers veiligheidsregio's'. Daarbij is de dataset voor heel Nederland aangehouden. Hoewel hogere gebouwen boven de 70 m doorgaans in dichtbevolkte gebieden worden gebouwd, is het denkbaar dat lagere gebouwen (hoger dan 20 en lager dan 70 meter) ook worden gebouwd in dunbevolktere gebieden. Bovendien laat een analyse zien dat de opkomsttijden per veiligheidsregio elkaar niet veel ontlopen. Binnen de dataset is alleen gekeken naar meldingen onder de noemer 'brand'.

Binnen de modelbrandweerinzet start de bemensing van de eerste tankautospuiter (TS1) bij aankomst met het voorbereiden van de inzet (rondomverkenning, watervoorziening, et cetera). Zij doet uiteindelijk ook zelf een inzet. Bij een gebouw hoger dan 70 meter wordt binnen de modelbrandweerinzet uitgegaan van een peloton, waarbij de tweede tankautospuiter (TS2) de inzet gaat voorbereiden en uitvoeren (zie paragraaf 1.4.3). De TS2 heeft een langere opkomsttijd. Om die reden wordt de kansverdeling die is weergegeven in Figuur B4.4 naar rechts verschoven met 2 minuten.

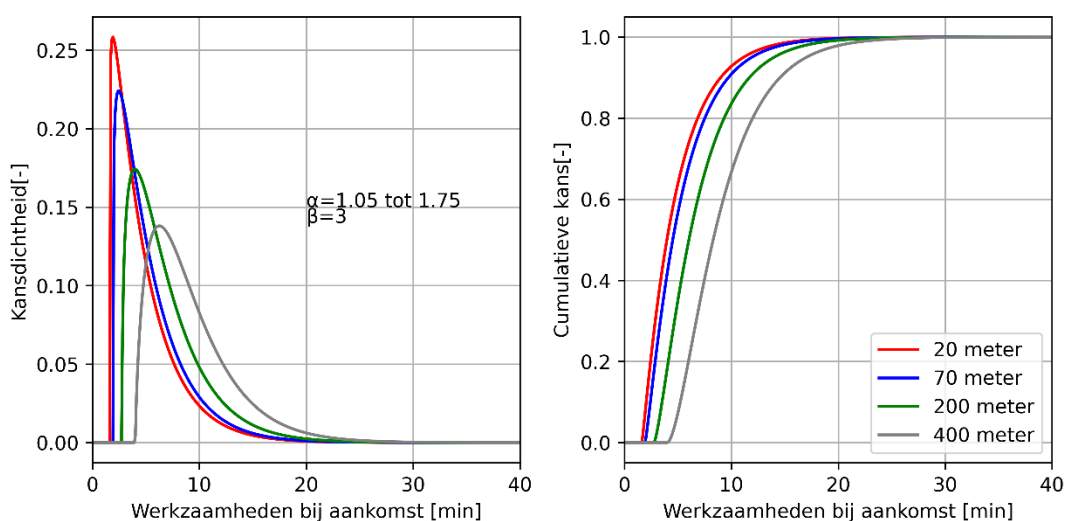


Figuur B4.4: Dataset opkomsttijden en gefitte gammaverdeling

Handelingen bij aankomst

Bij aankomst van de TS1 wordt gestart met een rondomverkenning en worden O-bundels afgelegd tot aan het trappenhuis en/of vulpunt van de droge blusleiding. Bij gebrek aan data worden deze handelingen samengenomen en wordt de kansverdeling ingeschat. Deze inschatting is gedaan in overleg met diverse brandweermensen die in de repressief actief zijn.

Met name de tijd die nodig is voor de rondomverkenning is afhankelijk van de complexiteit van het incident. Het ligt voor de hand dat als er sprake is van een brand in een woning in bijvoorbeeld een bank, deze snel na aankomst kan worden gelokaliseerd. Een brand in een schacht of installatietoestel is waarschijnlijk lastiger te lokaliseren. Dit zorgt voor een toename van de tijd die nodig is voor de rondomverkenning. Een voorbeeld hiervan is een brand in een woontoren in Rotterdam. Toen duurde het circa 50 minuten (na alarmering van de brandweer) om een brand in een serverruimte te lokaliseren (Veiligheidsregio Rotterdam Rijnmond, 2017). De aangenomen kansverdelingen zijn weergegeven in Figuur B4.5.



Figuur B4.5 Aangehouden kansverdeling voor 'werkzaamheden bij aankomst'

Benodigde tijd voor een rondomverkenning in gebouwen hoger dan 70 meter

Relevante informatie die voorhanden is bij de meldkamer en wordt doorgegeven aan de uitrukkende TS kan bijdragen aan het bekorten van de tijd die nodig is voor de (rondom)verkenning. De ervaring leert echter dat die informatie zelden wordt gedeeld met de TS.

In gebouwen hoger dan 70 meter zijn voorzieningen aanwezig die kunnen helpen bij het lokaliseren van de brand (detectie, sprinklers). Als die informatie wordt gedeeld met de TS, zou dit kunnen leiden tot een bekorting van de noodzakelijke tijd voor de (rondom)verkenning.

De complexiteit van het gebouw en de omgeving daaromheen kunnen leiden tot onduidelijkheden die de inzet vertragen. Zo kan een gebouw meerdere brandweeringangen of blusleidingen hebben. Het is voor de repressieve dienst niet altijd duidelijk welke brandweeringang of blusleiding dan het beste kan worden gebruikt. Het ligt voor de hand dat de complexiteit van het gebouw en de omgeving toeneemt met de hoogte van het gebouw. Daarom is gekozen om de alfa-waarde (α) van de gammaverdeling te verhogen naarmate het gebouw hoger wordt. Dit resulteert in een grotere spreiding in de kansverdeling. Het aangehouden maximum is een alfa-waarde van 1,75 bij een gebouwhoogte van 400 meter. Hierdoor neemt de kans toe op langere tijden voor de werkzaamheden bij aankomst en de kans op kortere tijden af. Daarnaast wordt het minimum van de kansverdeling naar rechts verschoven naarmate het gebouw hoger wordt, variërend van 1,5 minuut naar 4 minuten. Hierdoor neemt de tijd die nodig is voor werkzaamheden bij aankomst toe met de gebouwhoogte.

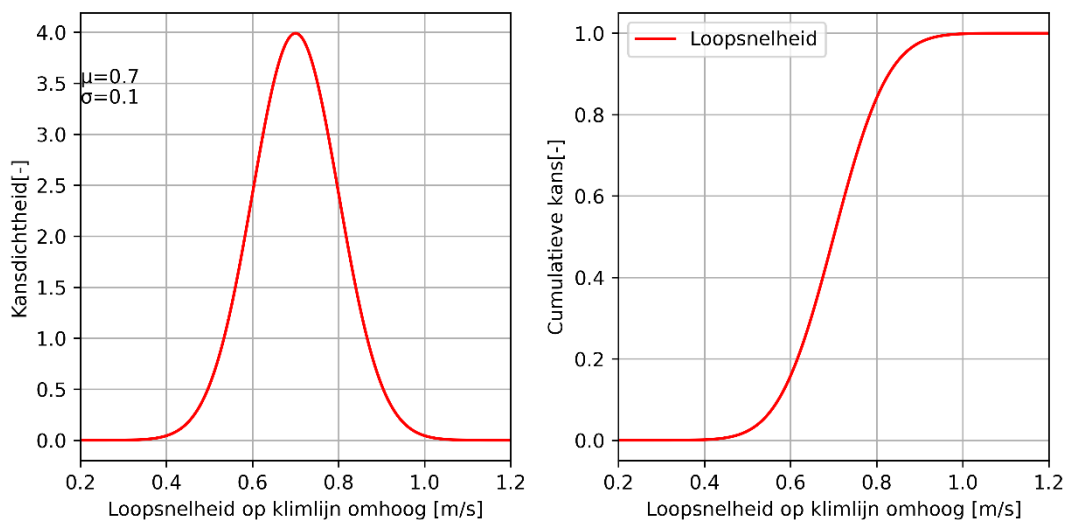
Verticale verplaatsingen

Hieronder worden de verticale verplaatsingen via trappen en liften nader toegelicht.

Per trap omhoog

Voor de loopsnelheid naar boven op trappen zijn gegevens gebruikt uit literatuur (Clapa et al., 2015; Kretz et al., 2008). Deze gegevens zijn afkomstig van experimenten met brandweerprofessionals in beschermende kleding en ademlucht. Daaruit blijkt dat de gemiddelde snelheid op de klimlijn van de trap ongeveer 0,7 m/s bedraagt met een

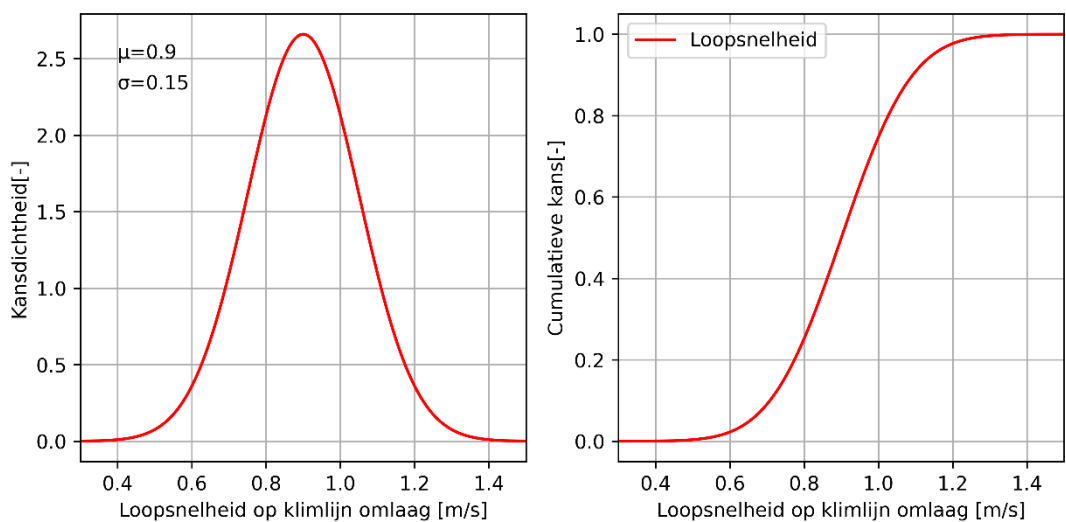
standaardafwijking van ongeveer 0,1 m/s. Dit resulteert in de kansverdeling zoals getoond in Figuur B4.6.



Figuur B4.6 Kansverdeling loopsnelheid op klimlijn omhoog

Per trap omlaag

Er zijn geen data gevonden die betrekking hebben op de loopsnelheid van brandweerprofessionals op trappen naar beneden. De gegevens die voorhanden zijn, hebben betrekking op een reguliere populatie (Fujiyama & Tyler, 2004; SFPE, 2016, Chapter 64). Deze data zijn gebruikt in dit onderzoek. Er kan een gemiddelde loopsnelheid over de klimlijn van de trap van 0,9 m/s uit worden afgeleid. De standaardafwijking bedraagt ongeveer 0,15 m/s. Dit resulteert in de kansverdeling als getoond in Figuur B4.7.



Figuur B4.7 Kansverdeling loopsnelheid op klimlijn omlaag

Per brandweerlift

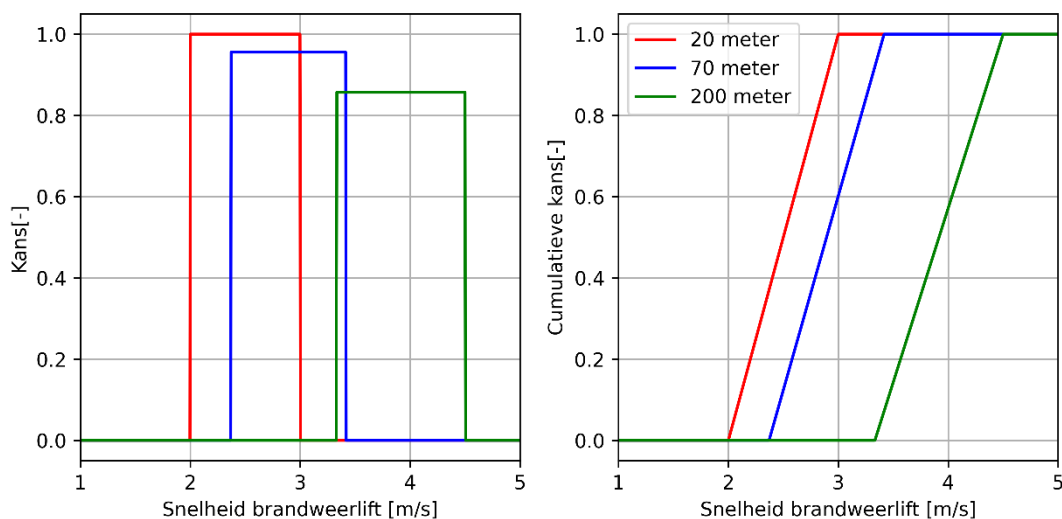
Over de snelheid van de brandweerlift zijn geen data gevonden, anders dan de eisen in de norm EN 81-72 omtrent de maximale verplaatsingstijd van een brandweerlift. Daarin is opgenomen dat de verplaatsingstijd van de lift tot de hoogste verdiepingvloer maximaal 60 seconden mag duren tot een gebouwhoogte van 200 meter. Voor gebouwen hoger dan 200

meter mogen die 60 seconden worden verhoogd met een seconde per 3 meter gebouwhoogte. Dit betekent dat de minimale vereiste snelheid van de lift afhangt van de gebouwhoogte. Zeker in hogere gebouwen ligt het voor de hand dat de lift hogere snelheden haalt. Daar worden de liften veel gebruikt gedurende het reguliere gebruik van het gebouw, waardoor de liften veel personen moeten kunnen vervoeren in een kort tijdsbestek. In de norm EN 81-72 is daarnaast aangegeven dat een snelheid van 4,5 m/s als technisch maximum gezien kan worden. De aangehouden liftsnelheden zijn weergegeven in Tabel B4.3.

Tabel B4.3 Aangehouden snelheden brandweerlift

Gebouwhoogte [m]	V_{\min} [m/s]	V_{\max} [m/s]
20	2	3
200	3,33	4,5
400	3,33	4,5

Tussen de snelheden wordt geïnterpoleerd om de snelheid bij andere gebouwhoogten te verkrijgen. In dit onderzoek is ervoor gekozen de liftsnelheid te modelleren met een uniforme verdeling, omdat er geen inzicht bestaat in een eventuele spreiding. De verdeling is in Figuur B4.8 weergegeven voor gebouwen met een hoogste verdiepingvloer gelegen op 20, 70 en 200 meter.

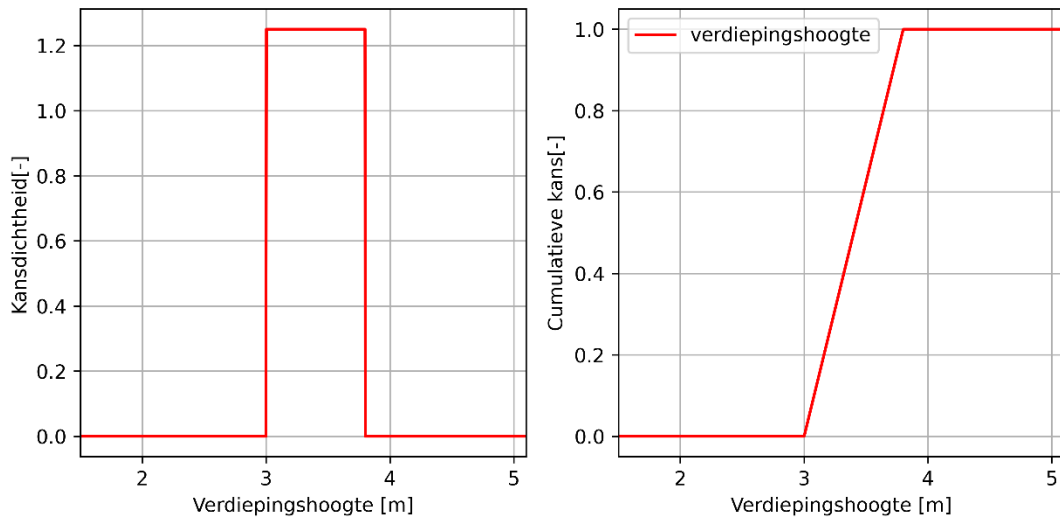


Figuur B4.8 Voorbeelden van aangehouden verdeling voor snelheid brandweerlift

Verdiepingshoogte

Om de totale verplaatsingstijd te kunnen bepalen, is het nodig een verdiepingshoogte te definiëren. In de uitgangspunten in paragraaf 2.2 is beschreven dat er voor wat betreft de bepaling van het aantal bouwlagen een verdiepingshoogte van 3 meter wordt gehanteerd. In werkelijkheid zal die verdiepingshoogte per gebouw verschillen. Daarom wordt de verdiepingshoogte in de Monte Carlo Simulaties verondersteld als kansverdeling. Er zijn hierover geen data gevonden. Daarom wordt een uniforme kansverdeling verondersteld met een ondergrens van 3 meter en een bovengrens van 3,8 meter. Dit wordt voor woongebouwen

als realistisch verondersteld door de onderzoekers. De gehanteerde kansverdeling is weergegeven in Figuur B4.9.



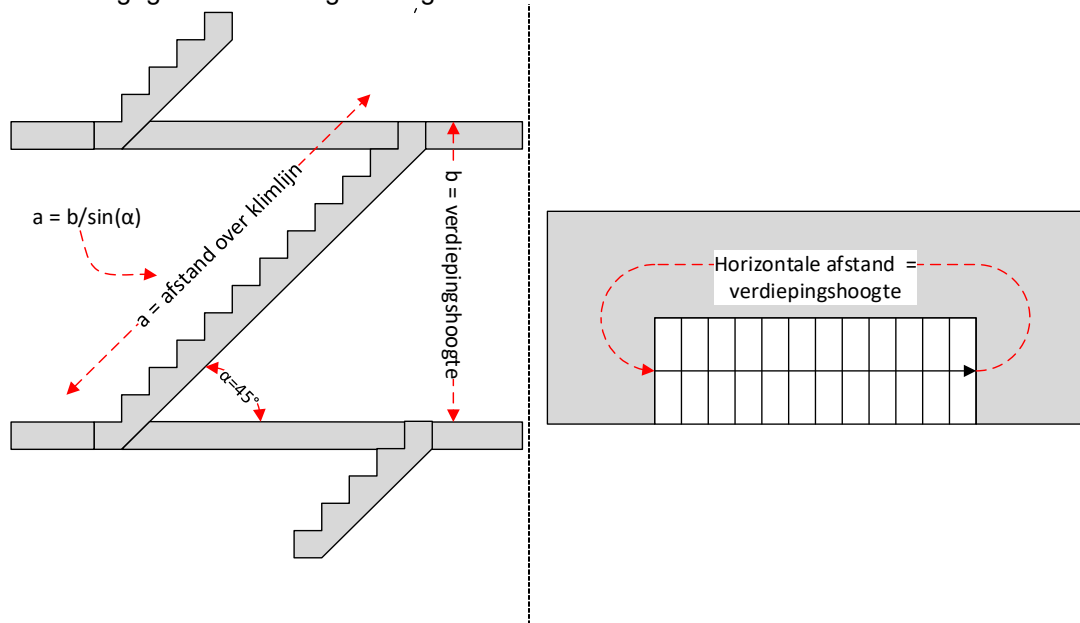
Figuur B4.9 Aangehouden verdeling voor verdiepingshoogte

Verplaatsingstijd

De verplaatsingstijd per trap is in dit onderzoek een functie van de loopsnelheid, de loopafstand en eventuele rustmomenten als gevolg van vermoeidheid. In dit onderzoek is voor de bepaling van de loopafstand over trappen en bordessen uitgegaan van de volgende configuratie per verdieping:

- > Een steektrap met een klimhoek van 45°. Samen met de verdiepingshoogte wordt hieruit de loopafstand over de klimlijn van de trap bepaald.
- > Een horizontale loopafstand over het bordes die bij een klimhoek van 45° (vereenvoudigd) gelijk is genomen aan de verdiepingshoogte.

Dit is weergegeven in de volgende figuur.



Figuur B4.10 Doorsnede over trap (links) en bovenaanzicht trap (rechts) voor bepaling van de loopafstand

Om rekening te houden met de gevolgen van eventuele vermoeidheid wordt er uitgegaan van een rustmoment van 1 minuut per 6 bouwlagen voor verticale bewegingen omhoog. Voor verticale bewegingen omlaag wordt een rustmoment van 1 minuut per 10 bouwlagen aangehouden. De totale verplaatsingstijd wordt elke iteratie apart bepaald.

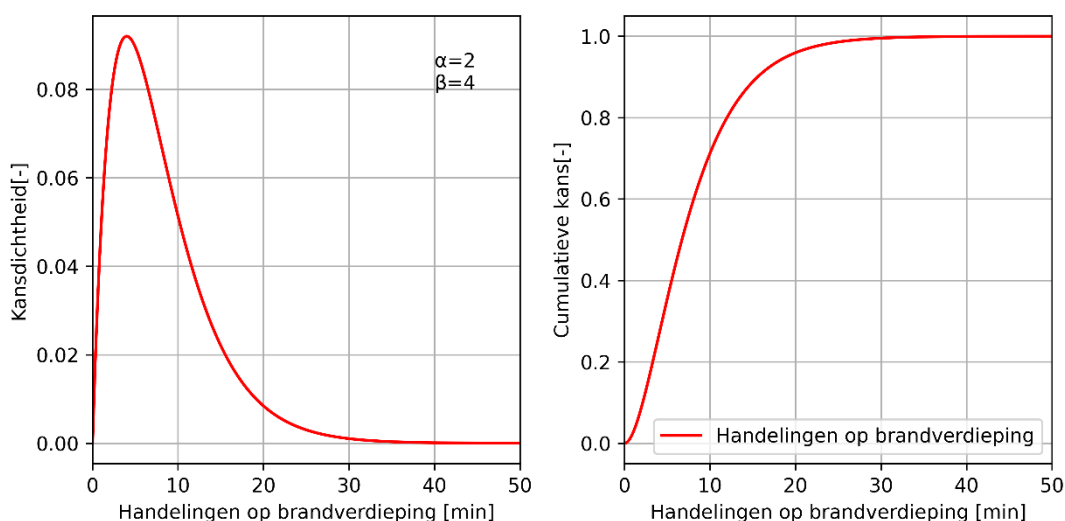
De verticale verplaatsingstijd per brandweerlift wordt bepaald door de totaal te overbruggen hoogte en de liftsnelheid. Twee bouwlagen onder de brand wordt uitgestapt en verplaatst men zich via de trap naar de brandverdieping. Ongeacht de hoogste verdiepingvloer wordt op de totale reistijd 30 seconden opgeteld als tijd die nodig is voor in- en uitstappen.

Handelingen op brandverdieping

Op de brandverdieping wordt een verkenning van de verdieping uitgevoerd, eventueel aangesloten op de blusleiding en wordt rookverspreiding zoveel mogelijk beperkt door het plaatsen van smokestoppers. Tevens wordt de deur van de woning waarin de brand zich bevindt, geopend en eventueel geforceerd als dat nodig is. Het forceren van deuren in met name nieuwere woongebouwen kan enige tijd in beslag nemen. Bij gebrek aan data worden deze handelingen samengenomen en wordt de kansverdeling ingeschat. Het betreft een asymmetrische verdeling, die zo is gekozen vanwege mogelijke extremen door:

- > een langere tijd die nodig is voor de verkenning, door bijvoorbeeld rookverspreiding
- > een langere tijd die nodig is om de voordeur te forceren.

De aangenomen kansverdeling is weergegeven in Figuur B4.11



Figuur B4.11 Aangehouden verdeling voor handelingen op brandverdieping

Vullen van de droge blusleiding

Nadat de handelingen op de brandverdieping zijn uitgevoerd, wordt de droge blusleiding, als deze aanwezig is, op druk gezet. De tijd die daarvoor nodig is, is *niet* meegenomen in de kwantitatieve bepaling van de RST. Het vullen van de blusleiding kost in relatie tot de handelingen op de brandverdieping slechts beperkt tijd, en het is aannemelijk dat de blusleiding op druk wordt gezet terwijl deze handelingen worden uitgevoerd.

Uitbrandscenario

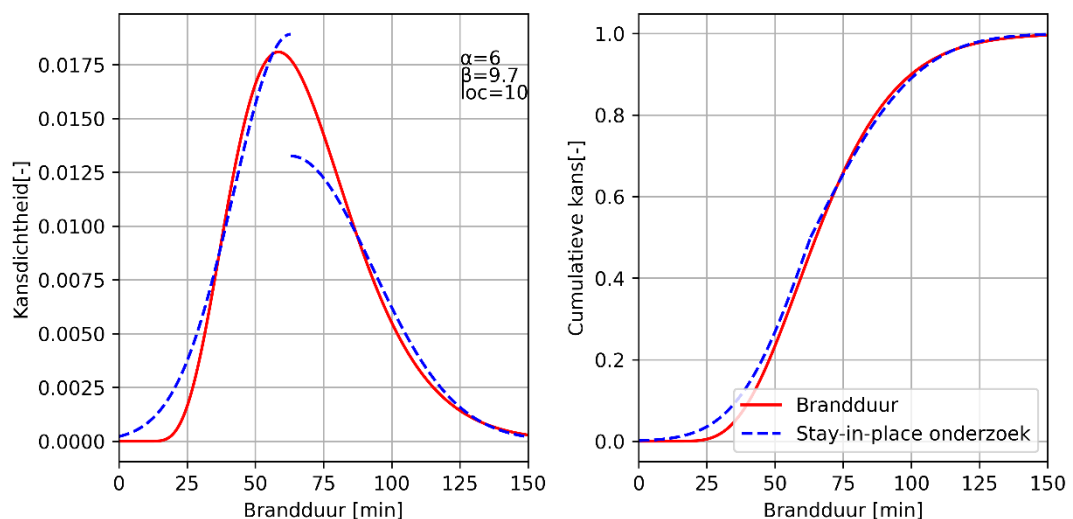
Bij scenario's in gebouwen hoger dan 70 meter waarin de natte blusleiding faalt, is een offensieve binneninzet door de brandweer niet mogelijk. Er is in die gevallen onvoldoende

bluswater beschikbaar op de brandverdieping. Er wordt in dit onderzoek dan uitgegaan van een uitbrandscenario van het brandcompartiment. De RST is in die scenario's gelijkgesteld aan de brandduur van de brand volgens het natuurlijk brandconcept. Er is geen nieuwe analyse uitgevoerd om de gemiddelde brandduur en de spreiding daaromheen te bepalen. In plaats daarvan wordt gebruikgemaakt van de resultaten van brandmodellering uit het onderzoek *Rookverspreiding en persoonlijke veiligheid* (van Liempd et al., 2022). Uitgangspunt in dat onderzoek was dat de brand tot volledige ontwikkeling komt (flashover) en dat voldoende zuurstof voorhanden was om het volledige brandvermogen in de woning te doen ontwikkelen.

De statistische aanpak bij die brandmodellering sluit niet goed aan op de aanpak die hier wordt gebruikt. Daarom is op de data uit het genoemde onderzoek een gammaverdeling gefit die qua cumulatieve kansverdeling op hoofdlijnen aansluit op de resultaten uit de brandmodellering. De aangehouden verdeling is weergegeven in Figuur B4.11.

Brandduur volgend het natuurlijk brandconcept

De brandduur volgens het natuurlijk brandconcept is de tijd die nodig is om alle brandstof in een ruimte (of compartiment) op te doen branden. De brand dooft na de brandduur als gevolg van het ontbreken van brandstof (NEN, 2011).



Figuur B4.12 Aangehouden verdeling voor het uitbrandscenario

Bijlage 5:

Gevoeligheidsanalyse van de kansverdelingen

In tabel B5.1 en B5.2 zijn de rekenresultaten voor het gemiddelde en de standaardafwijking van de scenariospecifieke RST (scenario 1) weergegeven voor drie gebouwhoogtes. Het vergelijken van de gemiddelden geeft een beeld van de bijdrage van het onderdeel van de modelbrandweerinzet aan de totale RST. Het vergelijken van de standaardafwijkingen geeft een beeld van de invloed die het gekozen uitgangspunt heeft op de uiteindelijke spreiding in de RST.

Gebruikte centrummaat en spreidingsmaat bij de gevoeligheidsanalyse

Om de resultaten van de gevoeligheidsanalyse te presenteren is gebruikgemaakt van het gemiddelde (μ) en de standaardafwijking (σ) van de rekenresultaten en de gehanteerde variabelen. Voornoemde wijkt af van de resultaten van de RST waarbij de mediaan en het 20^{ste} en 80^{ste} percentiel zijn gebruikt.

Reden hiertoe is dat het met het gebruik van het gemiddelde en de standaardafwijking beter mogelijk is om het aandeel van de variabelen op het rekenresultaat inzichtelijk te maken. Het gemiddelde van het rekenresultaat is bij asymmetrische verdelingen grofweg gelijk aan de som van de gemiddelden van de verschillende onderdelen van de modelbrandweerinzet. Dit geldt niet voor de percentielwaarden.

Tabel B5.1 Resultaten voor scenariospecifieke RST, scenario 1 voor specifieke gebouwhoogtes

Gebouwhoogte	Gemiddelde (μ) [min]	Standaardafwijking (σ) [min]
<i>Totale RST</i>		
20 meter	28,1	7,6
70 meter	29,8	7,6
200 meter	31,0	7,3

Tabel B5.2 Gekozen uitgangspunten bij verdelingen

Onderdeel	Gemiddelde (μ) [min]	Standaardafwijking (σ) [min]
Alarmeringstijd	1	0,2
Handelingen bij aankomst:		
> 20 meter	4,9	3,1
> 70 meter	5,5	3,2
> 200 meter	7,0	3,5
Handelingen op brandverdieping	8,0	5,6

Met name de onderdelen 'Handelingen bij aankomst' en 'Handelingen op brandverdieping' zijn in vergelijking met de rekenresultaten groot. De onzekerheid die ontstaat als gevolg van de resultaten van deze gevoeligheidsanalyse is daarom ook groot. Om die onzekerheid te beperken, is experimenteel onderzoek nodig.