

Brandveiligheid hoge gebouwen

Fase 3: Vergelijking tussen de beschikbare en
benodigde veilige tijd voor de brandweerinzet



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, G. Janssen, 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 cover	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	7
	Inleiding	9
1	Methodologie	12
1.1	Algemene methodologie	12
1.2	Vergelijking beschikbare (AST) en benodigde (RST) veilige tijd	13
1.3	Acceptatiecriteria voor betrouwbaarheid	17
1.4	Kwaliteit van het onderzoek	22
2	AST-RST van draagconstructies en brandscheidingen	23
2.1	Resultaten AST-RST-vergelijking	23
2.2	Toetsing aan acceptatiecriteria voor betrouwbaarheid	27
2.3	Nadere analyse AST-RST-vergelijking	30
2.4	Conclusie	32
3	AST-RST van veilige brandweerinzet	33
3.1	Betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet	33
3.2	Toetsing aan acceptatiecriteria voor betrouwbaarheid	40
3.3	Nadere analyse AST-RST-vergelijking	47
3.4	Conclusie	49
4	Oplossingsrichtingen	50
4.1	Verkorten van de RST	50
4.2	Verlengen van de AST	52
4.3	Overzicht oplossingsrichtingen	55
5	Kwantitatieve waardering oplossingsrichtingen	56
5.1	Methodologie	56
5.2	Rekenresultaten	58
5.3	Conclusie	70
6	Conclusie	72
6.1	De kans dat $AST \geq RST$	72
6.2	Oplossingsrichtingen	74
6.3	Noodzakelijke voorzieningen en/of innovaties	75
6.4	Beantwoording hoofdvraag onderzoek	76
7	Discussie	78
7.1	Kaders van dit onderzoek	78
7.2	Onderzoeksmethode	79
7.3	Onzekerheid en gevoeligheid	81
7.4	Slotbeschouwing	81

Literatuur	82
Bijlage: Uitgangspunten oplossingsrichtingen	83

Samenvatting

Inleiding

In dit onderzoek wordt onderzocht welke aanpassingen in de regelgeving nodig zijn om de brandveiligheid van hoge gebouwen, gezien vanuit de brandweerinzet, te verbeteren. Dit onderzoek richt zich op de analyse en kwantificering van de brandweerinzet in hoge gebouwen (tot 400 meter hoog). De hoofdvraag van het onderzoek is als volgt:

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

Om de hoofdvraag te beantwoorden wordt een vergelijking uitgevoerd tussen de beschikbare veilige tijd voor brandweerinzet (Available Safe Time, AST) en de benodigde veilige tijd voor brandweerinzet (Required Safe Time, RST). In fase I van dit onderzoek is de RST bepaald en in fase II is de AST bepaald. Daarbij is gebruik gemaakt van een probabilistische methode die de kans op een RST of AST bepaalt (kansverdelingen). In dit rapport (fase III) zijn de AST en RST onderling vergeleken om de kans dat $AST \geq RST$ (of de betrouwbaarheid) te bepalen.

Methodologie

De AST-RST vergelijking is onderdeel van een vergelijkende risicoanalyse, waarbij als uitgangspunt is genomen dat een hoger gebouw ten minste even veilig moet zijn als de gekozen referentie. Die referentie betreft een gebouw met 6 bouwlagen (of 18 meter hoog). De referentie is vertaald naar een acceptabele betrouwbaarheid. Die acceptabele betrouwbaarheid neemt toe met de hoogte van gebouwen om rekening te houden met het feit dat het falen van de brandweerinzet in hogere gebouwen grotere consequenties heeft dan in lagere gebouwen.

Bij de vergelijking van de AST en de RST worden twee brandveiligheidsaspecten beschouwd:

1. *De betrouwbaarheid van de draagconstructies en brandscheidingen.* De vergelijking kwantificeert de kans dat draagconstructies en brandscheidingen tijdens de brandweerinzet falen.
2. *De condities in de aanvalsroute tijdens repressief optreden in het gebouw.* De vergelijking kwantificeert de kans dat omstandigheden in de aanvalsroute onacceptabel worden in het kader van fysiologische effecten op brandweerpersoneel.

Resultaten AST-RST vergelijking

Betrouwbaarheid van draagconstructies en brandscheidingen

Uit de rekenresultaten blijkt dat draagconstructies in het kader van de brandweerinzet vrijwel altijd een betrouwbaarheid hebben van $\geq 99,9$ %. De kans op bezwijken is daardoor klein. Alleen in gebouwen lager dan 15 meter is de kans op bezwijken lager (92,4 % tot 99,7 %). De betrouwbaarheid van brandscheidingen is lager dan die van draagconstructies door lagere brandwerendheidseisen. Deze lopen uiteen van 51 % tot 99 %. De brandwerendheid

van de brandscheiding en de aanwezigheid van een sprinklerinstallatie zijn hierin bepalend. Ook de opbouw van de omhulling (thermisch accumulerend of isolerend) is van belang voor het rekenresultaat. Met name in gebouwen met een hoogte 20-70 meter en een hoogte \geq 200 meter is de berekende betrouwbaarheid lager dan de acceptabele betrouwbaarheid.

Betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet

Uit de rekenresultaten blijkt dat de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet (kans op veilig inzetten) in de brandruimte in gebouwen lager dan 70 meter laag is (1 %-5 %). In gebouwen hoger dan 70 meter is die betrouwbaarheid hoger (90 % -95 %) door aanwezigheid van een sprinklerinstallatie. In de corridor waarop de brandruimte uitgaat is de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet hoger (80 % - 85 %) door de aanwezigheid van een zelfsluitende deur tussen de woning en de corridor. In de sluis en het trappenhuis is de betrouwbaarheid hoger (\geq 99 %) vanwege de aanwezigheid van scheidingen met zelfsluitende deuren tussen de ruimten onderling. Met name in gebouwen met een hoogte 20-70 meter is de berekende betrouwbaarheid in de brandruimte en corridor lager dan de acceptabele betrouwbaarheid.

Oplossingsrichtingen

Om de betrouwbaarheid van brandscheidingen en een veilige brandweerinzet te verbeteren tot aan de acceptabele betrouwbaarheid zijn oplossingsrichtingen beschreven. De verbetering van de betrouwbaarheid als gevolg van die voorstellen is zowel kwalitatief als kwantitatief beschouwd. Van de beschouwde oplossingsrichtingen verhogen de volgende de betrouwbaarheid tot aan de acceptabele betrouwbaarheid:

- > Verhogen van brandwerendheid van brandscheidingen
- > Sprinklerinstallatie aanbrengen in gebouwen met een hoogte 20-70 meter

Daarnaast valt het volgende af te leiden aan de rekenresultaten:

- > Het succesvol werken van installaties die de brandweer gebruikt tijdens de inzet (blusleidingen en brandweerliften) wordt met het toenemen van de hoogte van een gebouw belangrijker voor de betrouwbaarheid van de brandweerinzet.
- > Het verbeteren van de informatievoorziening van de brandweer kan de betrouwbaarheid van de brandweerinzet verhogen. Daartegenover staan beperkte aanpassingen van gebouwen.

Conclusie

Om de brandveiligheid van hoge gebouwen (in het kader van de brandweerinzet) te verbeteren zijn de volgende aanpassingen aan regelgeving nodig:

- > Verhoog de brandwerendheid van brandscheidingen in gebouwen met een hoogte 20-70 meter.
- > Schrijf een sprinklerinstallatie voor in gebouwen hoger dan 20 meter en lager dan 70 meter
- > Verhoog de betrouwbaarheid van voorzieningen ten behoeve van de brandweerinzet (blusleidingen en brandweerliften).
- > Ontsluit informatie die in het gebouw aanwezig is (camera's, sensoren, et cetera) naar de brandweer.

Naast de verhoging van de betrouwbaarheid van de brandweerinzet in hoge gebouwen, zullen deze voorzieningen ook bijdragen aan het beperken van andere hedendaagse brandveiligheidsrisico's (biobased bouwen, massieve houtbouw, elektrificatie, vergrijzing, et cetera).

Abstract

Introduction

This study examines the regulatory changes necessary to enhance fire safety, particularly from the perspective of firefighting operations. The research focuses on the analysis and quantification of fire department operations in tall buildings (up to 400 meters high). The main research question is as follows:

Which regulatory adjustments are necessary to improve fire safety in tall buildings?

To answer the main question, a comparison is made between the Available Safe Time (AST) and the Required Safe Time (RST) for firefighting operations. In phase I of this study, the RST was determined, and in phase II, the AST was established. A probabilistic method was used to assess the probability of AST and RST (probability distributions). In this report (phase III), AST and RST are compared to determine the likelihood that $AST \geq RST$ (or the reliability of firefighting operations).

Methodology

The AST-RST comparison is part of a comparative risk analysis, based on the principle that a taller building must be at least as safe as the chosen reference. The reference is a building with six floors (or 18 meters high). The reference was translated into an acceptable reliability level, which increases with building height to account for the greater consequences of fire department deployment failure in taller buildings.

In comparing AST and RST, two fire safety aspects are considered:

1. The reliability of load-bearing structures and fire separations. The comparison quantifies the probability that these elements fail during fire department operations.
2. The conditions in the attack route during firefighting inside the building. The comparison quantifies the probability that conditions in the attack route become unacceptable in terms of physiological effects on fire personnel.

Results of AST-RST Comparison

Reliability of load-bearing structures and fire separations

The results indicate that, in the context of firefighting operations, load-bearing structures typically have a reliability of $\geq 99,9\%$. The probability of collapse is therefore low. Only in buildings less than 15 meters tall is the probability of collapse lower (92,4% to 99,7%). The reliability of fire barriers is lower than that of load-bearing structures due to lower fire resistance requirements, ranging from 51% to 99%. The fire resistance of the fire barrier and the presence of a sprinkler system are decisive. The construction of the enclosure (thermally accumulating or insulating) also influences the results. Especially in buildings with a height of 20-70 meters and those ≥ 200 meters, the calculated reliability is lower than the acceptable reliability.

Reliability of safe fire department deployment

Calculations show that the reliability of safe firefighting operations in the fire room is low (1%-5%) for buildings below 70 meters. For buildings above 70 meters, reliability is higher (90%-95%) due to the presence of a sprinkler system. In the corridor adjacent to the fire room, reliability is higher (80%-85%) due to a self-closing door between the apartment and the corridor. In the airlock and stairwell, reliability is even higher ($\geq 99\%$) because of the presence of partitions with self-closing doors. Especially in buildings 20-70 meters tall, calculated reliability in the fire room and corridor is lower than acceptable.

Proposed solutions

To raise the reliability of fire barriers and safe fire department deployment to acceptable levels, several solutions are proposed. The improvement in reliability from these proposals is considered both qualitatively and quantitatively. Of the considered solutions, the following increase reliability to an acceptable level:

- > Increasing the fire resistance of fire separations
- > Installing sprinkler systems in buildings 20-70 meters high

Additionally, the following can be inferred from the results:

- > The successful operation of systems used by the fire department during deployment (riser mains and fire lifts) becomes more important as building height increases for the reliability of fire department operations.
- > Improving the availability of information to the fire department can increase reliability. This contrasts with limited building modifications.

Conclusion

To improve the fire safety of tall buildings (regarding firefighting operations), the following regulatory changes are necessary:

- > Increase the fire resistance of fire separations in buildings 20-70 meters high and \geq meter high.
- > Require sprinkler systems in buildings above 20 meters and below 70 meters.
- > Increase the reliability of facilities used by the fire department (riser mains and firefighter lifts).
- > Make building information (cameras, sensors, etc.) accessible to the fire department.

In addition to increasing the reliability of fire department deployment in tall buildings, these provisions will also help address other contemporary fire safety risks (bio-based construction, massive timber buildings, electrification, aging population, etc.).

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

Door de brandweerinzet in hoge gebouwen te analyseren en in tijd kwantificeren wordt bepaald of er aanvullende voorzieningen voor een snelle en effectieve brandweerinzet nodig zijn. Om dit doel te bereiken, is de volgende overkoepelende 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 deze hoofdvraag op te delen in drie onderzoeksfases, die elk met een eigen rapportage afgesloten worden. De drie fasen zijn de volgende:

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

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

- > *Fase I:* heeft betrekking op de benodigde tijd voor (een veilige en effectieve) brandweerinzet (RST).
- > *Fase II:* heeft betrekking op de beschikbare tijd voor (een veilige en effectieve) brandweerinzet (AST).
- > *Fase III:* gaat in op de vergelijking tussen de AST en RST. Er wordt beoordeeld waar knelpunten ontstaan en hoe deze kunnen worden geminimaliseerd.

Het voorliggende rapport omvat de derde fase van het onderzoek, waarin een vergelijking wordt gemaakt tussen de beschikbare veilige tijd (AST) en de benodigde veilige tijd (RST) voor de brandweerinzet. Daar waar knelpunten ontstaan, worden oplossingsrichtingen voorgesteld om de AST te verlengen en/of de RST verkorten met als doel om de brandveiligheidsvoorzieningen van hoge gebouwen beter af te stemmen op de brandweerinzet.

Hiertoe is voor deze fase een viertal deelvragen geformuleerd:

1. Wat is de kans dat de AST groter is dan de RST bij het huidige voorzieningenniveau in hoge gebouwen?³
2. Welke voorzieningen kunnen worden getroffen om de AST te verlengen?
3. Welke innovaties kunnen de RST verkorten en daarmee het optreden volgens de basisprincipes voor brandbestrijding verbeteren?
4. Welke voorzieningen en/of innovaties zijn noodzakelijk om de brandveiligheid van hoge gebouwen af te stemmen op de inzet van de brandweer?

De antwoorden op deze vier deelvragen worden samen met de antwoorden op de andere deelvragen uit fase I en II van dit onderzoek gebruikt om de hoofdvraag van dit onderzoek te beantwoorden.

Afbakening

De kaders van dit onderzoek hebben zowel betrekking op het gebouw als op de uit te voeren onderzoeksactiviteiten:

- > De voorschriften voor een 'nieuw te bouwen bouwwerk' uit het Bbl⁴ bepalen welke brandveiligheidsvoorzieningen geacht worden aanwezig te 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 die ontstaat in een woning. Een brand in een andere ruimte, zoals de gemeenschappelijke verkeersruimte of in een constructie zoals de gevel, worden in dit onderzoek niet beoordeeld.
- > Het onderzoek beperkt zich tot de tijd die nodig is voor het bestrijden van brand. Andere taken, zoals de ondersteuning bij een eventuele gebouwontruiming, zijn buiten beschouwing gelaten.
- > Het onderzoek beperkt zich als gevolg van voorgaand punt tot de omstandigheden die bij een brand kunnen worden verwacht in ruimten die onderdeel zijn van de aanvalsroute van de brandweer. De omstandigheden in bijvoorbeeld woningen waarin de brand zich niet bevindt, worden niet meegenomen.

³ Als de AST hoger is dan de RST, kan in principe worden gesproken van een situatie waarin veilig repressief optreden mogelijk is.

⁴ Bbl: Besluit bouwwerken leefomgeving.

Leeswijzer

In hoofdstuk 1 wordt de methodiek beschreven die gebruikt is voor de AST-RST vergelijking. Vervolgens wordt in hoofdstukken 2 en 3 de AST-RST vergelijking uitgevoerd. In hoofdstuk 4 worden oplossingsrichtingen beschreven die kunnen bijdrage aan het verbeteren van de betrouwbaarheid van draagconstructies en brandscheidingen en van een veilige brandweerinzet, mocht dat noodzakelijk blijken. In hoofdstuk 5 wordt een aantal van die oplossingsrichtingen kwantitatief beoordeeld. In hoofdstuk 6 is de conclusie van het onderzoek opgenomen; hoofdstuk 7 bevat een discussie over de gebruikte methoden en resultaten. In de bijlage is een beschrijving van de gebruikte variabelen opgenomen.

1 Methodologie

In dit hoofdstuk wordt de wijze toegelicht waarop de vergelijking tussen de AST en RST is gemaakt. Daarnaast wordt beschreven hoe de resultaten van de vergelijking gebruikt zijn om oplossingsrichtingen voor te stellen en de effecten daarvan te kwantificeren (indien mogelijk).

1.1 Algemene methodologie

De basis van fase III van dit onderzoek vormt de vergelijking tussen de beschikbare veilige tijd voor brandweeroptreden (AST) en de benodigde veilige tijd voor brandweeroptreden (RST). Deze veilige tijden zijn bepaald in respectievelijk fase I (RST) en II (AST) van dit onderzoek. De methodologie die in fase III wordt gebruikt, berust dan ook grotendeels op de methodologie uit fase I en II (van Rede et al., 2025, 2026).

In dit onderzoek is gebruikgemaakt van een kwantitatieve risicoanalyse (voor een beschrijving zie de *Handreiking doelgerichte brandveiligheid* (van Rede et al., 2024). Het betreft een vergelijkende risicoanalyse, omdat:

- > absolute risicodrempels (of 'aanvaardbare risico's') ontbreken. In bouwregelgeving of andere bij ons bekende literatuur zijn geen absolute risicodrempels voor brandveilige hoge gebouwen gedefinieerd. Zonder die drempels is een absolute risicoanalyse niet mogelijk.
- > een belangrijk aspect van dit onderzoek het vergelijken van het brandveiligheidsrisico in hoge en minder hoge gebouwen is.
- > het voordeel van een vergelijkende risicoanalyse is dat er minder data vereist zijn, omdat veel aspecten niet of maar beperkt veranderen naarmate een gebouw hoger wordt. Voor een absolute risicoanalyse zijn meer (statistische) brand- en brandweerde data vereist en die zijn niet voorhanden.

Gebouwhoogte

In dit rapport wordt vaak gesproken over een gebouwhoogte. Daarmee wordt in lijn met het Besluit bouwwerken leefomgeving de hoogte van de hoogste verblijfsvloer ten opzichte van het meetniveau bedoeld.

Bij de bepaling van de AST en RST per gebouwhoogte worden alleen variabelen⁵ veranderd. De uitgangspunten⁶ blijven gelijk, ongeacht de gebouwhoogte. Bij de vergelijkende risicoanalyse is gekozen voor een aanpak waarbij de marge tussen AST en RST in hogere gebouwen groter moet zijn dan in lagere gebouwen. Dit vanwege het feit dat de mogelijke consequenties van het falen van de brandweerinzet in hogere gebouwen groter zijn dan in lagere gebouwen.

⁵ Een variabele is een gekwantificeerde parameter die gevarieerd wordt tijdens het onderzoek (zoals de oppervlakte van een woning)

⁶ Een uitgangspunt is een vaststaand principe tijdens het onderzoek (bijvoorbeeld een volledig ontwikkelde brand).

1.2 Vergelijking beschikbare (AST) en benodigde (RST) veilige tijd

In de vergelijking tussen de AST en RST zijn twee brandveiligheidsaspecten (of 'subdoelen') van belang:

- > *De betrouwbaarheid van de draagconstructies en brandscheidingen.* Voor een veilig brandweeroptreden is een veilige draagconstructie namelijk een randvoorwaarde. Daarnaast kan het bezwijken van brandscheidingen leiden tot een onbeheersbare brand. De betrouwbaarheid is uitgedrukt als de kans dat de equivalente brandduur lager is dan de gestelde brandwerendheidseisen. Dit wordt later in dit onderzoek de AST-RST vergelijking van draagconstructies en brandscheidingen genoemd (zie hoofdstuk 2).
- > *De condities in de aanvalsroute tijdens repressief optreden in het gebouw.* Deze zijn in fase II bepaald als de kansverdeling van de tijd tot het ontstaan van onveilige omstandigheden voor brandweerpersoneel in de brandruimte en andere ruimten in de aanvalsroute. Dit wordt later in dit onderzoek de AST-RST vergelijking van een veilige brandweerinzet genoemd (zie hoofdstuk 3).

Een schematische weergave van de AST-RST-vergelijking is weergegeven in Figuur 1.1. Omdat een probabilistische methode gebruikt wordt, levert de AST-RST-vergelijking de kans op dat de AST groter is dan de RST. In andere woorden: de analyse geeft de kans dat een veilige inzet mogelijk is. Het resultaat wordt uitgedrukt in een betrouwbaarheid van draagconstructies en brandscheidingen en van een veilige brandweerinzet. Die betrouwbaarheid is een weergave van de 'marge' tussen de AST en de RST (hoe hoger de betrouwbaarheid, hoe groter de marge). Uitgangspunt in dit onderzoek is dat de betrouwbaarheid van een hoger gebouw minimaal gelijk moet zijn de betrouwbaarheid van een lager gebouw (zie paragraaf 1.2).



Figuur 1.1 Schematisering AST-RST-vergelijking

1.2.1 Betrouwbaarheid van draagconstructies en brandscheidingen

In fase II is de betrouwbaarheid van draagconstructies en brandscheidingen bepaald (AST) (van Rede et al., 2026). Daarbij is een methode gebruikt die de 'equivalente brandduur' wordt genoemd. In die methode wordt de thermische belasting die een constructiedeel tijdens een 'natuurlijke brand' ontvangt (volgens NEN 6055 (NEN, 2011)) vergeleken met de thermische belasting die datzelfde constructiedeel ontvangt tijdens een gestandaardiseerde brandtest. Voor meer informatie wordt verwezen naar het rapport van fase II uit dit onderzoek. In fase II is de equivalente brandduur bepaald voor een volledige natuurlijke brand. Dit

wil zeggen dat de brand niet bestreden wordt door de brandweer, maar uitdooft door het opraken van de brandstof.

Om te bepalen of een draagconstructie of brandscheiding bezwijkt gedurende de brandweerinzet, is de methode voor het bepalen van de equivalente brandduur uit fase II voor de AST-RST-vergelijking in fase III nogmaals uitgevoerd. Hierbij is niet uitgegaan van de volledige brandduur van de natuurlijke brand als RST, maar van de periode dat de brandweer de inzet begint tot aan het moment dat ze toegang heeft tot de brandruimte.

Natuurlijke brandduur of RST

In dit onderzoek is uitgegaan van de RST voor de brandweerinzet. Het gebruik van de natuurlijke brandduur als RST is echter ook mogelijk en verdedigbaar. Het kan namelijk best zo zijn dat de brandweer niet direct kan beginnen met offensieve brandbestrijding nadat zij toegang heeft gekregen tot de brandruimte, maar dat voorbereidend werk nodig is. Het is van belang dat de draagconstructies en brandscheidingen ook gedurende die periode intact blijven. Toch is hier gekozen voor de RST voor brandweerinzet, omdat hierdoor de koppeling tussen de brandweerinzet en het brandverloop en de effecten daarvan beter te maken is.

Voor de probabilistische AST-RST-vergelijking worden de volgende stappen uitgevoerd:

- > Uit de database van de rekenresultaten uit fase I (RST) en fase II (AST) wordt willekeurig een set gekozen.
- > Voor die set wordt de equivalente brandduur gedurende de brandweerinzet bepaald, op dezelfde wijze als deze voor de volledige brandduur van de natuurlijke brand is bepaald in fase II (van Rede et al., 2026).
- > Voor de verschillende brandwerendheden (30, 60, 90 en 120 minuten) wordt een database aangemaakt en bepaald of de equivalente brandduur hoger of lager is.
 - Als de equivalente brandduur lager is dan de brandwerendheid, wordt de draagconstructie of brandscheiding verondersteld niet te bezwijken tijdens de inzet.
 - Als de equivalente brandduur hoger is dan de brandwerendheid, wordt de draagconstructie of brandscheiding verondersteld te bezwijken tijdens de inzet.
- > Dit proces wordt 10.000 maal herhaald. De resulterende databases worden vervolgens gebruikt om te bepalen wat de kans is dat de draagconstructie of de brandscheiding standhoudt gedurende de brandweerinzet (de 'betrouwbaarheid').
- > De analyse wordt uitgevoerd voor zowel een accumulerende als een isolerende omhulling (zie fase II).
- > De betrouwbaarheid wordt voor verschillende gebouwhoogtes (met verschillende brandveiligheidsvoorzieningen) bepaald. Zo ontstaat er een beeld van de ontwikkeling van de betrouwbaarheid bij toenemende hoogte, waardoor onderling vergelijken mogelijk wordt.

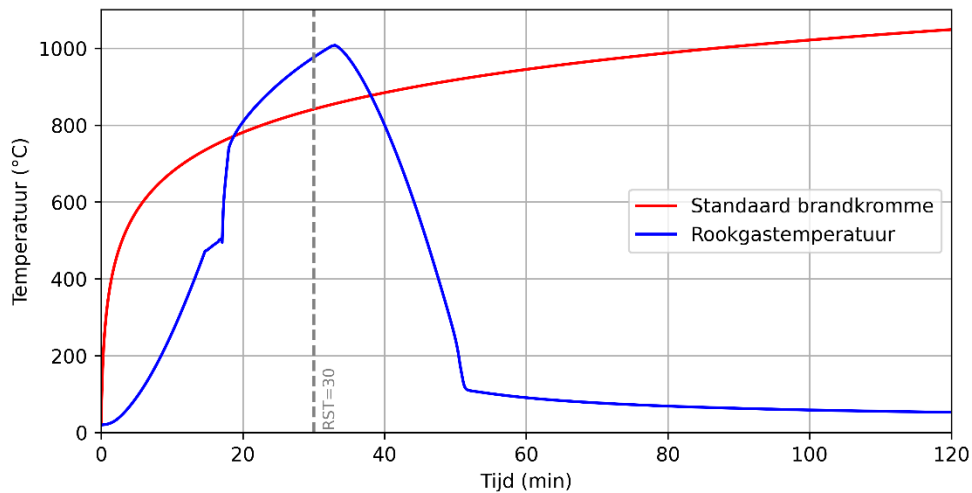
Opmerking werkwijze

Er wordt feitelijk een nieuwe Monte-Carlo-simulatie uitgevoerd met de resultaten van de Monte-Carlo-simulaties uit fase I en II.

Voorbeeld bepaling equivalente brandduur brandweerinzet

In Figuur 1.2 is een fictief voorbeeld gegeven van een temperatuurverloop dat hoort bij een natuurlijke brand (blauwe lijn), de standaard brandkromme (rode lijn) en de benodigde veilige tijd voor een brandweerinzet in een gebouw (RST = stippellijn = 30 minuten). Om te bepalen of de draagconstructie of brandscheiding voldoende brandwerend is gedurende de RST, wordt het volgende gedaan:

- > Op t=30 minuten (de RST) wordt bepaald hoeveel energie (in Joule) de draagconstructie of brandscheiding heeft ontvangen gedurende de natuurlijke brand.
- > Vervolgens wordt bepaald op welk tijdstip (in minuten) diezelfde draagconstructie of brandscheiding dezelfde hoeveelheid energie heeft ontvangen als deze blootgesteld wordt aan de standaard brandkromme. Dat tijdstip is de equivalente brandduur.
- > Als de equivalente brandduur lager is dan de brandwerendheid van de draagconstructie of de brandscheiding, heeft deze minder energie ontvangen dan zij in potentie aan kan. De draagconstructie of brandscheiding wordt verondersteld niet te bezwijken.
- > Als de equivalente brandduur hoger is dan de brandwerendheid van de draagconstructie of de brandscheiding, heeft deze meer energie ontvangen dan zij in potentie aan kan. De draagconstructie of brandscheiding wordt verondersteld te bezwijken.
- > Dit proces wordt 10.000 maal herhaald.



Figuur 1.2 Resultaten natuurlijke brand, standaard brandkromme en RST (fictief)

- > De betrouwbaarheid (B) van de draagconstructie of brandscheiding met een brandwerendheid van 30, 60, 90 of 120 minuten wordt dan bepaald met:

$$B_{30,60,90 \text{ of } 120 \text{ min}} [-] = \frac{\sum_{i=1}^n \chi_i}{n}$$

Waarin:

$$\chi_i \begin{cases} \text{bezwijkt niet} = 1 \\ \text{bezwijkt} = 0 \end{cases}$$

En n=10.000.

1.2.2 Persoonlijke veiligheid brandweerpersoneel

De AST voor de persoonlijke veiligheid van brandweerpersoneel is bepaald in fase II van dit onderzoek en weergegeven in een kansverdeling van de tijd waarin veilig optreden door de brandweer nog mogelijk is. Om de AST te bepalen, is beoordeeld aan welke temperaturen brandweerpersoneel wordt blootgesteld in de aanvalsroute tijdens een brand. Ook de blootstellingsduur is daarbij relevant. Om te bepalen of die blootstelling acceptabel is, zijn acceptatiecriteria gekozen. Of een bepaalde mate van blootstelling acceptabel is, is niet alleen afhankelijk van de temperatuur waaraan het brandweerpersoneel wordt blootgesteld, maar ook van de tijdsduur van de blootstelling. Daarom zijn in fase II van dit onderzoek vier acceptatiecriteria gebruikt, die elk gekoppeld zijn aan een maximale blootstellingsduur. De acceptatiecriteria zijn hieronder nogmaals weergegeven. Meer toelichting is gegeven in het rapport van fase II van dit onderzoek (van Rede et al., 2026, paragraaf. 2.2.2).

Tabel 1.1 Acceptatiecriteria voor de gastemperatuur

Max. blootstellingsduur [min]	Gastemperatuur [°C]	Beschrijving
25	100	Nablussing
15	150	Routine
5	260	Normaal
0.5	500	Noodsituatie

Gekozen acceptatiecriteria

Het gebruik van meerdere acceptatiecriteria maakt een eenduidige beoordeling onmogelijk. Daarom is in dit deel van het onderzoek het aantal acceptatiecriteria teruggebracht naar twee. Alleen de acceptatiecriteria van 150°C en 260°C worden in dit deel van het onderzoek gebruikt. Het acceptatiecriterium van 100°C heeft in de praktijk weinig nadelige consequenties voor brandweerpersoneel. De capaciteit van de ademlucht zal hierbij eerder beperkend werken. Bij een acceptatiecriterium van 500°C wordt zo'n extreme blootstelling verwacht dat er al zeer snel nadelige effecten optreden, waardoor deze omstandigheden niet geschikt zijn voor daadwerkelijke brandbestrijding.

Vergelijking AST-RST

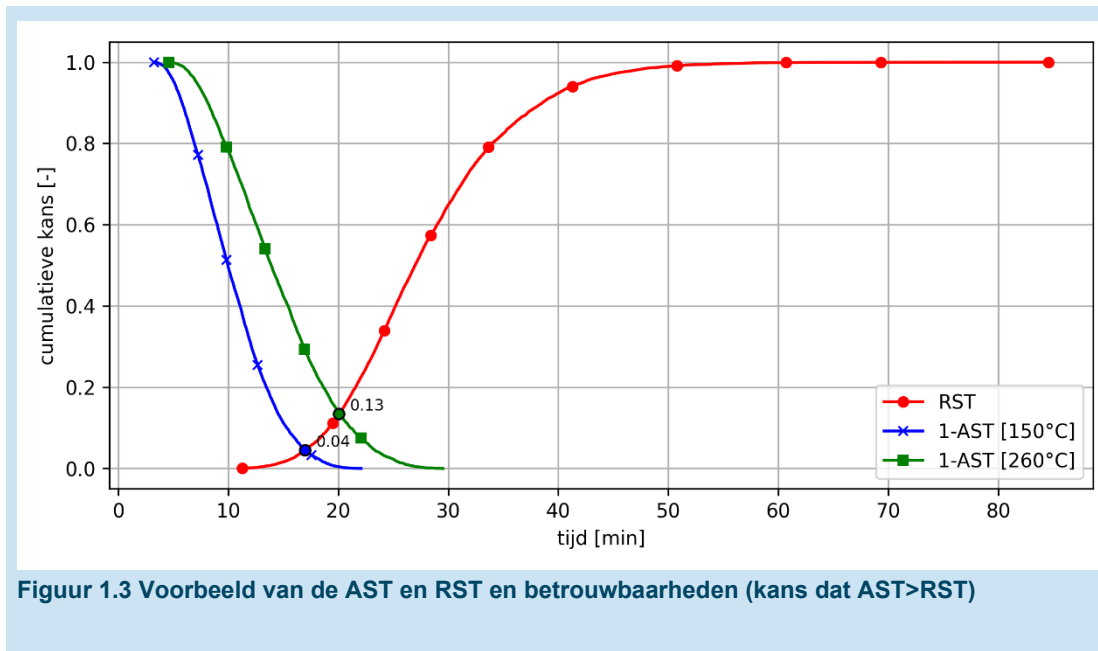
Zowel de beschikbare (AST) als de benodigde (RST) veilige tijd voor brandweerinzet zijn een kansverdeling. Die kansverdeling heeft dezelfde eenheid en schaal op de x-as (tijd), waardoor een vergelijking tussen de RST en AST mogelijk is. Daarbij kan de kans dat de $AST \geq RST$ worden verkregen uit een vergelijking tussen de AST en RST. De kans dat de $AST \geq RST$ en er dus veilig kan worden opgetreden, wordt hier de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet genoemd. Doordat de betrouwbaarheid voor verschillende gebouwhoogten wordt bepaald, ontstaat er een beeld van de ontwikkeling van de betrouwbaarheid bij toenemende hoogte, waardoor onderling vergelijken mogelijk wordt.

Voorbeeld RST-AST persoonlijke veiligheid brandweerpersoneel

Een voorbeeld van een vergelijking tussen de AST en RST is gegeven in Figuur 1.3. De betrouwbaarheid van de veilige brandweerinzet wordt bepaald door het snijpunt tussen de cumulatieve kansverdeling van de RST en het complement van de cumulatieve kansverdeling van de AST (complement=1-AST)⁷. Uit de figuur valt het volgende op te maken:

- > De kans dat 'routinematig' repressief optreden (blootstellingduur 15 minuten aan een temperatuur van 150°C) in de woning nog veilig mogelijk is, bedraagt 4 % (fractie 0,04).
- > De kans dat 'normaal' repressief optreden (blootstellingduur 5 minuten aan een temperatuur van 260°C) in de woning nog veilig mogelijk is, bedraagt 13 % (fractie 0,13).

⁷ Dit kan evengoed andersom worden uitgevoerd, met het complement van de cumulatieve kansverdeling van de RST en de cumulatieve kansverdeling van de AST. Dit levert hetzelfde resultaat op.



Figuur 1.3 Voorbeeld van de AST en RST en betrouwbaarheden (kans dat AST>RST)

1.3 Acceptatiecriteria voor betrouwbaarheid

Om te bepalen of de betrouwbaarheid van draagconstructies en brandscheidingen en van een veilige brandweerinzet voldoende is, zijn acceptatiecriteria voor betrouwbaarheid nodig. Uitgangspunt in dit onderzoek is dat de betrouwbaarheid in een hoger gebouw minimaal even hoog moet zijn als de betrouwbaarheid in een lager gebouw. De betrouwbaarheid van een hoger gebouw wordt daartoe vergeleken met een referentie.

Daarbij wordt rekening gehouden met het feit dat het falen van de brandweerinzet in hogere gebouwen grotere consequenties heeft dan in lagere gebouwen. Om daar rekening mee te houden, neemt het acceptatiecriterium voor betrouwbaarheid toe naarmate het gebouw hoger wordt.

1.3.1 Referentie

Als referentie is gekozen om een gebouw met zes bouwlagen aan te houden (< 20 meter hoog). Reden hiervoor is dat er in dit gebouw nog offensief van buitenaf kan worden opgetreden. Vanaf 20 meter hoogte zijn er voorzieningen nodig in het gebouw om voor het gebrek aan inzetmogelijkheden van buitenaf te compenseren.

Eurocodes en andere publicaties over risicoacceptatie

De achtergronden uit de Eurocodes geven informatie over de geaccepteerde faalkans van een constructie (European Commission, 2014; van Herpen et al., 2014; Vrouwenvelder et al., 2024). Die geaccepteerde faalkans hangt af van de consequentieklassse van het gebouw. Consequentieklassse staat in EN 1990 als volgt beschreven (vertaalt uit het Engels) (CEN, 2025, p. 16):

'Categorisatie van de gevolgen van constructief falen in termen van verlies van mensenlevens of persoonlijk letsel, en van economische, sociale of milieuschade.'

De bijbehorende geaccepteerde faalkansen zijn weergegeven in Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Geaccepteerde faalkansen behorend bij verschillende consequentieklassen (Nederlands Normalisatie Instituut, 2019)

Consequentie-klasse	Geaccepteerde faalkans (/50 jaar) [-]	Beschrijving (deels overgenomen uit de bron)	Bijvoorbeeld
1	$4,8 \cdot 10^{-4}$	Geringe gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens en kleine of verwaarloosbare economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.	Grondgebonden woningen
2	$7,2 \cdot 10^{-5}$	Middelmatige gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens of aanzienlijke economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.	Woongebouwen lager dan 70 meter
3	$8,5 \cdot 10^{-6}$	Grote gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens of zeer grote economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving	Woongebouwen hoger dan 70 meter

Andere publicaties brengen iets meer nuance aan in de geaccepteerde faalkans. Zo neemt ISO 2394 *General principles on reliability for structures* naast de mogelijke consequenties van het falen ook de noodzakelijke kosten om dat falen te voorkomen in ogenschouw (ISO, 2015). Deze waarden worden ook gebruikt in de JCSS Probabilistic Model Code (Faber & Vrouwenvelder, 2001). De geaccepteerde faalkansen zijn opgenomen in Tabel 1.3.

Tabel 1.3 Geaccepteerde faalkansen (p_F [1/jaar]) (Faber & Vrouwenvelder, 2001; ISO, 2015)

Relatieve kosten van de veiligheidsmaatregel	Beperkte consequenties van het falen	Matige consequenties van het falen	Grote consequenties van het falen
Groot	$\beta=3,1$ ($p_F \approx 10^{-3}$)	$\beta=3,3$ ($p_F \approx 5 \cdot 10^{-4}$)	$\beta=3,7$ ($p_F \approx 10^{-4}$)
Matig	$\beta=3,7$ ($p_F \approx 10^{-4}$)	$\beta=4,2$ ($p_F \approx 10^{-5}$)	$\beta=4,4$ ($p_F \approx 5 \cdot 10^{-6}$)
Klein	$\beta=4,2$ ($p_F \approx 10^{-5}$)	$\beta=4,4$ ($p_F \approx 5 \cdot 10^{-6}$)	$\beta=4,7$ ($p_F \approx 10^{-6}$)

De betrouwbaarheidsindex β [-] is een maat voor betrouwbaarheid die in het veiligheidsdomein en met name in de constructieve veiligheid wordt gebruikt. Hij geeft het aantal standaardafwijkingen weer dat het acceptabele risico van het gemiddelde aflight.

Zowel de Eurocodes als ISO 2394 zijn in principe bedoeld voor constructief ontwerp van gebouwen. De geaccepteerde faalkansen hebben betrekking op het (deels) bezwijken van gebouwen en zijn daardoor niet direct een weergave van wat acceptabel wordt geacht wat betreft persoonlijke veiligheid. De kans bestaat immers dat het gebouw al ontruimd is wanneer het bezwijkt.

De principes met betrekking tot deze acceptatiecriteria zijn echter breder toepasbaar. In beide aanpakken wordt een getraptheid met betrekking tot deze acceptatiecriteria gebruikt. In de Eurocodes is die in Nederland via de Nationale Bijlage direct gekoppeld aan een gebouwhoogte. Hoewel de waarden uit ISO 2394 niet direct te koppelen zijn aan gebouwhoogten, kan worden gesteld dat bij toenemende hoogte ook de omvang van de consequenties toenemen.

De-minimus

Een ander concept voor acceptatiecriteria voor betrouwbaarheid/risico is het gebruik van een de-minimus grens. Een risico dat de-minimus is, is een risico dat zo klein is dat het genegeerd kan worden bij het maken van beslissingen. De de-minimus-grens voor individuen wordt vaak gesteld op 10^{-6} /jaar (individueel risico) (British Standards Institution, 2019). Voor groepen personen (groepsrisico) ligt de de-minimus grens lager en is afhankelijk van het aantal personen (British Standards Institution, 2019). Ook in de externe veiligheid in Nederland wordt gewerkt met een de-minimus-grens voor individueel (plaatsgebonden) risico (10^{-6} /jaar) (Informatiepunt Leefomgeving, n.d.).

1.3.2 Aanpak in dit onderzoek

Het voordeel van een aanpak als in de Eurocodes is dat deze differentieert in de gevolgen van een brand en de gevolgen van het bezwijken van een constructie niet direct koppelt aan een specifieke persoon of een groep personen. Hierdoor is de aanpak generiek toe te passen. Hetzelfde geldt voor de aanpak uit ISO 2394. Een nadeel is echter, dat de acceptatiecriteria eigenlijk bedoeld zijn voor constructief ontwerp. Aspecten zoals bijvoorbeeld ontruiming of brandweeroptreden zijn hooguit expliciet meegewogen in het formuleren van deze acceptatiecriteria.

De de-minimus-grens is vooral goed toepasbaar op individuen. Hoewel er met een grens voor groepen personen kan worden gewerkt, is het concept niet eenvoudig toe passen in situaties waarin het aantal personen onbekend is, zoals in hoge gebouwen vaak het geval is. Op basis van deze analyse is gekozen om gebruik te maken van een combinatie van de Eurocode en ISO 2394. Dat is als volgt gedaan:

1. De genoemde acceptatiecriteria uit de Eurocode en ISO 2394 zijn gesorteerd in toenemende mate van strengheid en gelijk verdeeld over het bereik van 1 tot 133 bouwlagen (tot 400 meter gebouwhoogte). Op basis van de dataset die daaruit ontstaat, is een exponentiële regressie uitgevoerd. Er ontstaat zo een functie voor een afnemend acceptatiecriterium voor risico bij een toenemende gebouwhoogte. Dit wordt R_{ref} genoemd en is weergegeven in de linker grafiek van Figuur 1.4.

De rol van de kans op brand

In alle fasen van dit onderzoek is tot op dit moment geen rekening gehouden met de ontstaanskans van brand. In de berekeningen is die kans feitelijk één. Dat is echter niet correct. Daarom wordt in dit deel van het onderzoek het acceptatiecriterium voor risico als volgt gecorrigeerd voor de kans op brand:

$$R_A = R_{ref}/p_{fi}$$

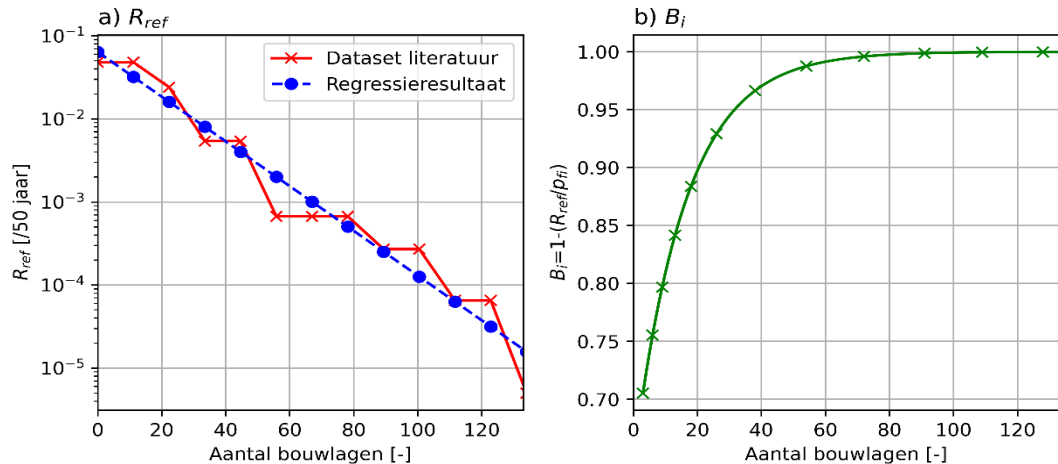
Daarin is R_A [-] het acceptatiecriterium voor risico zoals dit wordt gebruikt in dit onderzoek. R_{ref} [-] is acceptatiecriterium voor risico zoals dit in onder meer de Eurocodes wordt gegeven. p_{fi} [-] is de kans op brand. Voor Nederlandse woningen ligt de kans op brand de laatste jaren op ongeveer $4,5 \cdot 10^{-4}$ /jaar*woning (de Witte, 2025). In principe betekent dit, dat bij een verdubbeling van het aantal woningen, bijvoorbeeld bij een dubbel aantal bouwlagen, de kans op brand ook verdubbelt. Dit onderzoek beperkt zich tot de kans op brand in één bouwlaag in een gebouw met een x-aantal bouwlagen. Bij een gelijk aantal woningen per bouwlaag neemt de kans op brand op die ene bouwlaag niet toe

naarmate het gebouw hoger wordt, maar blijft gelijk. Voor het bepalen van de kans op brand is in dit onderzoek uitgegaan van acht woningen per bouwlaag. De kans op brand op een bouwlaag bedraagt dan $p_{fi} = 4,5 \cdot 10^{-4} \cdot 8 = 3,6 \cdot 10^{-3}$ /jaar.

- De resultaten van de exponentiële regressie worden vervolgens gecorrigeerd voor de kans op brand en vertaald naar een vereiste (absolute) betrouwbaarheid voor de hoogste bouwlaag in het gebouw B_i door:

$$B_i = 1 - \left(\frac{R_{ref}}{p_{fi}} \right)$$

Dit is de betrouwbaarheid die noodzakelijk is om te voldoen aan het acceptatiecriterium voor risico, gecorrigeerd voor de kans op brand in de bouwlaag.

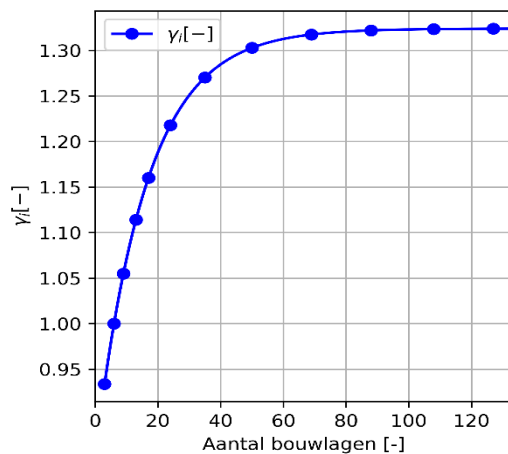


Figuur 1.4 a) Dataset voor R_{ref} en regressieresultaat, b) vereiste (absolute) betrouwbaarheid B_i [-]

- De (absolute) acceptatiecriteria voor betrouwbaarheid B_i zoals weergegeven in de rechter grafiek van Figuur 1.4 worden vervolgens relatief gemaakt aan de betrouwbaarheid van de referentie B_{ref} door:

$$\gamma_i = \frac{B_i}{B_{ref}}$$

γ_i [-] is een factor die is weergegeven in Figuur 1.5.



Figuur 1.5 Vermenigvuldigingsfactor γ_i [-]

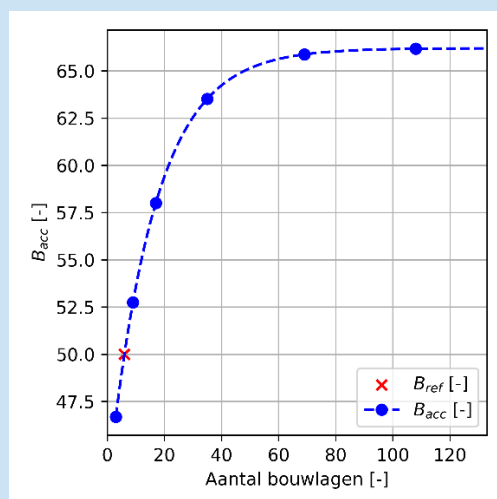
4. Factor γ_i wordt vermenigvuldigd met het rekenresultaat voor de betrouwbaarheid van de referentie (een gebouw met zes bouwlagen) om de acceptabele betrouwbaarheid van de verschillende bouwlagen (B_{acc}) te berekenen.

Voorbeeld bepaling B_{acc}

In Figuur 1.6 is een voorbeeld weergegeven waarin de acceptatiecriteria voor betrouwbaarheid B_{acc} zijn bepaald. In het voorbeeld is een betrouwbaarheid van de referentie (B_{ref}) aangehouden van 50%.

Tabel 1.4 Voorbeeldberekening acceptabele betrouwbaarheid B_{acc} [%]

Bouwlaag [-]/ gebouwhoogte [m]	γ_i [-]	B_{acc} [%]
3/9	0,93	44,1
6/18 (referentie)	1	46,7
7/21	1,02	50,0
15/45	1,14	51,0
23/69	1,21	56,9
24/72	1,22	60,6
46/138	1,3	60,9
67/201	1,32	64,8
100/300	1,32	65,8
133/399	1,32	66,2



Figuur 1.6 Voorbeeld waarin acceptabele betrouwbaarheid B_{acc} [-] wordt bepaald met $B_{ref} = 50\%$

Minimale en maximale vereiste betrouwbaarheid

Een betrouwbaarheid wordt weergegeven in een fractie of een percentage. Die fractie of dat percentage ligt altijd tussen de 0 en 1 (of 100 %). Bij een relatief hoge B_{ref} kan het voorkomen dat een

acceptabele betrouwbaarheid B_{acc} hoger dan 100 % wordt berekend. Dit is in werkelijkheid echter niet mogelijk en sluit niet aan bij de gedachte dat een brandveiligheidsconcept nooit volledig betrouwbaar kan zijn. In gevallen dat het acceptatiecriterium voor betrouwbaarheid B_{acc} 99,9 % of hoger moet zijn volgens deze methode, wordt het op 99,9 % gesteld.

1.4 Kwaliteit van het onderzoek

In deze paragraaf wordt ingegaan op de kwaliteit van het uitgevoerde onderzoek. Er wordt 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 en perioden?

De interne validiteit is in dit onderzoek zoveel mogelijk geborgd door te kiezen voor een probabilistische onderzoeksmethodiek. Daarmee wordt onderkend dat een brandincident 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 AST 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 de methodiek die gebruikt is in dit onderzoek en door personen die kennis hebben van de operationele brandweer. Ook is het onderzoek voorgelegd aan een klankbordgroep, bestaande uit brandweerpersoneel dat werkzaam is in de risicobeheersing of incidentbestrijding. 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 en variabelen die daarbij gebruikt zijn grotendeels te baseren op wetenschappelijke literatuur. Als er geen data beschikbaar zijn, is duidelijk beschreven welke uitgangspunten en variabelen 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.

De variabelen die zijn gebruikt bij de uitvoering van de Monte-Carlo-simulaties zijn zoveel mogelijk gebaseerd op beschikbare literatuur. Tijdens het literatuuronderzoek zijn echter beperkte statistische spreidingsdata gevonden voor de verschillende variabelen. Naast de resultaten uit het literatuuronderzoek zijn daarom inschattingen voor de spreiding van de variabelen gebruikt. Andere gegevens kunnen leiden tot andere resultaten.

2 AST-RST van draagconstructies en brandscheidingen

In dit hoofdstuk worden de resultaten beschreven van de vergelijking AST-RST voor draagconstructies en brandscheidingen (de betrouwbaarheid of kans dat $AST \geq RST$). De AST wordt gevormd door de brandwerendheid van de draagconstructie en brandscheidingen. De RST is de tijd die de brandweer nodig heeft om over te gaan tot brandbestrijding. Daarna zijn de rekenresultaten getoetst aan de acceptabele betrouwbaarheid. Daar wordt beoordeeld of de betrouwbaarheid van draagconstructies en brandscheidingen in vergelijking met de referentie voldoende hoog is. Eerst wordt stilgestaan bij de draagconstructies. Daarna worden de resultaten voor brandscheidingen beschreven. In beide gevallen wordt onderscheid gemaakt tussen omhullingen bestaande uit thermisch accumulerende en isolerende constructies (zie fase II voor een toelichting).

2.1 Resultaten AST-RST-vergelijking

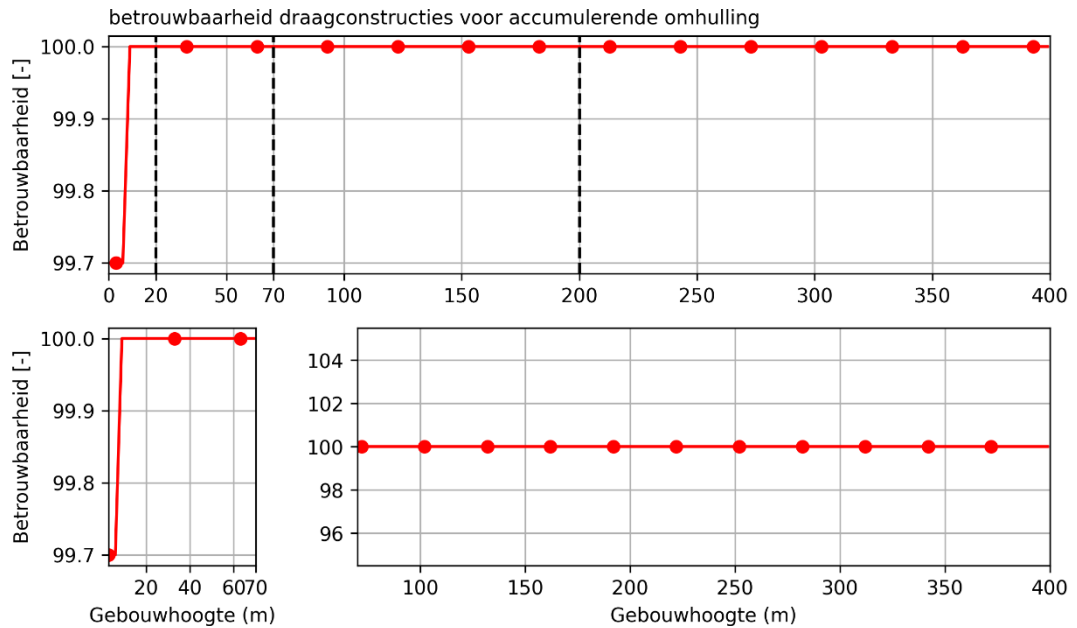
In deze paragraaf worden de resultaten van de AST-RST-vergelijking beschreven. De resultaten zijn uitgedrukt in betrouwbaarheid. De betrouwbaarheid geeft de kans weer dat de $AST \geq RST$ of dat de berekende equivalente brandduur op het moment van de RST kleiner is dan de brandwerendheid van de draagconstructie of de brandscheiding.

2.1.1 Betrouwbaarheid van draagconstructies

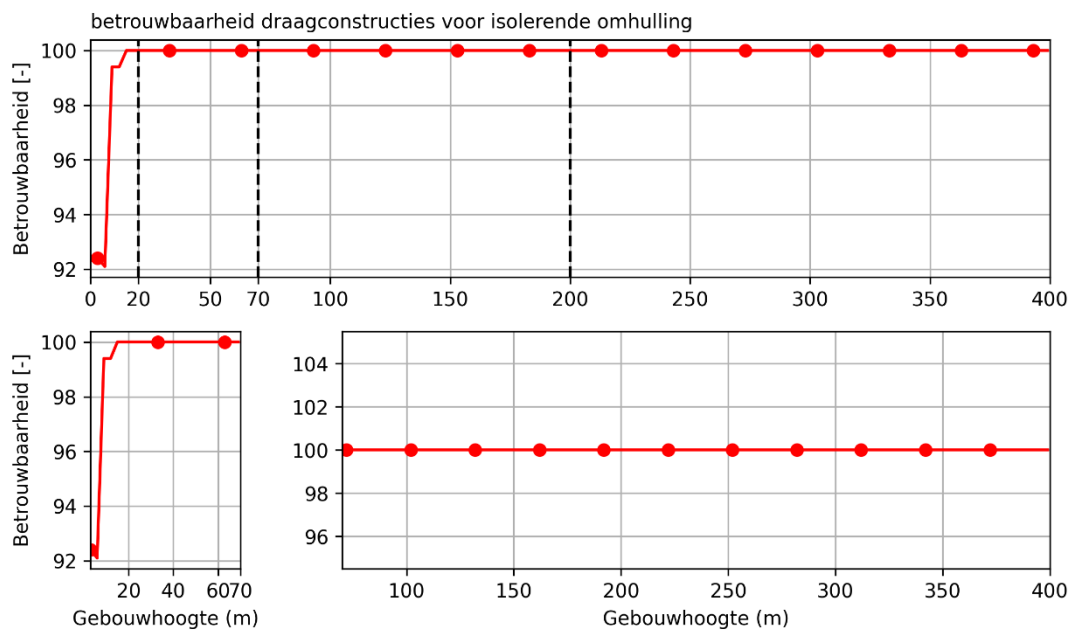
Voor gebouwen waarvan de brandwerendheid van de draagconstructie voldoet aan de bouwregelgeving kunnen de volgende betrouwbaarheden worden afgeleid uit de rekenresultaten. De betrouwbaarheid is weergegeven in Figuur 2.1, Figuur 2.2 en Tabel 2.1. Het volgende valt op aan de rekenresultaten:

- > De betrouwbaarheid van draagconstructies benadert in alle gevallen 100 % vanaf een gebouwhoogte van 13 meter. Dit betekent dat er vanaf die gebouwhoogte geen scenario's zijn gesimuleerd waarin een draagconstructie wordt verondersteld te bezwijken. Vanaf een gebouwhoogte van 13 meter bedraagt de brandwerendheidseis 120 minuten.
- > In gebouwen met een accumulerende omhulling benadert de betrouwbaarheid van draagconstructies met 90 minuten ook 100 %. In gebouwen met een isolerende omhulling bedraagt die betrouwbaarheid ongeveer 99,4 %. Dit geldt voor gebouwen hoger dan 5 meter en lager dan 13 meter.
- > In gebouwen met een accumulerende omhulling bedraagt de betrouwbaarheid van draagconstructies met 60 minuten ongeveer 99,7 %. In gebouwen met een isolerende omhulling bedraagt die betrouwbaarheid ongeveer 92,4 %. Dit geldt voor gebouwen lager of gelijk aan 5 meter.

- > De betrouwbaarheid van draagconstructies in gebouwen met een accumulerende omhulling is hoger dan de betrouwbaarheid van draagconstructies met een isolerende omhulling.



Figuur 2.1 De betrouwbaarheid (kans dat $AST \geq RST$) van draagconstructies voor een accumulerende omhulling



Figuur 2.2 De betrouwbaarheid (kans dat $AST \geq RST$) van draagconstructies voor een isolerende omhulling

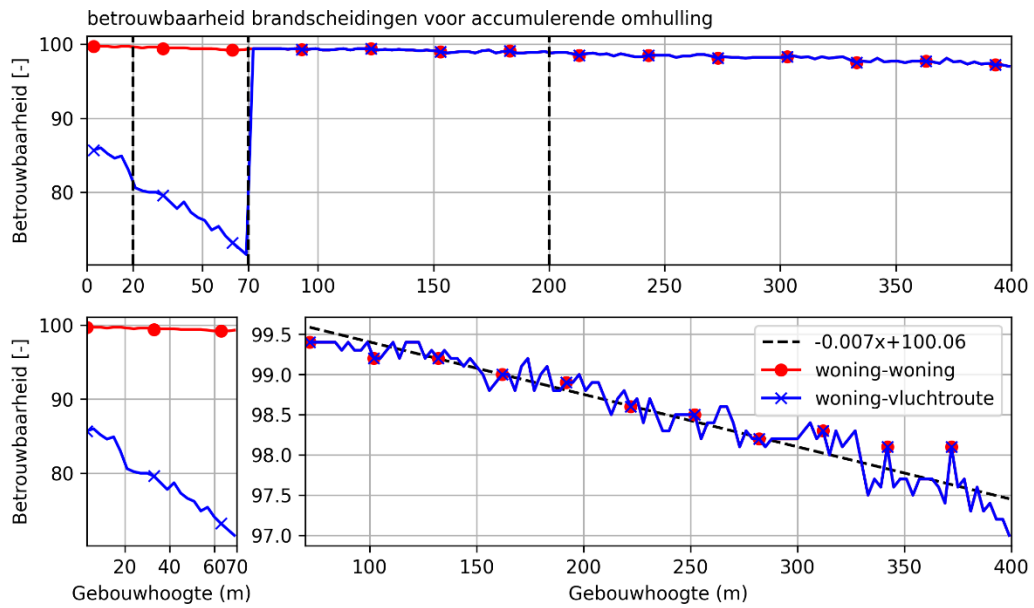
Tabel 2.1 De betrouwbaarheid (kans dat $AST \geq RST$) voor draagconstructies

Gebouwhoogte [m]	Accumulerende omhulling	Isolerende omhulling
Betrouwbaarheid [%]		
3	99,7	92,4
9	>99,9	99,4
18	>99,9	>99,9
21	>99,9	>99,9
45	>99,9	>99,9
69	>99,9	>99,9
72	>99,9	>99,9
138	>99,9	>99,9
201	>99,9	>99,9
300	>99,9	>99,9
399	>99,9	>99,9

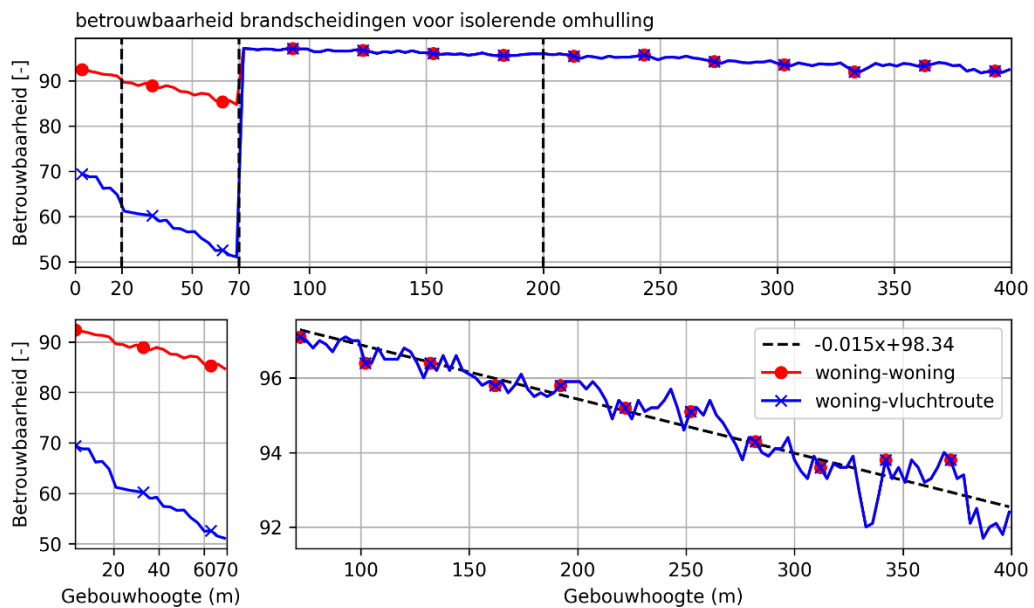
2.1.2 Betrouwbaarheid van brandscheidingen

Voor gebouwen waarvan de brandwerendheid van de brandscheidingen voldoet aan de bouwregelgeving, kunnen de volgende betrouwbaarheden van worden afgeleid uit de rekenresultaten. De betrouwbaarheid is weergegeven in Figuur 2.3, Figuur 2.4 en Tabel 2.2. In de rekenresultaten is een onderscheid gemaakt tussen brandscheidingen tussen woningen en brandscheidingen tussen een woning en een vluchtroute, omdat:

- > de brandwerendheid tussen woningen onderling in gebouwen lager dan 70 meter 60 minuten mag bedragen en in gebouwen hoger dan 70 meter 30 minuten mag bedragen.
- > de brandwerendheid tussen de woning en de vluchtroute 30 minuten mag bedragen, ongeacht de gebouwhoogte.
- > in de figuren waarin het bereik 70-400 meter wordt weergegeven, de rekenresultaten grillig zijn. Dit komt door de werking van de Monte-Carlo-simulaties in relatie tot het aantal gekozen iteraties. Om de trend te laten zien, is ook een trendlijn gegeven.



Figuur 2.3 De betrouwbaarheid (kans dat $AST \geq RST$) van brandscheidingen voor accumulerende omhulling



Figuur 2.4 De betrouwbaarheid (kans dat $AST \geq RST$) van brandscheidingen voor isolerende omhulling

Tabel 2.2 De betrouwbaarheid (kans dat $AST \geq RST$) voor brandscheidingen

Gebouwhoogte [m]	Accumulerende omhulling		Isolerende omhulling	
	Woning-woning	Woning-vluchtroute	Woning-woning	Woning-vluchtroute
3	99,7	85,7	92,4	69,4
9	99,7	85,2	91,8	68,8
18	99,7	83	91	64,8
21	99,6	80,6	89,6	61,2
45	99,4	77,3	87,6	57,3
69	99,3	71,6	84,7	51,1
72	99,4	99,4	97,1	97,1
138	99,2	99,2	96,6	96,6
201	98,8	98,8	95,9	95,9
300	98,2	98,2	93,8	93,8
399	97	97	92,4	92,4

Het volgende valt op aan de rekenresultaten:

- > Voor gebouwen met een accumulerende omhulling geldt dat de betrouwbaarheid van de brandscheiding tussen woningen bij een gebouw van 18 meter ongeveer 99,7 % en voor een gebouw van 399 meter ongeveer 97 % bedraagt.
- > Voor gebouwen met een isolerende omhulling geldt dat de betrouwbaarheid van de brandscheiding tussen woningen bij een gebouw van 18 meter ongeveer 92,4 % en voor een gebouw van 399 meter ongeveer 92,4 % bedraagt.
- > De betrouwbaarheid van de brandscheidingen tussen woningen en de extra beschermde vluchtroute is lager dan de betrouwbaarheid van brandscheidingen tussen woningen onderling. Dit komt doordat de brandwerendheidseisen verschillen.
- > Vanaf een gebouwhoogte van 70 meter neemt de betrouwbaarheid van brandscheidingen toe. Dit komt door de aanwezige sprinklerinstallatie.
- > De betrouwbaarheid van brandscheidingen in gebouwen met een accumulerende omhulling is hoger dan de betrouwbaarheid van brandscheidingen met een isolerende omhulling.

2.2 Toetsing aan acceptatiecriteria voor betrouwbaarheid

In de volgende paragrafen wordt de berekende betrouwbaarheid per bouwlaag vergeleken met de acceptabele betrouwbaarheid B_{acc} , die is bepaald op basis van de referentie. Daarbij

wordt het proces gebruikt zoals beschreven in paragraaf 1.3. Gebouwen lager dan 20 meter zijn niet vergeleken met de referentie.

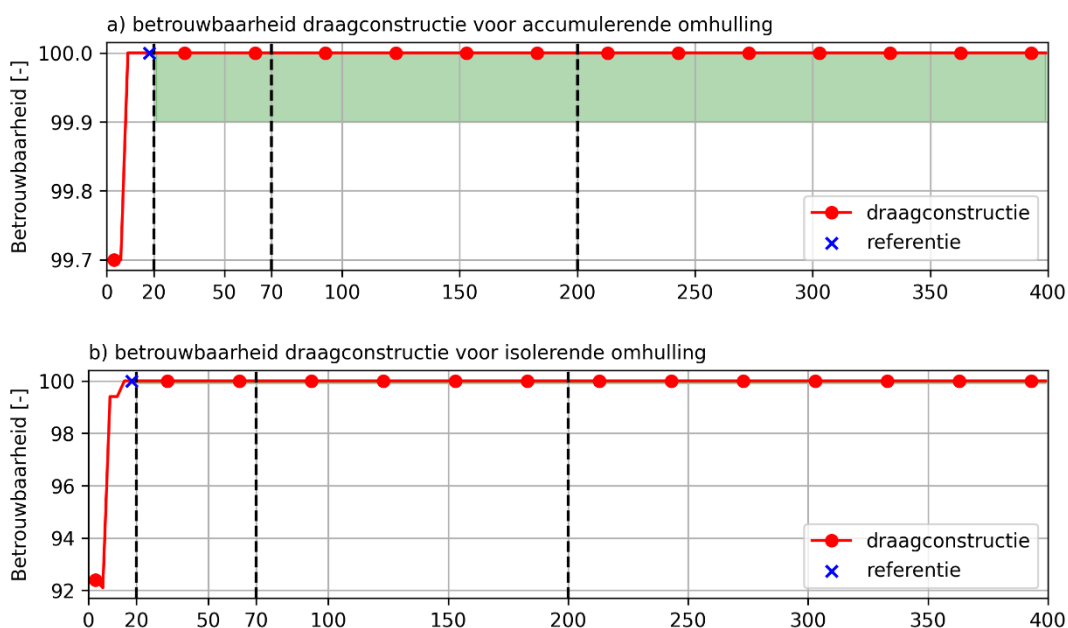
Leeswijzer bij de grafieken in deze paragraaf

In figuren 2.5, 2.6 en 2.7 is de berekende betrouwbaarheid vergeleken met de referentie en de acceptabele betrouwbaarheid. De volgende aanduidingen zijn gebruikt:

- > De rode lijnen geven de rekenresultaten weer.
- > Het blauwe kruisje geeft de referentie weer.
- > De gearceerde vlakken geven het verschil weer tussen het rekenresultaat en de acceptabele betrouwbaarheid:
 - Een groen vlak betekent dat het rekenresultaat hoger is dan de acceptabele betrouwbaarheid. De betrouwbaarheid is ten hoger of gelijk aan de referentie.
 - Een rood vlak betekent dat het rekenresultaat lager is dan de acceptabele betrouwbaarheid. De betrouwbaarheid is lager dan de referentie.

2.2.1 Draagconstructies

In Figuur 2.5 is de betrouwbaarheid van draagconstructies (de kans dat $AST \geq RST$) weergegeven. In zowel gebouwen met een accumulerende als een isolerende omhulling is de betrouwbaarheid van draagconstructies minimaal gelijk aan de acceptabele betrouwbaarheid B_{acc} . Omdat de betrouwbaarheid van draagconstructies op alle gebouwhoogtes groter is dan de acceptabele betrouwbaarheid, zijn de resultaten niet weergegeven in een tabel.



Figuur 2.5 De betrouwbaarheid van draagconstructies in een gebouw met een a) accumulerende omhulling en b) isolerende omhulling vergeleken met de acceptabele betrouwbaarheid B_{acc} .

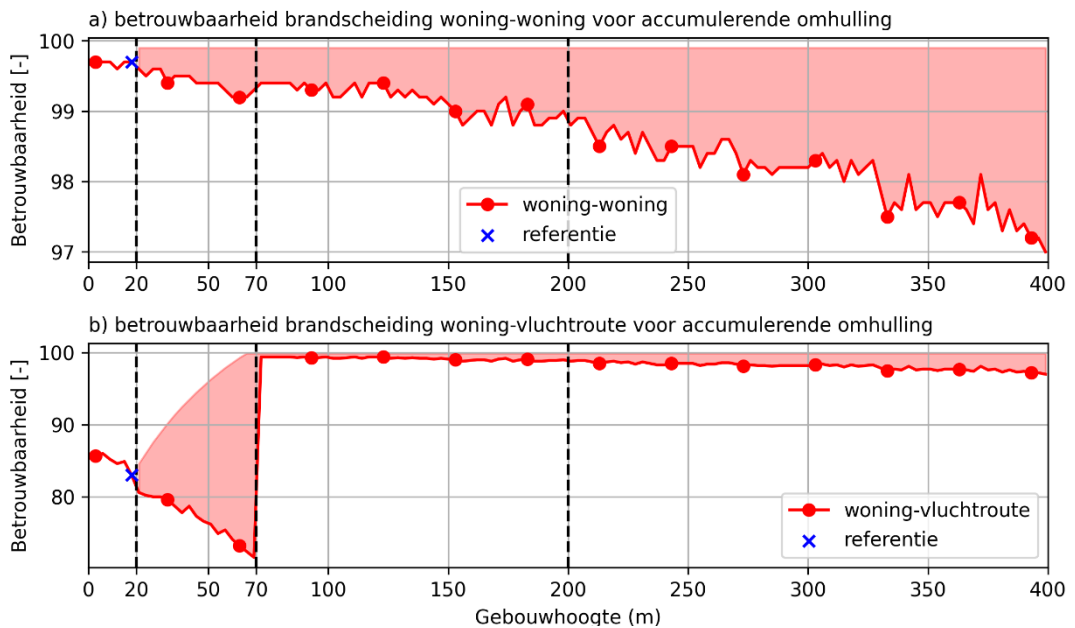
2.2.2 Brandscheidingen

In Figuur 2.6, Figuur 2.7 en Tabel 2.3 is de betrouwbaarheid weergegeven van brandscheidingen (de kans dat $AST \geq RST$). Aan de rekenresultaten valt het volgende op:

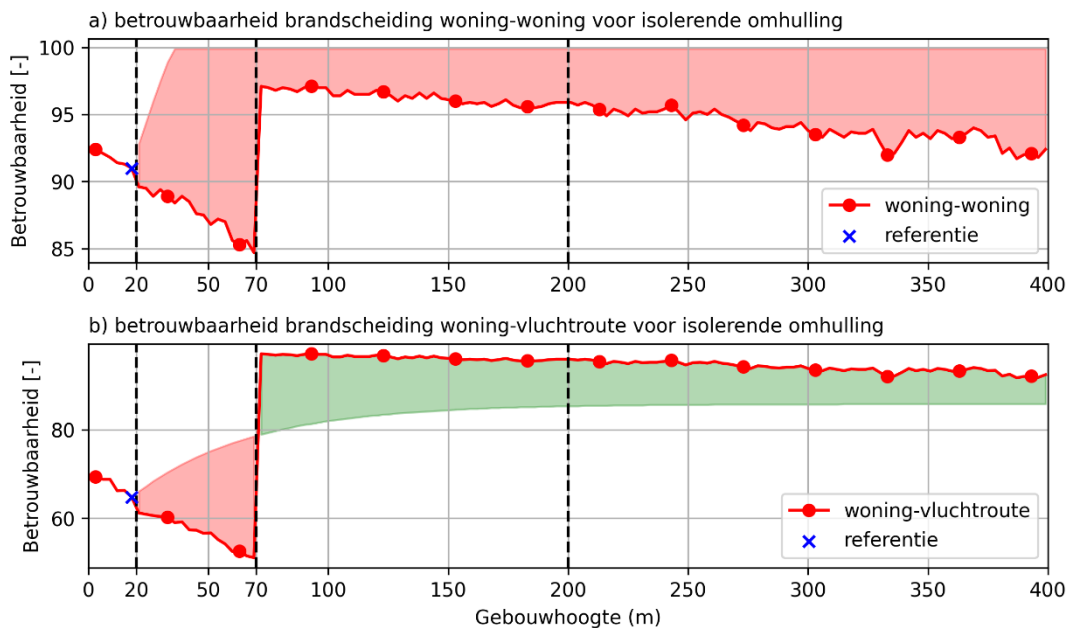
- > In gebouwen met een accumulerende omhulling is de berekende betrouwbaarheid altijd lager dan de acceptabele betrouwbaarheid. In gebouwen hoger dan 20 meter en lager

dan 70 meter is het verschil tussen de berekende betrouwbaarheid en acceptabele betrouwbaarheid groter dan in gebouwen hoger dan 70 meter.

- > In gebouwen met een isolerende omhulling is de berekende betrouwbaarheid van de twee beoordeelde brandscheidingen lager dan de acceptabele betrouwbaarheid in gebouwen hoger dan 20 meter en lager dan 70 meter. In gebouwen hoger dan 70 meter is de betrouwbaarheid van brandscheidingen tussen woningen lager dan de acceptabele betrouwbaarheid. De betrouwbaarheid van de brandscheiding tussen de woning en vluchtroute is vanaf 70 meter hoger dan de acceptabele betrouwbaarheid.



Figuur 2.6 De betrouwbaarheid van brandscheidingen in een gebouw met een accumulerende omhulling vergeleken met de acceptabele betrouwbaarheid B_{acc} .



Figuur 2.7 De betrouwbaarheid van brandscheidingen in een gebouw met een isolerende omhulling vergeleken met de acceptabele betrouwbaarheid B_{acc} .

Tabel 2.3 De betrouwbaarheid van brandscheidingen vergeleken met de acceptabele betrouwbaarheid B_{acc}

Hoogte [m]	Accumulerende omhulling				Isolerende omhulling			
	Woning-woning		Woning-vluchtroute		Woning-woning		Woning-vluchtroute	
	B_i [%]	B_{acc} [%]	B_i [%]	B_{acc} [%]	B_i [%]	B_{acc} [%]	B_i [%]	B_{acc} [%]
3	99,7	n.v.t.	85,7	n.v.t.	92,4	n.v.t.	69,4	n.v.t.
9	99,7	n.v.t.	85,2	n.v.t.	91,8	n.v.t.	68,8	n.v.t.
18 (ref)	99,7	n.v.t.	83	n.v.t.	91	n.v.t.	64,8	n.v.t.
21	99,6	99,9	80,6	84,6	89,6	92,8	61,2	66,1
45	99,4	99,9	77,3	94,5	87,6	99,9	57,3	73,8
69	99,3	99,9	71,6	99,9	84,7	99,9	51,1	78,5
72	99,4	99,9	99,4	99,9	97,1	99,9	97,1	78,9
138	99,2	99,9	99,2	99,9	96,6	99,9	96,6	84
201	98,8	99,9	98,8	99,9	95,9	99,9	95,9	85,3
300	98,2	99,9	98,2	99,9	93,8	99,9	93,8	85,7
399	97	99,9	97	99,9	92,4	99,9	92,4	85,8

2.3 Nadere analyse AST-RST-vergelijking

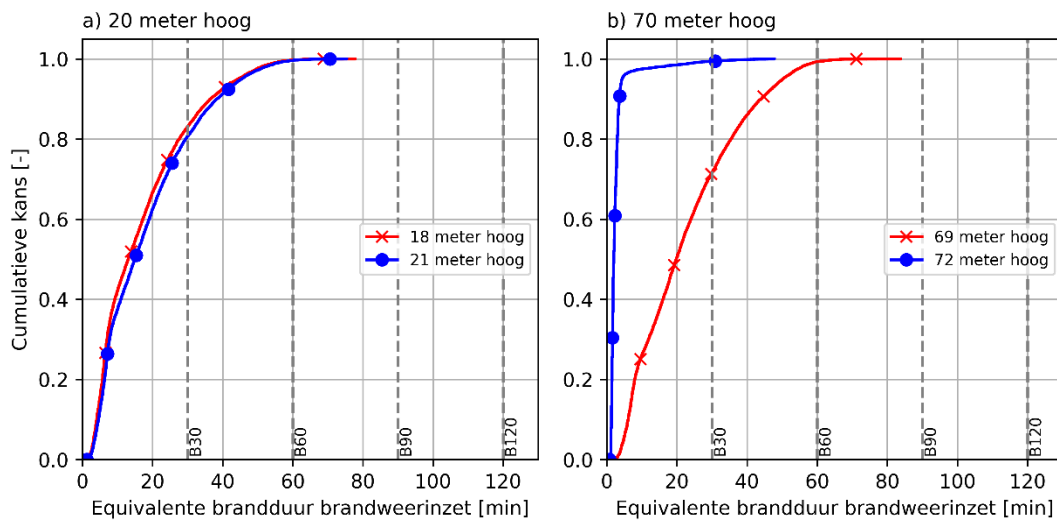
Met een toenemende hoogte van gebouwen worden er verschillende brandveiligheidsvoorzieningen getroffen die de beschikbare (AST) of benodigde (RST) veilige tijd voor een brandweerinzet beïnvloeden. Gebouwhoogtes waarvoor belangrijke voorzieningen worden vereist zijn:

- > 20 meter: vanaf deze hoogte zijn onder andere een droge blusleiding en een brandweerlift verplicht aanwezig in gebouwen. Deze voorzieningen zijn van invloed op de RST.
- > 70 meter: vanaf deze hoogte zijn onder andere een automatische blusinstallatie (sprinklerinstallatie), redundant uitgevoerde natte blusleidingen en brandweerliften verplicht aanwezig in gebouwen. Deze voorzieningen zijn van invloed op zowel de RST als de AST.

In de volgende paragrafen wordt voor beide hoogtes in meer detail stilgestaan bij de gevolgen die de brandveiligheidsvoorzieningen hebben voor de betrouwbaarheid van de draagconstructie en brandscheidingen.

2.3.1 Vanaf een hoogte van 20 meter

In Figuur 2.3 (a) is voor een gebouw van 18 meter en 21 meter hoog de verdeling van de equivalente brandduur voor de brandweerinzet weergegeven. Er zijn slechts nuanceverschillen te zien tussen de curves. Opvallend is dat de (kans van de) betrouwbaarheid voor een hoogte van 21 meter kleiner is dan die voor een hoogte van 18 meter, terwijl er wel meer brandveiligheidsvoorzieningen aanwezig zijn. Dit komt met name door de tijd die de brandweer nodig heeft om de droge blusleiding gereed te maken voor gebruik. In de RST is namelijk rekening gehouden met een extra handeling waarin de brandweer alle afsluiters van de droge blusleiding op de verschillende bouwlagen handmatig controleert. Als de blusleiding niet correct functioneert, zal de brandweer alsnog bluswater opvoeren naar de brandverdieping. Dit kost extra tijd in vergelijking met gebouwen lager dan 20 meter.



Figuur 2.8 Verdeling van de equivalente brandduur brandweerinzet voor verschillende gebouwhoogtes

Onderdelen van de blusleiding die niet gekwantificeerd zijn

De droge blusleiding zorgt voor een afname van de fysieke belasting voor brandweermensen. Dit is niet meegenomen in de bepaling van de RST. Het is echter wel een belangrijk verschil ten opzichte van gebouwen zonder droge blusleiding.

2.3.2 Vanaf een hoogte van 70 meter

Vanaf 70 meter is in de rekenresultaten een sprong te zien wat betreft de betrouwbaarheid van brandscheidingen en draagconstructies (zie Figuur 2.3 (b)). Die sprong komt doordat een sprinklerinstallatie en redundant uitgevoerde brandweerliften en natte blusleidingen aanwezig zijn. De sprinklerinstallatie beperkt de brandgroei, waardoor de thermische belasting van constructiedelen laag blijft en de equivalente brandduur ook laag uitvalt. Anderzijds zorgen de brandweerliften en natte blusleidingen ervoor dat de RST niet of beperkt langer wordt bij toenemende hoogte. De redundantie zorgt er daarnaast voor dat falen van een van de beide voorzieningen erg onwaarschijnlijk wordt. De betrouwbaarheid van een brandscheiding tussen een woning en een vluchtroute (brandwerendheid van 30 minuten) is bij een hoogte van 72 meter groter dan bij een hoogte van 69 meter. Dit verschil bedraagt ongeveer 46 %.

2.4 Conclusie

Aan de hand van de rekenresultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken over de betrouwbaarheid van draagconstructies en brandscheidingen met betrekking tot een veilige brandweerinzet:

Gerelateerd aan de rekenresultaten:

- > In gebouwen met een accumulerende omhulling is de betrouwbaarheid van de constructies hoger dan in gebouwen met een isolerende omhulling.
- > Vanaf 20 meter gebouwhoogte en vanaf 70 meter gebouwhoogte zijn meer brandveiligheidsvoorzieningen verplicht die de betrouwbaarheid van draagconstructies en brandscheidingen positief beïnvloeden. De voorzieningen die vanaf 70 meter verplicht zijn (sprinklerinstallatie en redundant uitgevoerde natte blusleiding en brandweerlift), verhogen de betrouwbaarheid meer dan de voorzieningen die vanaf 20 meter verplicht zijn (droge blusleiding en brandweerlift).
- > De sprinklerinstallatie heeft een groter positief effect op de betrouwbaarheid dan de andere brandveiligheidsvoorzieningen.

Gerelateerd aan de referentie of acceptabele betrouwbaarheid:

- > De betrouwbaarheid van draagconstructies is hoger dan de acceptabele betrouwbaarheid.
- > In gebouwen met een hoogte tussen 20 en 70 meter zijn de berekende betrouwbaarheden van brandscheidingen lager dan de acceptabele betrouwbaarheid. Dit geldt voor zowel brandscheidingen tussen woningen onderling als brandscheidingen tussen woningen en vluchtroutes.
- > In gebouwen hoger dan 70 meter is de berekende betrouwbaarheid van brandscheidingen ook lager dan de acceptabele betrouwbaarheid. Het verschil tussen de berekende betrouwbaarheid en de acceptabele betrouwbaarheid is kleiner dan datzelfde verschil in gebouwen tussen de 20 en 70 meter hoog.

3 AST-RST van veilige brandweerinzet

In dit hoofdstuk worden de resultaten beschreven van de AST-RST-vergelijking voor de persoonlijke veiligheid van brandweermensen (de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet of kans dat $AST \geq RST$). De AST is de tijdsduur waarin de condities in de aanvalsroute acceptabel zijn, de RST is de tijd die de brandweer nodig heeft om over te gaan tot brandbestrijding. Daarna zijn de rekenresultaten getoetst aan de acceptabele betrouwbaarheid. Er wordt beoordeeld of de betrouwbaarheid van draagconstructies en brandscheidingen in vergelijking met de referentie voldoende hoog is. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen accumulerende en isolerende constructies.

3.1 Betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet

In deze paragraaf wordt de vergelijking tussen de AST en de RST beschreven. Het resultaat daarvan is de kans dat een veilige brandweerinzet kan worden uitgevoerd in de verschillende ruimten van de aanvalsroute. Die ruimten zijn:

- > De brandruimte
- > De corridor
- > Een sluis (aanwezig vanaf 20 meter gebouwhoogte)
- > Het trappenhuis.

Corridor, sluis en trappenhuis

Uit de rekenresultaten blijkt dat de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet in de corridor al relatief hoog is. Datzelfde geldt dan in toenemende mate voor andere ruimten in de aanvalsroute die verder van de brandruimte liggen. Er zijn in die gevallen immers meer brandscheidingen en andere brandveiligheidsvoorzieningen aanwezig om de verplaatsing van rook en warmte tegen te houden (brandscheidingen, overdrukinstallatie).

3.1.1 Overzicht rekenresultaten

In Tabel 3.1 en Tabel 3.2 is een overzicht van de rekenresultaten gegeven. In de daaropvolgende paragrafen wordt per ruimte nader ingegaan op de rekenresultaten.

Tabel 3.1 Betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet (kans dat $AST \geq RST$) in gebouwen met een accumulerende omhulling

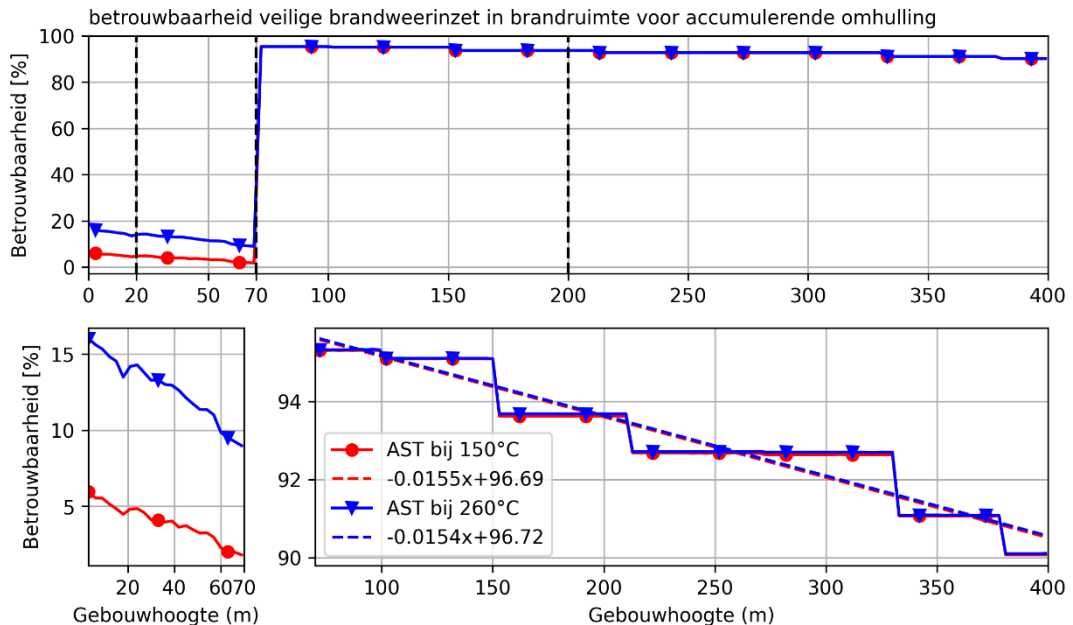
	Brandruimte		Corridor		Sluis		Trappenhuis	
	150°C	260°C	150°C	260°C	150°C	260°C	150°C	260°C
Hoogte [m]	Betrouwbaarheid [%]							
3	6	16	82,6	98,3	n.v.t.	n.v.t.	>99,9	>99,9
9	5,5	15,3	82,5	98,2	n.v.t.	n.v.t.	>99,9	>99,9
18	4,5	13,5	82,2	98,3	n.v.t.	n.v.t.	>99,9	>99,9
21	4,8	14,2	82,6	>99,9	98,5	>99,9	>99,9	>99,9
45	3,7	12,1	82,2	>99,9	98,4	>99,9	>99,9	>99,9
69	1,8	9	81,7	>99,9	98,4	>99,9	>99,9	>99,9
72	95,3	95,3	99	>99,9	99,9	>99,9	>99,9	>99,9
138	95,1	95,1	99	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9	>99,9
201	93,6	93,7	98,7	>99,9	99,8	>99,9	>99,9	>99,9
300	92,6	92,7	98,4	>99,9	99,8	>99,9	>99,9	>99,9
399	90,1	90,1	97,7	>99,9	99,6	>99,9	>99,9	>99,9

Tabel 3.2 Betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet (kans dat $AST \geq RST$) in gebouwen met een isolerende omhulling

	Brandruimte		Corridor		Sluis		Trappenhuis	
	150°C	260°C	150°C	260°C	150°C	260°C	150°C	260°C
Hoogte [m]	Betrouwbaarheid [%]							
3	3,5	9,9	79,2	84	n.v.t.	n.v.t.	>99,9	>99,9
9	3,3	9,3	79,2	83,9	n.v.t.	n.v.t.	>99,9	>99,9
18	2,4	7,8	79,2	83,4	n.v.t.	n.v.t.	>99,9	>99,9
21	0,8	3,7	78,1	79,8	95,5	95,7	>99,9	>99,9
45	0,3	2,5	78	79,6	95,5	95,7	>99,9	>99,9
69	<0,1	1,1	78,1	79,4	95,5	95,7	>99,9	>99,9
72	76,3	95,2	98,9	99	99,8	99,8	>99,9	>99,9
138	75,3	94	98,8	99	99,7	99,7	>99,9	>99,9
201	74,3	93,8	98,7	98,8	99,8	99,8	>99,9	>99,9
300	72,6	91,5	98,3	98,3	99,8	99,8	>99,9	>99,9
399	69,9	90,1	98,2	98,3	99,6	99,6	>99,9	>99,9

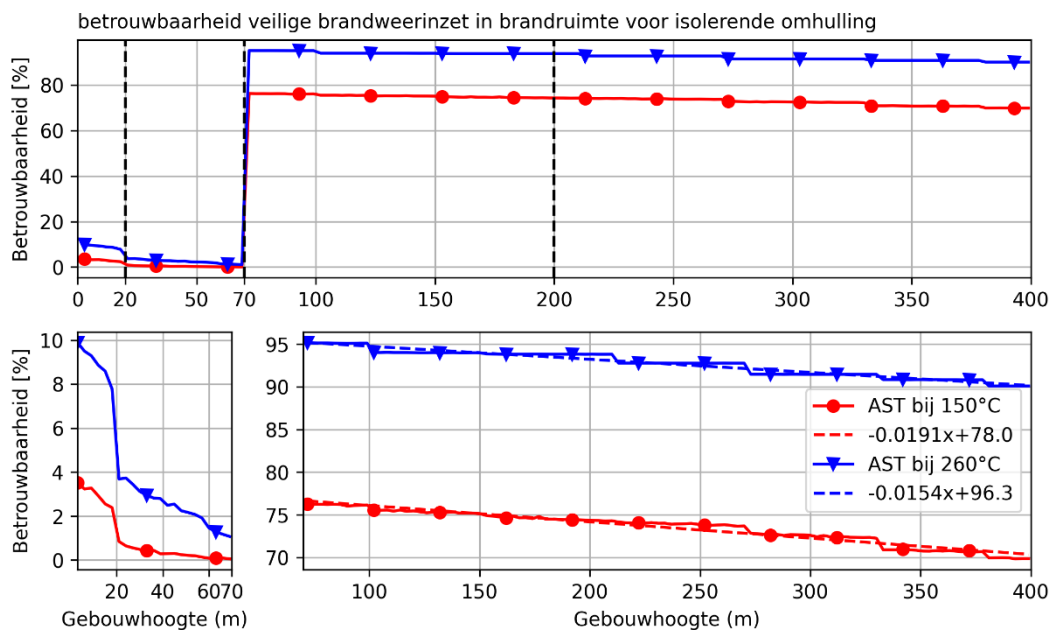
3.1.2 Brandruimte

In Figuur 3.1 en Figuur 3.2 is de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet in de brandruimte gegeven voor een accumulerende en isolerende omhulling. Uit de rekenresultaten (zie ook tabellen 3.1 en 3.2) blijkt dat de kans op een veilige inzet in de brandruimte laag is in gebouwen met een hoogte lager dan 70 meter, vergeleken met gebouwen hoger of gelijk aan 70 meter.



Figuur 3.1 Betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet (kans dat $AST \geq RST$) in de brandruimte voor een gebouw met een accumulerende omhulling

Bij een hoogte tot 70 meter neemt de betrouwbaarheid van de brandweerinzet af naarmate de hoogte toeneemt: van 4,8 % bij 20 meter tot 1,8 % bij 69 meter (accumulerend gebouw en acceptatiecriterium van 150 °C). Dit komt doordat de RST toeneemt met de hoogte van een gebouw. Met name de toename van verplaatsingstijd in het gebouw, het controleren en de ingebruikname van de droge blusleiding zorgen voor een toename van de benodigde tijd (RST). Beide lijnen in de grafieken (acceptatiecriteria 150 °C en 260 °C) vertonen hetzelfde beeld. Over het algemeen kan worden gesteld dat in gebouwen lager dan 70 meter de betrouwbaarheid van de brandweerinzet laag is. Een veilige brandweerinzet in de brandruimte is niet of nauwelijks mogelijk.



Figuur 3.2 Betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet (kans dat $AST \geq RST$) in de brandruimte voor een gebouw met een isolerende omhulling

Vanaf een hoogte van 70 meter is er een sprinklerinstallatie in de brandruimte aanwezig. Die installatie zorgt bij correct functioneren voor het beperken van de branduitbreiding. Hierdoor neemt de AST toe en daardoor ook de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet in de brandruimte (van 1,8 % bij 69 meter naar 95,3 % bij 72 meter, een verschil van 93,5 %). De betrouwbaarheid neemt bij toenemende hoogte boven de 70 meter af, van 95,3 % bij 72 meter tot 90,1 % bij 399 meter. Dit wordt veroorzaakt doordat de betrouwbaarheid de sprinklerinstallatie verondersteld wordt af te nemen met de gebouwhoogte. De toenemende RST in hogere gebouwen als gevolg van met name een langere verplaatsingstijd is van beperkte invloed op de betrouwbaarheid. Dit komt doordat de brandweerliften en natte blusleidingen in die gebouwen redundant zijn uitgevoerd, waardoor ze een hoge betrouwbaarheid hebben.

Wat opvalt is dat in gebouwen met een accumulerende omhulling en hoger dan 70 meter geen onderscheid bestaat tussen de acceptatiecriteria; de betrouwbaarheid behorend bij beide criteria is ongeveer gelijk. De betrouwbaarheid is hier grotendeels gelijk aan de betrouwbaarheid van de sprinklerinstallatie. Met andere woorden: als de sprinklerinstallatie correct functioneert, is een veilige inzet in de brandruimte mogelijk. In een isolerende omhulling bestaat er wel een verschil tussen de acceptatiecriteria. De betrouwbaarheid behorende bij het acceptatiecriterium van 150 °C is lager dan de betrouwbaarheid die hoort bij het acceptatiecriterium van 260 °C. In gevallen waarin het sprinklersysteem correct werkt, wordt in een aantal scenario's de gastemperatuur van 150 °C gedurende een tijdsduur van 15 minuten overschreden, terwijl dit in minder scenario's het geval is voor het acceptatiecriterium van 260 °C (en een tijdsduur van 5 minuten).

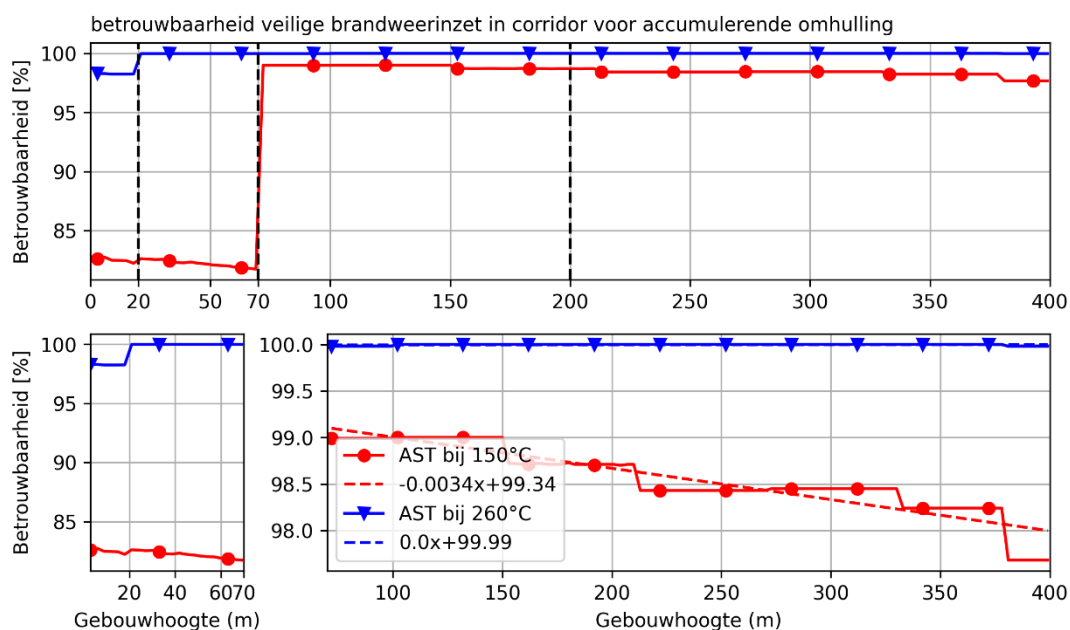
3.1.3 Corridor

In Figuur 3.1 en Figuur 3.2 is de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet in de corridor gegeven voor een accumulerende en isolerende omhulling. Uit de rekenresultaten blijkt dat de kans op een veilige inzet in de corridor hoger is dan de kans op een veilige inzet in de brandruimte. Dit wordt veroorzaakt door de aanwezige fysieke scheiding met zelfsluitende

deur tussen de brandruimte en de corridor. Hierdoor wordt de verspreiding van rook en warmte naar de corridor beperkt.

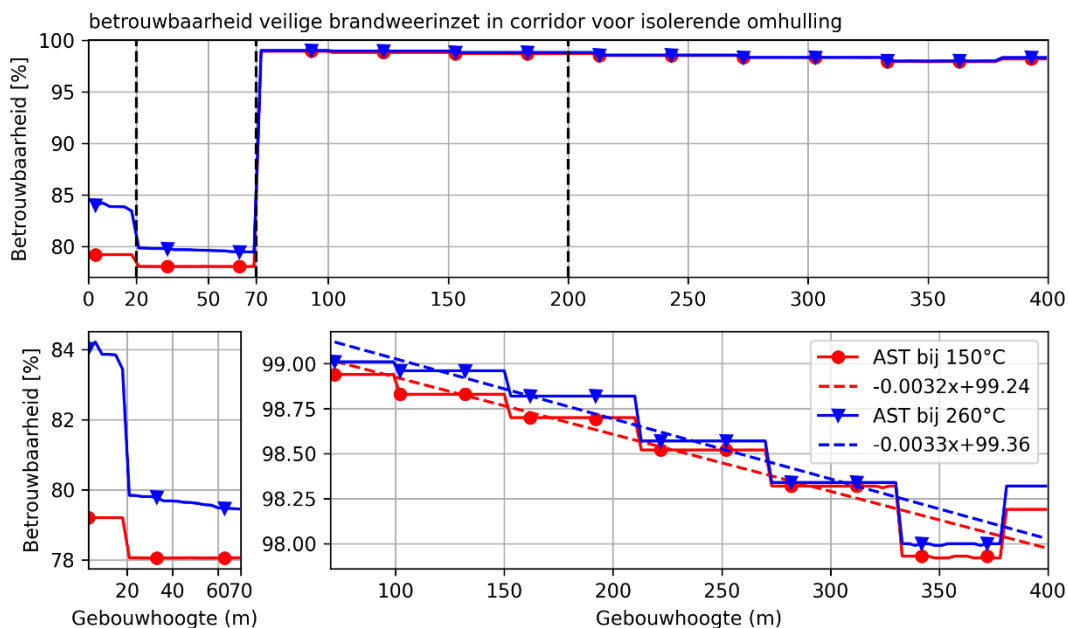
Betrouwbaarheid van brandwerende scheidings

Uit hoofdstuk 2 blijkt dat de betrouwbaarheid van de brandscheiding tussen de woning en corridor relatief laag is in vergelijking met de brandscheidingen tussen woningen onderling. De kans is daarvoor aanwezig dat de brandscheiding faalt gedurende de brandweerinzet. Dit falen kan zijn op één van de 2 brandwerendheidscriteria (vlamdichtheid E of straling W). Dat wil niet zeggen dat de brandscheiding bij falen volledig verdwijnt. Daarom zijn die rekenresultaten niet meegenomen in de bepaling van de betrouwbaarheid van de veilige brandweerinzet. Het uitgangspunt hier is dat de betrouwbaarheid van de zelfsluitende deur maatgevend is voor de omstandigheden in de corridor, sluis en het trappenhuis.



Figuur 3.3 Betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet (kans dat $AST \geq RST$) in de corridor voor een gebouw met een accumulerende omhulling

Uit de rekenresultaten blijkt dat in gebouwen tot 70 meter hoogte de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet grotendeels gelijk is aan de betrouwbaarheid van de zelfsluitende deur (80 %). Voor het acceptatiecriterium 150 °C (rode lijn) geldt dit, ongeacht een accumulerende of isolerende omhulling; de betrouwbaarheid neemt af van 82,6 % bij een hoogte van 21 meter tot 81,7 % bij een hoogte van 69 meter bij een accumulerende omhulling.



Figuur 3.4 Betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet (kans dat $AST \geq RST$) in de corridor voor een gebouw met een isolerende omhulling

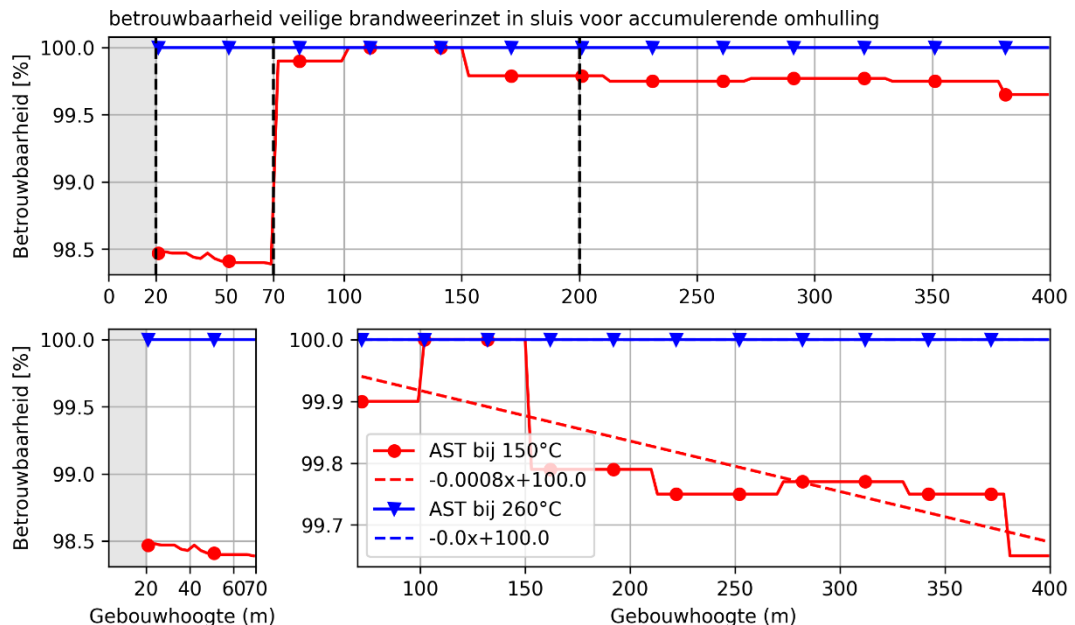
Voor het acceptatiecriterium 260 °C (blauwe lijn) geldt dat in een gebouw met een accumulerende omhulling er vrijwel altijd gedurende langere tijd veilig ingezet kan worden; de betrouwbaarheid is daar groter dan 99,9 %, ongeacht de gebouwhoogte. In een gebouw met een isolerende omhulling is de betrouwbaarheid weer grotendeels gelijk aan de betrouwbaarheid van de zelfsluitende deur; de betrouwbaarheid neemt af van 79,8 % bij een hoogte van 21 meter tot 79,4 % bij een hoogte van 69 meter. In die gevallen is langdurig veilig inzetten alleen mogelijk als de zelfsluitende deur gesloten wordt nadat deze is geopend.

Boven de 70 meter wordt de betrouwbaarheid bepaald door een combinatie van de betrouwbaarheid van de zelfsluitende deur en sprinklerinstallatie. In principe kan worden gesteld dat wanneer beide voorzieningen niet correct werken, een of beide acceptatiecriteria worden overschreden. Welk acceptatiecriterium dan wordt overschreden, is afhankelijk van de brandkarakteristieken en of het een accumulerende of isolerende omhulling betreft. In alle gevallen is de betrouwbaarheid hoger in vergelijking met een gebouw lager dan 70 meter. Bij een gebouw van 69 meter hoog bedraagt de betrouwbaarheid 81,7 %, terwijl in een gebouw van 72 meter hoog de betrouwbaarheid 99 % bedraagt (acceptatiecriterium 150 °C bij een accumulerende omhulling). Het verschil in betrouwbaarheid (ongeveer 17 %) wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van een sprinklerinstallatie.

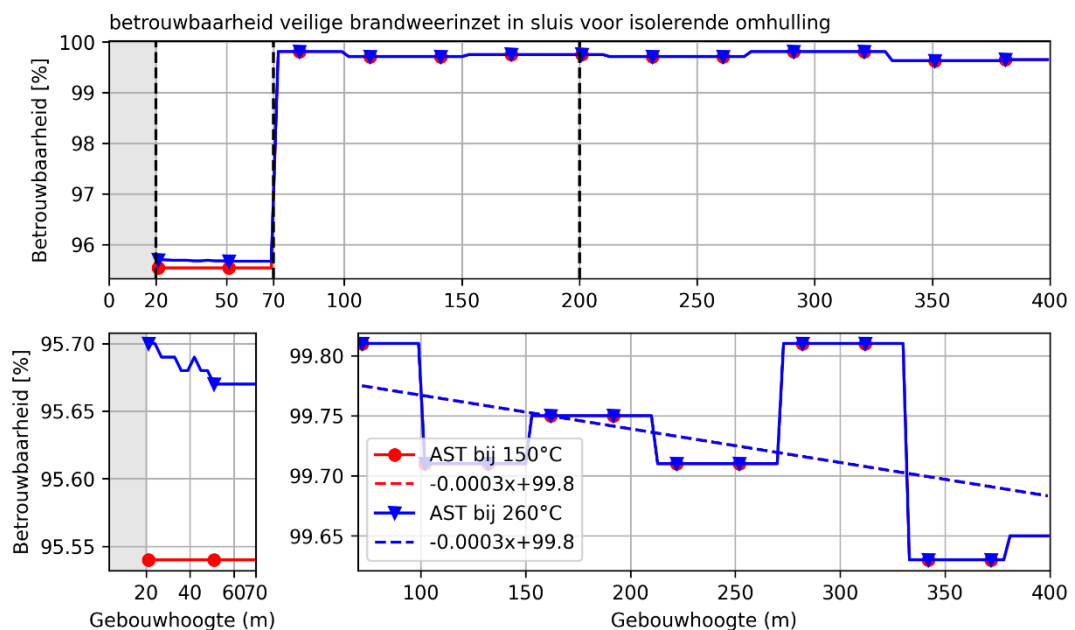
3.1.4 Sluis

De betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet in de sluis is weergegeven in Figuur 3.5 en Figuur 3.6. Een sluis voor het trappenhuis is alleen aanwezig in gebouwen hoger dan 20 meter. Daarom is in de figuren het gebied tussen 0 en 20 meter grijs gearceerd. Uit de rekenresultaten blijkt dat de kans op een veilige inzet in de sluis hoger is dan de kans op een veilige inzet in de corridor: bij een gebouwhoogte van 21 meter bedraagt de betrouwbaarheid in de corridor 78,1 %, en in de sluis bedraagt deze 95,5 % (accumulerende omhulling en een acceptatiecriterium van 150 °C). Dit komt door de aanwezige fysieke scheiding met zelfsluitende deur tussen de corridor en de sluis. Hierdoor wordt de verspreiding van rook en warmte naar de sluis beperkt.

Er is aangenomen dat vanaf een gebouwhoogte van 70 meter een overdrukinstallatie aanwezig is in de sluis. Deze verhoogt samen met de aanwezige sprinklerinstallatie de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet in de sluis. Die is in gebouwen hoger dan 70 meter vrijwel gelijk aan 100 %. In gebouwen hoger dan 70 meter komt een situatie waarin geen veilige brandweerinzet in de sluis mogelijk is met de gehanteerde methode niet of nauwelijks voor.



Figuur 3.5 Betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet (kans dat $AST \geq RST$) in de sluis van een gebouw met een accumulerende omhulling



Figuur 3.6 Betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet (kans dat $AST \geq RST$) in de sluis voor een gebouw met een isolerende omhulling

Uit de rekenresultaten blijkt dat in gebouwen tot 70 meter hoogte de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet bepaald wordt door de aangenomen betrouwbaarheid van de zelfsluitende deuren (80 %). De betrouwbaarheid is ongeveer voor 96 % gelijk aan de kans dat beide deuren open blijven staan ($1 - 0,8^2 = 0,96$ of 96 %). In een gebouw met een accumulerende omhulling geldt dit alleen voor het acceptatiecriterium 150 °C (rode lijn). Het criterium 260 °C (blauwe lijn) wordt daar in geen van de scenario's overschreden. Een veilige brandweerinzet is gedurende langere tijd mogelijk. In een gebouw met een isolerende omhulling wordt wel het acceptatiecriterium 260 °C (groene lijn) overschreden. In 4 % van de gevallen ontstaat een scenario waarin de omstandigheden zodanig zijn, dat slechts kortstondig veilig kan worden ingezet in de sluis.

In gebouwen hoger dan 70 meter wordt de betrouwbaarheid bepaald door een combinatie van de betrouwbaarheid van de zelfsluitende deuren, de sprinklerinstallatie en de overdrukinstallatie. De kans op een veilige brandweerinzet gedurende langere tijd is daar bijna gelijk aan 100 %. De kans op een scenario waarin alle brandveiligheidsvoorzieningen falen, is zeer klein.

3.1.5 Trappenhuis

De betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet is in het trappenhuis hoger dan in de sluis of de corridor vanwege de aanwezigheid van een extra brandscheiding. Daardoor is de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet in het trappenhuis in alle gevallen >99,9 %. Dit betekent dat er geen tot weinig scenario's zijn waarin er acceptatiecriteria (150 °C of 260 °C) worden overschreden.

3.2 Toetsing aan acceptatiecriteria voor betrouwbaarheid

In de volgende paragrafen wordt de berekende betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet per bouwlaag vergeleken met de acceptabele betrouwbaarheid B_{acc} [%], die is bepaald op basis van de referentie. Daarbij wordt het proces gebruikt zoals beschreven in paragraaf 1.4.

Als referentie is gekozen voor een gebouw met een hoogte van 18 meter (6 bouwlagen, zie paragraaf 1.4.1). In deze gebouwen is geen sluis aanwezig, waardoor een referentie voor die ruimte ontbreekt. Daarom is gekozen om voor de sluis een referentie van 21 meter te hanteren (7 bouwlagen). Dit is het laagste gebouw waarin een sluis verondersteld wordt aanwezig te zijn. Gebouwen met een hoogte lager dan 20 meter zijn niet vergeleken met de referentie.

Leeswijzer bij grafieken in deze paragraaf

In figuren 3.5, 3.6 en 3.7 is de berekende betrouwbaarheid vergeleken met de referentie en de acceptabele betrouwbaarheid. De volgende aanduidingen zijn gebruikt:

- > De rode lijnen geven de rekenresultaten weer.
- > Het blauwe kruisje geeft de referentie weer (gebouw met 6 bouwlagen / 18 meter hoog).
- > De gearceerde vlakken geven het verschil tussen het rekenresultaat en de acceptabele betrouwbaarheid weer:
 - Een groen vlak betekent dat het rekenresultaat hoger is dan de acceptabele betrouwbaarheid. De betrouwbaarheid is ten minste even hoog als de referentie.

- Een rood vlak betekent dat het rekenresultaat lager is dan de acceptabele betrouwbaarheid. De betrouwbaarheid is lager als de referentie.

3.2.1 Overzicht rekenresultaten

In Tabel 3.3 en Tabel 3.4 is een overzicht van de berekende betrouwbaarheid B [%] gegeven, samen met de acceptabele betrouwbaarheid B_{acc} [%]. In de paragrafen hierna wordt per ruimte van de aanvalsroute in meer detail ingegaan op de rekenresultaten. Het trappenhuis is alleen in de tabellen opgenomen en niet nader behandeld, omdat de betrouwbaarheid hier altijd >99,9 % is.

Tabel 3.3 Betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet (kans dat AST ≥ RST) (B [%]) in gebouwen met een accumulerende omhulling vergeleken met de acceptabele betrouwbaarheid (B_{acc} [%])

Brandruimte		Corridor		Sluis		Trappenhuis		
Acceptatiecriterium = 150 °C								
Hoogte [m]	B [%]	B _{acc} [%]	B [%]	B _{acc} [%]	B [%]	B _{acc} [%]	B [%]	B _{acc} [%]
3	6	n.v.t.	82,6	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	>99,9	n.v.t.
9	5,5	n.v.t.	82,5	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	>99,9	n.v.t.
18 (ref)	4,5	n.v.t.	82,2	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	>99,9	n.v.t.
21 (ref*)	4,8	4,6	82,6	83,8	98,5	n.v.t.	>99,9	99,9
45	3,7	5,1	82,2	93,6	98,4	99,9	>99,9	99,9
69	1,8	5,4	81,7	99,6	98,4	99,9	>99,9	99,9
72	95,3	5,5	99	99,9	99,9	99,9	>99,9	99,9
138	95,1	5,8	99	99,9	>99,9	99,9	>99,9	99,9
201	93,6	5,9	98,7	99,9	99,8	99,9	>99,9	99,9
300	92,6	6	98,4	99,9	99,8	99,9	>99,9	99,9
399	90,1	6	97,7	99,9	99,6	99,9	>99,9	99,9
Acceptatiecriterium = 260°C								
3	16	n.v.t.	98,3	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	>99,9	n.v.t.
9	15,3	n.v.t.	98,2	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	>99,9	n.v.t.
18 (ref)	13,5	n.v.t.	98,3	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	>99,9	n.v.t.
21 (ref*)	14,2	13,8	>99,9	99,9	>99,9	n.v.t.	>99,9	99,9
45	12,1	15,4	>99,9	99,9	>99,9	99,9	>99,9	99,9
69	9	16,3	>99,9	99,9	>99,9	99,9	>99,9	99,9
72	95,3	16,4	>99,9	99,9	>99,9	99,9	>99,9	99,9

138	95,1	17.5	>99,9	99.9	>99,9	99.9	>99,9	99,9
201	93,7	17.8	>99,9	99.9	>99,9	99.9	>99,9	99,9
300	92,7	17.9	>99,9	99.9	>99,9	99.9	>99,9	99,9
399	90,1	17.9	>99,9	99.9	>99,9	99.9	>99,9	99,9

* een gebouw met een hoogte van 21 meter wordt als referentie gebruikt in het geval van beoordeling van de sluis. Zie de hoofdtekst voor uitleg.

Tabel 3.4 betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet (kans dat $AST \geq RST$) (B [%]) in gebouwen met een isolerende omhulling vergeleken met de acceptabele betrouwbaarheid (B_{acc} [%])

Brandruimte		Corridor		Sluis		Trappenhuis		
Acceptatiecriterium = 150 °C								
Hoogte [m]	B [%]	B_{acc} [%]	B [%]	B_{acc} [%]	B [%]	B_{acc} [%]	B [%]	B_{acc} [%]
3	3.5	n.v.t.	79.2	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	>99.9	n.v.t.
9	3.3	n.v.t.	79.2	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	>99.9	n.v.t.
18 (ref)	2.4	n.v.t.	79.2	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	>99.9	n.v.t.
21 (ref*)	0.8	2.4	78.1	80.7	95.5	n.v.t.	>99.9	99.9
45	0.3	2.7	78	90.2	95.5	99.9	>99.9	99.9
69	<0.1	2.9	78.1	95.9	95.5	99.9	>99.9	99.9
72	76.3	2.9	98.9	96.5	99.8	99.9	>99.9	99.9
138	75.3	3.1	98.8	99.9	99.7	99.9	>99.9	99.9
201	74.3	3.2	98.7	99.9	99.8	99.9	>99.9	99.9
300	72.6	3.2	98.3	99.9	99.8	99.9	>99.9	99.9
399	69.9	3.2	98.2	99.9	99.6	99.9	>99.9	99.9
Acceptatiecriterium = 260 °C								
3	9.9	n.v.t.	84	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	>99.9	n.v.t.
9	9.3	n.v.t.	83.9	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	>99.9	n.v.t.
18 (ref)	7.8	n.v.t.	83.4	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	>99.9	n.v.t.
21 (ref*)	3.7	8	79.8	85	95.7	n.v.t.	>99.9	99.9
45	2.5	8.9	79.6	95	95.7	99.9	>99.9	99.9
69	1.1	9.4	79.4	99.9	95.7	99.9	>99.9	99.9
72	95.2	9.5	99	99.9	99.8	99.9	>99.9	99.9
138	94	10.1	99	99.9	99.7	99.9	>99.9	99.9

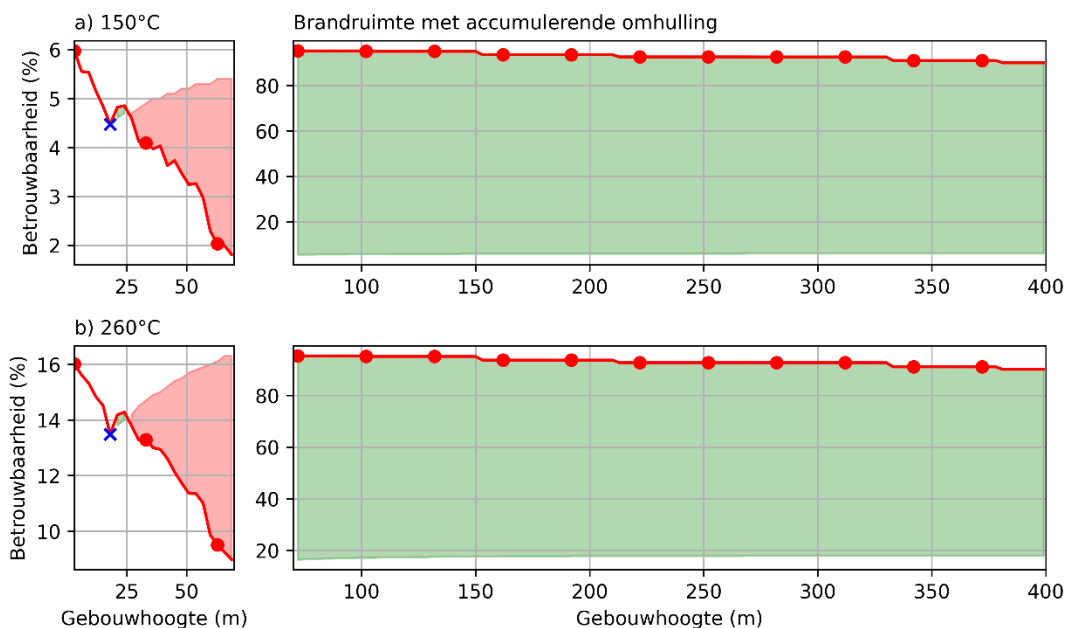
201	93.8	10.3	98.8	99.9	99.8	99.9	>99,9	99.9
300	91.5	10.3	98.3	99.9	99.8	99.9	>99,9	99.9
399	90.1	10.3	98.3	99.9	99.6	99.9	>99,9	99.9

* een gebouw met een hoogte van 21 meter wordt als referentie gebruikt in het geval van beoordeling van de sluis. Zie de hoofdtekst voor uitleg.

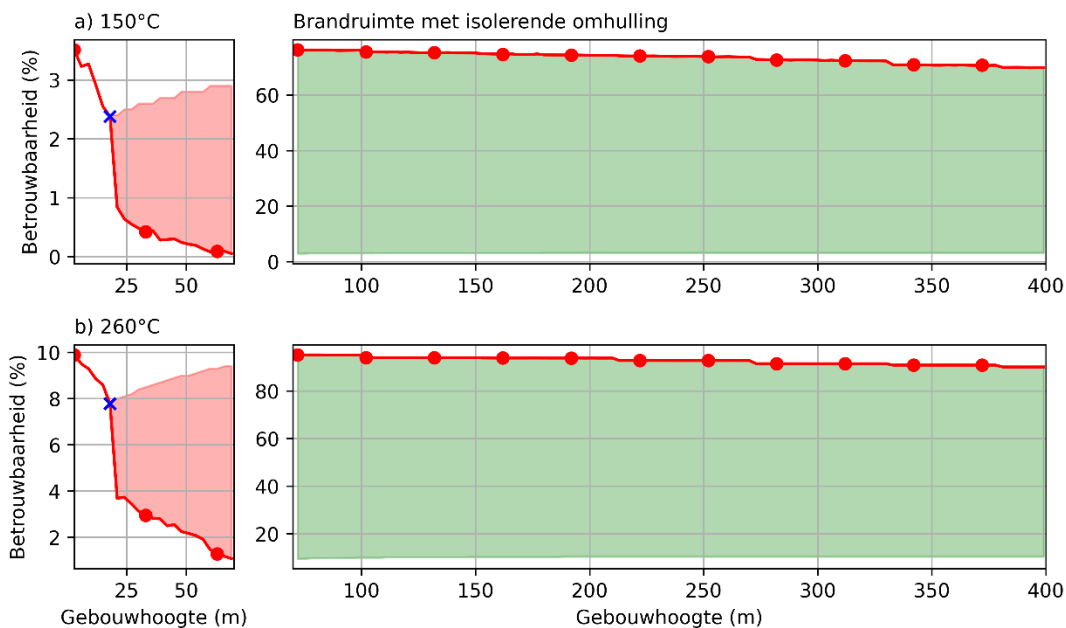
3.2.2 Brandruimte

De toetsing aan de acceptabele betrouwbaarheid is grafisch weergegeven voor de brandruimte in Figuur 3.7 en Figuur 3.8. Uit de resultaten valt het volgende op te maken:

- > In gebouwen hoger dan 20 meter en lager dan 70 meter met zowel een accumulerende als isolerende omhulling is de berekende betrouwbaarheid lager dan de acceptabele betrouwbaarheid. Hier zijn aanvullende brandveiligheidsvoorzieningen nodig om te komen tot een situatie waarin de berekende betrouwbaarheid minimaal gelijk is aan de acceptabele betrouwbaarheid.
- > In gebouwen hoger dan 70 meter met zowel een accumulerende als isolerende omhulling is de berekende betrouwbaarheid hoger dan de acceptabele betrouwbaarheid. Dit wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van brandveiligheidsvoorzieningen zoals de sprinklerinstallatie en redundant uitgevoerde natte blusleidingen en brandweerliften.



Figuur 3.7 Betrouwbaarheid [%] vergeleken met de acceptabele betrouwbaarheid; resultaten voor de brandruimte bij een acceptatiecriterium van a) 150°C en b) 260° in gebouwen met een accumulerende omhulling



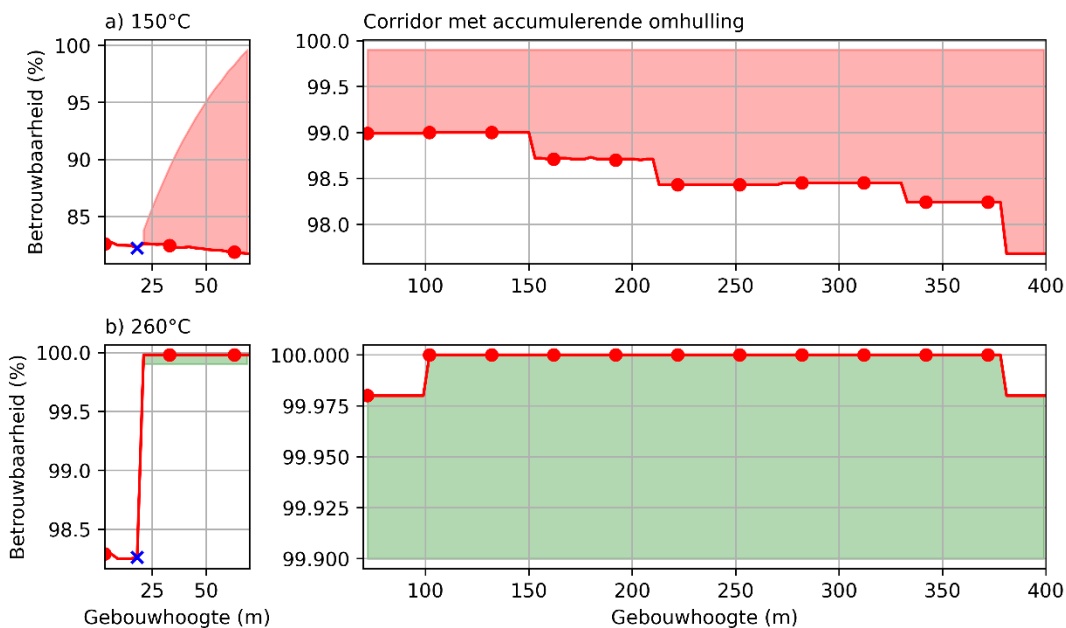
Figuur 3.8 Betroouwbaarheid [%] vergeleken met de acceptabele betrouwbaarheid; resultaten voor de brandruimte bij een acceptatiecriterium van a) 150°C en b) 260° in gebouwen met een isolerende omhulling

3.2.3 Corridor

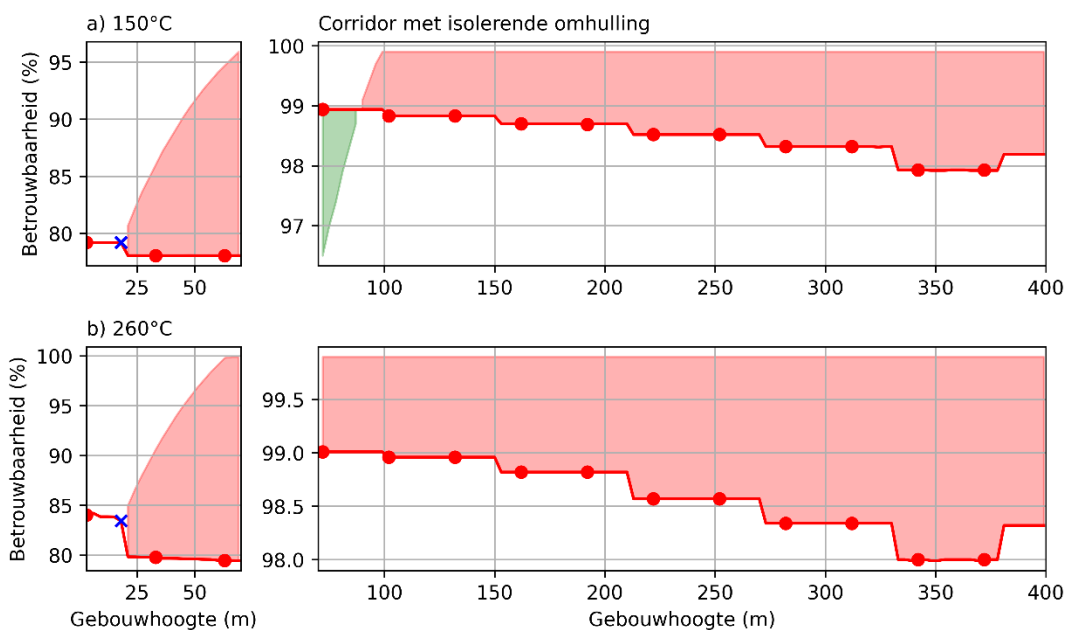
De toetsing aan de acceptabele betrouwbaarheid is grafisch weergegeven voor de corridor in Figuur 3.9 en Figuur 3.10. Uit de resultaten valt het volgende op te maken:

- > In gebouwen hoger dan 20 meter en lager dan 70 meter is de berekende betrouwbaarheid lager dan de acceptabele betrouwbaarheid. Hier zijn aanvullende brandveiligheidsvoorzieningen nodig om te komen tot een situatie waarin de berekende betrouwbaarheid minimaal gelijk is aan de acceptabele betrouwbaarheid.
- > In gebouwen hoger dan 70 meter en lager dan ongeveer 210 meter en met een accumulerende omhulling is de berekende betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet voor het acceptatiecriterium 260°C hoger of gelijk aan de noodzakelijke betrouwbaarheid. Voor het andere acceptatiecriterium en een isolerende omhulling is de betrouwbaarheid lager dan de noodzakelijke betrouwbaarheid.
- > In gebouwen hoger dan ongeveer 210 meter is de berekende betrouwbaarheid lager dan de acceptabele betrouwbaarheid. Hier zijn aanvullende brandveiligheidsvoorzieningen nodig om de betrouwbaarheid van de brandweerinzet te verhogen.

In gevallen waar de berekende betrouwbaarheid lager is dan de acceptabele betrouwbaarheid en waar de gebouwhoogte hoger is dan 70 meter, is het verschil klein (2-4 %). In andere gevallen loopt het verschil op tot 21 %.



Figuur 3.9 Betrouwbaarheid [%] vergeleken met de acceptabele betrouwbaarheid; resultaten voor de corridor bij een acceptatiecriterium van a) 150°C en b) 260° in gebouwen met een accumulerende omhulling



Figuur 3.10 Betrouwbaarheid [%] vergeleken met de acceptabele betrouwbaarheid; resultaten voor de corridor bij een acceptatiecriterium van a) 150°C en b) 260° in gebouwen met een isolerende omhulling

3.2.4 Sluis

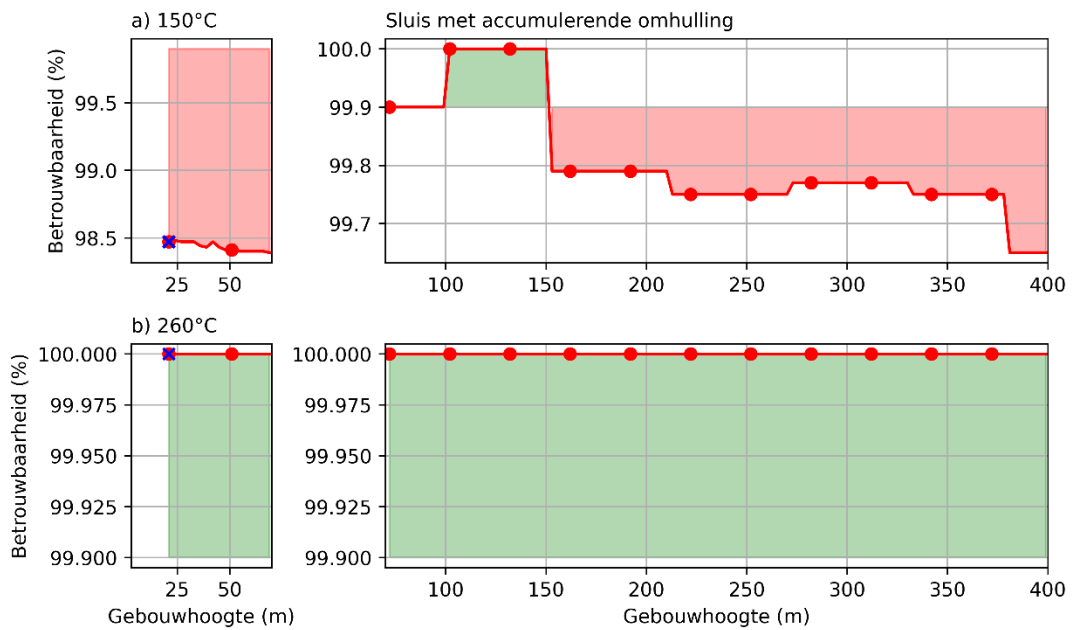
De toetsing aan de acceptabele betrouwbaarheid is grafisch weergegeven voor de sluis in Figuur 3.9 en Figuur 3.10. Uit de resultaten valt het volgende op te maken:

- > In gebouwen hoger dan 20 meter en lager dan 70 meter is de berekende betrouwbaarheid lager dan de acceptabele betrouwbaarheid. Hier zijn aanvullende brandveiligheidsvoorzieningen nodig om de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet te

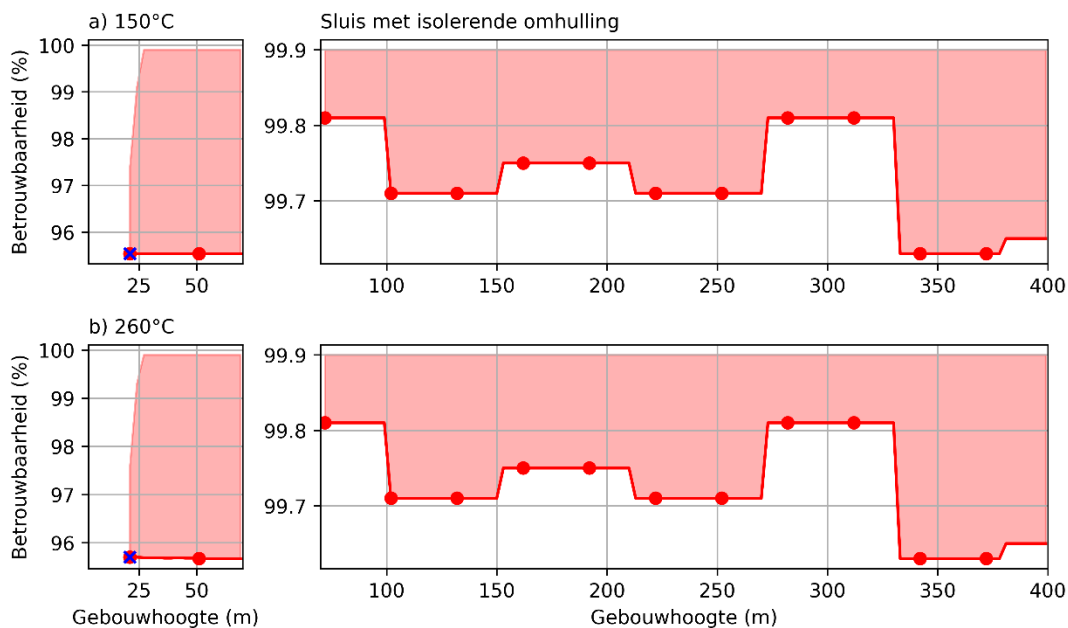
verhogen. Het verschil tussen de berekende en noodzakelijke betrouwbaarheid is klein (<4 %).

- > In gebouwen hoger dan 70 meter benadert de berekende betrouwbaarheid 100 %. De berekende betrouwbaarheid is hier tienden van procenten lager dan de acceptabele betrouwbaarheid.

In gevallen waar de berekende betrouwbaarheid lager is dan de acceptabele betrouwbaarheid en waar de gebouwhoogte hoger is dan 70 meter, is het verschil klein (maximaal 0,25 %). In gebouwen hoger dan 20 meter en lager dan 70 meter is het verschil groter (ongeveer maximaal 1,5 %).



Figuur 3.11 Betrouwbaarheid [%] vergeleken met de acceptabele betrouwbaarheid; resultaten voor de sluis bij een acceptatiecriterium van a) 150°C en b) 260° in gebouwen met een accumulerende omhulling



Figuur 3.12 Betrouwbaarheid [%] vergeleken met de acceptabele betrouwbaarheid; resultaten voor de sluis bij een acceptatiecriterium van a) 150°C en b) 260° in gebouwen met een isolerende omhulling

3.3 Nadere analyse AST-RST-vergelijking

Met een toenemende hoogte worden er verschillende brandveiligheidsvoorzieningen in gebouwen getroffen die de beschikbare (AST) of benodigde (RST) veilige tijd voor de brandweerinzet beïnvloeden. Gebouwhoogtes waarvoor belangrijke voorzieningen worden vereist zijn:

- > 20 meter: vanaf deze hoogte zijn een droge blusleiding en een brandweerlift verplicht. Ook is een sluis voor het trappenhuis aanwezig. Deze voorzieningen hebben met name gevolgen voor de RST.
- > 70 meter: vanaf deze hoogte zijn een automatische sprinklerinstallatie, sluis, overdrukinstallatie en redundant uitgevoerde natte blusleidingen en brandweerliften verplicht. Deze voorzieningen hebben gevolgen voor zowel de RST als de AST.

In de volgende paragrafen wordt voor beide gebouwhoogtes in meer detail stilgestaan bij de gevolgen die de brandveiligheidsvoorzieningen hebben voor de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet.

3.3.1 Vanaf een gebouwhoogte van 20 meter

De verschillen in de AST zijn tot een gebouwhoogte van 70 meter beperkt, met name omdat de extra brandveiligheidsvoorzieningen de brand en rookverspreiding niet verder beperken. De aanwezige sluis is hier een uitzondering op. Dit beperkt rookverspreiding naar het trappenhuis.

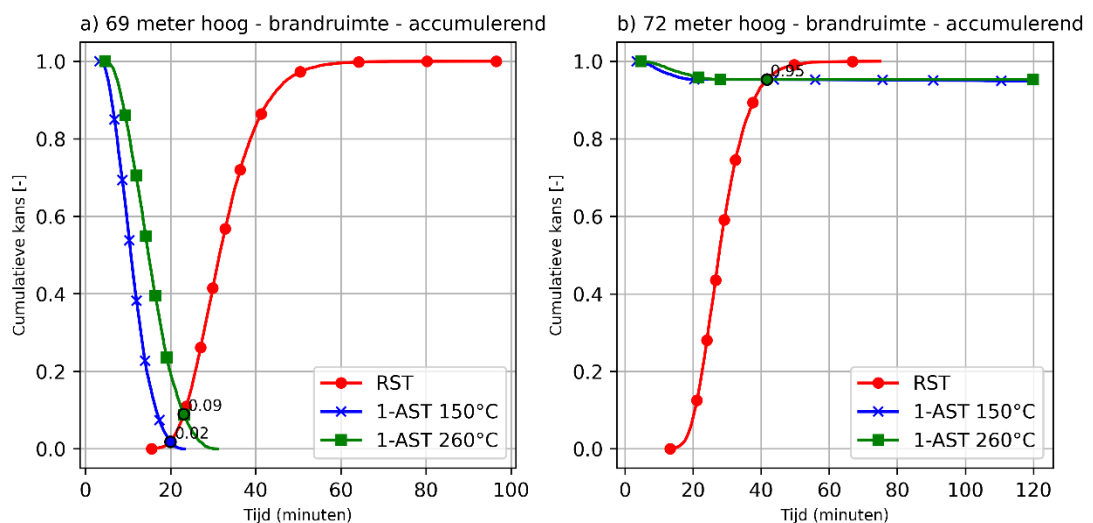
Wat betreft de RST wordt het verschil tussen een gebouw van 18 meter en 21 meter bepaald door de aanwezigheid van een brandweerlift en een droge blusleiding. De positieve

invloed van die voorzieningen op de RST is beperkt. Dit is behandeld in het rapport van fase I uit dit onderzoek (van Rede et al., 2025).

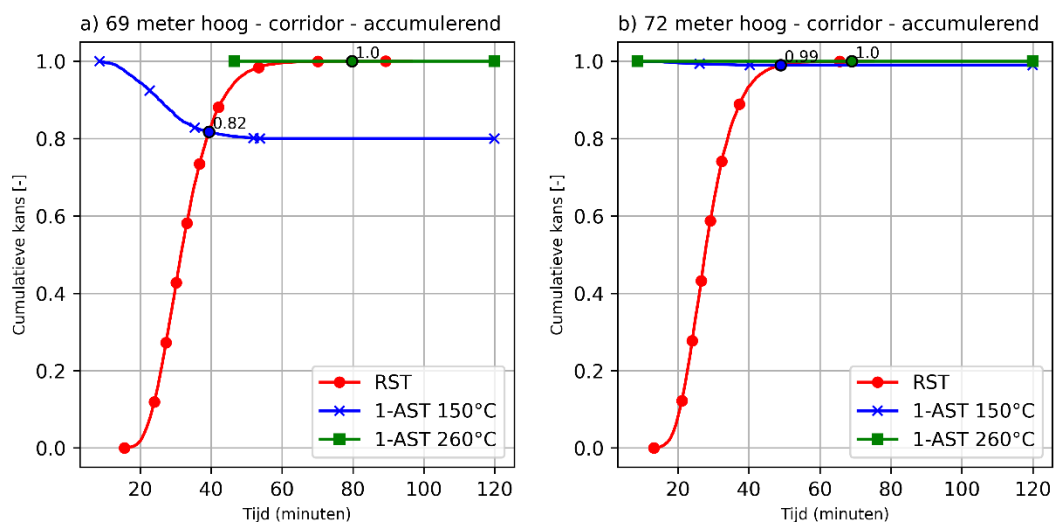
3.3.2 Vanaf een gebouwhoogte van 70 meter

Vanaf een gebouwhoogte van 70 meter wordt zowel de AST als de RST positief beïnvloed door de aanwezigheid van een sprinklerinstallatie, een overdrukinstallatie en redundant uitgevoerde natte blusleidingen en brandweerliften. De gevolgen voor zowel de AST als de RST zijn weergegeven Figuur 3.13 en Figuur 3.14.

Hoe deze figuren moeten worden gelezen, is uitgelegd in het blauwe blok in paragraaf 1.2.2.



Figuur 3.13 Brandruimte: kansverdeling van de AST en RST in gebouwen van 69 en 72 meter hoog, accumulerende omhulling



Figuur 3.14 Corridor: kansverdeling van de AST en RST in gebouwen van 69 en 72 meter hoog, accumulerende omhulling

De gevolgen van sprinklerinstallatie zijn zichtbaar in de brandruimte (zie Figuur 3.13). De verschillen in AST tussen figuur a) (69 meter hoog) en b) (72 meter hoog) worden in die figuur grotendeels veroorzaakt door de sprinklerinstallatie. In andere ruimten in de

aanvalsroute, zoals de corridor (zie figuur 3.14) is het positieve effect van de sprinklerinstallatie op de AST minder uitgesproken, omdat hier ook andere voorzieningen aanwezig zijn die de AST positief beïnvloeden (zelfsluitende deur tussen woning en corridor). De gevolgen van de natte blusleidingen en brandweerliften zijn zichtbaar in de kansverdeling van de RST. In vergelijking met figuur a) is deze in figuur b) naar links verschoven, wat een kortere RST betekent. De beschreven verschillen in de brandruimte en corridor vertalen zich door naar de sluis en het trappenhuis.

3.4 Conclusie

Aan de hand van de rekenresultaten uit dit hoofdstuk kunnen de volgende conclusies worden getrokken over de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet:

Gerelateerd aan de rekenresultaten:

- > In gebouwen met een accumulerende omhulling is de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet hoger dan in gebouwen met een isolerende omhulling.
- > De kans dat de brandweer bij aankomst veilig de brandruimte kan betreden is laag (<10-15 %) in gebouwen lager dan 70 meter. Dit kan alleen in scenario's waarin een langzame brandontwikkeling wordt verondersteld. De kans op een veilige offensieve binneninzet is op basis van de rekenresultaten laag.
- > De betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet wordt in de corridor en de sluis in gebouwen lager dan 70 meter met name bepaald door de betrouwbaarheid van zelfsluitende deuren. Als de deuren sluiten nadat bewoners zijn gevlucht, is een veilige inzet mogelijk. Als dit niet het geval is, is een veilige inzet minder voor de hand liggend. Over het algemeen geldt: hoe meer brandscheidingen er aanwezig zijn tussen de woning en de betreffende ruimte in de aanvalsroute, hoe hoger de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet in die ruimte.
- > In het trappenhuis is er vrijwel nooit sprake van een situatie waarin er geen veilige inzet kan worden uitgevoerd.
- > Vanaf een gebouwhoogte van 70 meter is een duidelijke verhoging van de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet zichtbaar in alle ruimten in de aanvalsroute (maar met name in de brandruimte en corridor). Die sprong is onder meer het gevolg van de aanwezige sprinklerinstallatie en brandveiligheidsvoorzieningen die de RST verkorten (natte blusleidingen en brandweerliften).

Gerelateerd aan de referentie / acceptabele betrouwbaarheid:

- > Met name in gebouwen met een hoogte tussen 20 en 70 meter zijn de berekende betrouwbaarheden van een veilige brandweerinzet lager dan de acceptabele betrouwbaarheid.
- > In hogere gebouwen (>70 meter) is daar ook sprake van, maar is het verschil tussen de berekende betrouwbaarheid en de acceptabele betrouwbaarheid kleiner.
- > Vanaf een gebouwhoogte van ongeveer 200 meter is het verschil tussen de berekende betrouwbaarheid en de acceptabele betrouwbaarheid groter dan 1 % (in de corridor). Onder de 200 meter is dat verschil klein (0.1-0.5 %).
- > Om invulling te geven aan de acceptabele betrouwbaarheid zijn aanvullende brandveiligheidsvoorzieningen of een hogere efficiëntie van de brandweerinzet nodig.

4 Oplossingsrichtingen

Uit voorgaande hoofdstukken blijkt dat bij verschillende gebouwhoogtes de berekende betrouwbaarheid lager is dan de acceptabele betrouwbaarheid die bepaald is op basis van de referentie. Om te komen tot een situatie waarin de berekende betrouwbaarheid groter of gelijk is aan de acceptabele betrouwbaarheid, worden in dit hoofdstuk oplossingsrichtingen voorgesteld. Daarbij wordt met name ingegaan op de volgende gebouwhoogtes:

- > Gebouwen van 20 tot 70 meter hoog
- > Gebouwen hoger dan 200 meter.

Dit geldt voor zowel de betrouwbaarheid van de draagconstructies en brandscheidingen als voor de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet. De oplossingsrichtingen zijn gegroepeerd in twee groepen:

- > Oplossingsrichtingen die de RST verkorten
- > Oplossingsrichtingen die de AST verlengen.

De oplossingsrichtingen zijn gekozen op basis van ervaring van de onderzoekers. De gevolgen van de oplossingsrichtingen worden op hoofdlijnen beschreven. Die beschrijving beperkt zich in dit hoofdstuk tot een kwalitatieve beschouwing van de betrouwbaarheid. In hoofdstuk 5 zijn voor een aantal oplossingsrichtingen de gevolgen voor de betrouwbaarheid kwantitatief uitgewerkt.

4.1 Verkorten van de RST

Het verkorten van de benodigde veilige tijd voor brandweerinzet (RST) betekent dat de brandweer eerder kan starten met brandbestrijding en zorgt voor een hogere betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet. Hieronder worden de volgende oplossingsrichtingen beschouwd:

- > De informatievoorziening van de brandweer verbeteren
- > Het verhogen van de betrouwbaarheid van blusleidingen en brandweerliften
- > Het toepassen van een brandmeldinstallatie met een volledige bewakingsomvang (met doormelding).

4.1.1 Informatievoorziening van de brandweer verbeteren

Uit de rekenresultaten uit fase I blijkt dat de werkzaamheden bij aankomst (rondomverkenning, et cetera) en de werkzaamheden op de brandverdieping (verkenning op verdieping, et cetera) in belangrijke mate bepalend zijn voor de RST. Als die onderdelen efficiënter kunnen worden uitgevoerd, scheelt dat mogelijk tijd, waardoor de RST verkort wordt. De tijd die nodig is voor die werkzaamheden kan mogelijk worden verkort door de informatievoorziening van de brandweer te verbeteren. Voorbeelden hiervan zijn:

- > Doorgeven van informatie over de locatie en aard van de brand en rookverspreiding aan het personeel in de TS. Op basis hiervan kan de inzet al tijdens de rijtijd (deels) worden voorbereid.

- > Bij grotere gebouwen met meer dan één brandweeringang of stijgpunt op voorhand aangeven welke brandweeringang de brandweer moet gebruiken om zo snel mogelijk de brand te bereiken.
- > Doorgeven van belangrijke informatie afkomstig van bijvoorbeeld sensoren die aanwezig zijn in het gebouw. Zo kan de brandweer op basis van temperatuursensoren de locatie en de omvang van de brand inschatten.
- > Real-time objectinformatie met bijvoorbeeld de status van de aanwezige brandveiligheidsvoorzieningen in het gebouw doorgeven.
- > Informatie geven over de bereikbaarheid en mogelijkheid tot toetreding van het brandcompartiment. Als dit is afgesloten, kan de brandweer daar rekening mee houden tijdens de voorbereiding. Zo kan zij dan meteen specialistisch gereedschap meenemen.

Hiervoor is informatie-uitwisseling tussen de systemen van de gebouwbeheerder of -bewoners, de meldkamer en het personeel op de TS nodig. Een inventarisatie voorafgaand aan de brand van de beschikbare informatie die tijdens de inzet van belang kan zijn, is noodzakelijk. Deze oplossingsrichting verkort de RST mogelijk met enkele minuten. De mogelijke verbetering van de betrouwbaarheid wordt in hoofdstuk 5 nader (kwantitatief) beschouwd.

4.1.2 Verhogen betrouwbaarheid (droge) blusleidingen en brandweerliften

De resultaten uit fase I van dit onderzoek laten zien dat in gebouwen hoger dan 20 meter en lager dan 70 meter de beperkte betrouwbaarheid van de droge blusleiding en brandweerlift de RST negatief beïnvloeden. Het verhogen van de betrouwbaarheid van deze voorzieningen leidt tot een kortere RST. De betrouwbaarheid kan verhoogd worden door:

- > De technische uitvoering betrouwbaarder te maken. Bijvoorbeeld door gebruik te maken van natte (op druk staande) in plaats van droge blusleidingen zoals ook in gebouwen hoger dan 70 meter het geval is. Een andere oplossingsrichting kan zijn de technische betrouwbaarheid van de systeemonderdelen te verhogen, bijvoorbeeld door extra voorzieningen te treffen in en rondom de schacht van een brandweerlift om uitval van de lift te voorkomen.
- > De installaties redundant uit te voeren. Dit betekent dat een tweede, technisch onafhankelijke blusleiding of brandweerlift wordt gerealiseerd. Uit de resultaten van de RST boven de 70 meter blijkt dat dit de betrouwbaarheid verhoogt.
- > De kwaliteit van het onderhoud en toezicht op de installaties te verhogen. Hierdoor kunnen tekortkomingen aan de installaties worden voorkomen of vroegtijdig worden gesignaleerd.

Van de bovengenoemde mogelijkheden heeft het redundant uitvoeren de grootste positieve verwachte invloed op de betrouwbaarheid. Dit blijkt uit de resultaten van fase I van dit onderzoek. Het verhogen van de technische betrouwbaarheid van de systemen en de kwaliteit van het onderhoud en toezicht op de installaties hebben de kleinste verwachte positieve invloed. Het toepassen van een natte blusleiding ligt wat betreft de verwachte positieve invloed op de betrouwbaarheid tussen de twee andere mogelijkheden in. Deze oplossingsrichting verkort de RST mogelijk met enkele minuten. De mogelijke verbetering van de betrouwbaarheid wordt in hoofdstuk 5 nader (kwantitatief) beschouwd.

4.1.3 Brandmeldinstallatie met volledige bewaking

Momenteel is in woningen geen brandmeldinstallatie met een volledige bewakingsomvang vereist. In gebouwen lager dan 70 meter zijn alleen (stand-alone) rookmelders vereist in de verkeersruimten van woningen. In gebouwen hoger dan 70 meter is daarnaast ook een

brandmeldinstallatie met detectie in de gezamenlijke verkeersruimten verplicht. Ook de aanwezige sprinklerinstallatie detecteert brand in gebouwen hoger dan 70 meter. Door het ontbreken van detectie in verblijfsruimtes is de kans aanwezig dat een brand aldaar pas in een laat stadium van het brandverloop wordt gesignaleerd. Dit blijkt ook uit de aangenomen kansverdelingen voor signaleringstijd zoals gehanteerd in fase I. Het uitbreiden van de rookmelderplicht naar een volledige brandmeldinstallatie met doormelding zal de signaleringstijd verkorten en de spreiding daarin beperken.

Of een rookmelder goed functioneert of blijft functioneren, is afhankelijk van onder meer gebruikersinvloeden en adequaat onderhoud en beheer. Het effect van een brandmeldinstallatie die in alle woningen brand kan detecteren wordt nader geanalyseerd in hoofdstuk 5 van dit rapport.

Ontruimen van woongebouwen

Ontruiming van woongebouwen valt buiten de kaders van dit onderzoek. Het combineren van een brandmeldinstallatie met een ontruimingsinstallatie kan de belasting van de brandweer tijdens een inzet verminderen. De ontruimingsinstallatie alarmeert gebouwbewoners, waardoor zij tijdig kunnen starten met vluchten.

4.1.4 Andere oplossingsrichtingen

Andere oplossingsrichtingen die de RST kunnen verkorten, zijn de acties tijdens het operationele brandweeroptreden zelf. Daarbij kan worden gedacht aan:

- > Moderne hulpmiddelen zoals drones en robots inzetten.
- > Opzetten van gespecialiseerde brandweerteams gericht op brandbestrijding in hogere gebouwen.
- > In lijn met het vorige punt: opleiding en oefening van de brandweer meer richten op hogere gebouwen.

Omdat dit onderzoek zich met name richt op aanpassingen die gedaan kunnen worden aan gebouwen met als doel de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet te verhogen, worden deze oplossingsrichtingen hier niet nader beschouwd.

4.2 Verlengen van de AST

Het verlengen van de beschikbare veilige tijd (AST) voor brandweerinzet betekent dat de brandweer langer de tijd heeft om de brandweerinzet uit te voeren. Het verlengen van de AST zorgt voor een hogere betrouwbaarheid van zowel de brandscheidingen en draagconstructies, als van persoonlijke veiligheid. Hieronder worden de volgende oplossingsrichtingen beschouwd:

- > Het verhogen van brandwerendheidseisen
- > Het toepassen van of het verhogen van de betrouwbaarheid van een automatische brandbestrijdingsinstallatie
- > Het toepassen van een overdrukinstallatie in de sluis of in het trappenhuis
- > Het toepassen van een rook- en warmteafvoerinstallatie in de corridor.

4.2.1 Verhogen brandwerendheidseisen

Het verhogen van de brandwerendheidseisen heeft gevolgen voor de betrouwbaarheid van draagconstructies en brandscheidingen. Een hogere brandwerendheid resulteert in een hogere betrouwbaarheid.

Uit paragraaf 2.2.1 blijkt dat de betrouwbaarheid van draagconstructies in alle gevallen hoger is dan de acceptabele betrouwbaarheid. Het verhogen van de brandwerendheid van de draagconstructie wordt daarom niet nader beschouwd.

In gebouwen hoger dan 20 meter en lager dan 70 meter is met name de berekende betrouwbaarheid van de brandscheiding tussen de woning en de extra beschermde vluchtroute lager dan de acceptabele betrouwbaarheid. De betrouwbaarheid van de brandscheidingen tussen woningen is ook lager dan de acceptabele betrouwbaarheid.

Om te bepalen welke brandwerendheid nodig is om tot de acceptabele betrouwbaarheid te komen, is geen nieuwe beoordeling noodzakelijk. De betrouwbaarheid kan worden afgeleid uit de bestaande resultaten. Om te komen tot een situatie waarin brandscheidingen voldoende betrouwbaar zijn, kunnen de volgende brandwerendheden worden aangepast, zie tabel 4.1. De toename in betrouwbaarheid is beschouwd in hoofdstuk 5.

Tabel 4.1 Vereiste brandwerendheden en voorstel voor aangepaste brandwerendheden

Brandscheidingen woning-extra beschermde vluchtroute		
	Vereiste brandwerendheid [min.]	Aangepaste brandwerendheid [min.]
Gebouwhoogte 20-50 meter	30	60
Gebouwhoogte 50-70 meter	30	90
Gebouwhoogte 200+meter*	30	60

Brandscheidingen woning-woning		
	Vereiste brandwerendheid [min.]	Aangepaste brandwerendheid [min.]
Gebouwhoogte 20-70 meter	60	90
Gebouwhoogte 200+meter*	30	60

* de verhoogde brandwerendheid komt boven op de aanwezige sprinklerinstallatie.

4.2.2 Sprinklerinstallatie

Uit de rekenresultaten van zowel fase II als in de hoofdstukken 2 en 3 van dit rapport blijkt dat een sprinklerinstallatie de betrouwbaarheid van zowel draagconstructies, brandscheidingen als een veilige brandweerinzet verhoogt.

Gebouwhoogte 20-70 meter

Onder de 70 meter is het toepassen van een automatische blusinstallatie niet vereist. In plaats van het verhogen van de brandwerendheden kan het toepassen van een dergelijke installatie tussen de 20 en 70 meter de betrouwbaarheid van draagconstructies, brandscheidingen en een veilige brandweerinzet verhogen tot de gewenste betrouwbaarheid.

De toename van de betrouwbaarheid als gevolg van de automatische brandbestrijdingsinstallatie in gebouwen hoger dan 20 en lager dan 70 meter wordt in hoofdstuk 5 nader (kwantitatief) beschouwd.

Brandbestrijdingsinstallatie inwisselbaar met andere brandveiligheidsvoorzieningen

In paragraaf 4.2.1 is beschreven dat het verhogen van de brandwerendheidseisen van brandscheidingen een mogelijke oplossingsrichting is. Het toepassen van een sprinklerinstallatie kan ervoor zorgen dat die verhoging niet of in mindere mate noodzakelijk is om te voldoen aan de acceptabele betrouwbaarheid. Dit wordt nader beschouwd in hoofdstuk 5.

Gebouwen hoger dan 200 meter

In gebouwen hoger dan 200 meter kan de betrouwbaarheid van automatische brandbestrijdingsinstallaties worden verhoogd door bijvoorbeeld het toepassen van een tweede pompset, omloopleidingen bij de hoofdafsluiters en elektronische standbewaking op afsluiters. Dit verhoogt de betrouwbaarheid van zowel draagconstructies, brandscheidingen als een veilige brandweerinzet.

4.2.3 Overdrukinstallatie

Een overdrukinstallatie kan worden gebruikt om de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet in de sluis of het trappenhuis te verhogen. Deze betrouwbaarheid is echter al hoog, ook zonder overdrukinstallatie. Daarom wordt het gebruik van een overdrukinstallatie in gebouwen hoger dan 20 meter en lager dan 70 meter niet verder bekeken.

Andere brandveiligheidsaspecten

Als bijvoorbeeld de persoonlijke veiligheid van bewoners wordt beoordeeld, kan mogelijk een andere conclusie worden getrokken.

4.2.4 Rook- en warmteafvoer in corridor

Door (warme) rook af te voeren uit de corridor kan de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet worden vergroot. Dit principe wordt in andere landen zoals het Verenigd Koninkrijk (HM Government, 2025) toegepast om de vluchtveiligheid en mogelijkheden voor de brandweerinzet te vergroten in woongebouwen met inpandige corridors. In dit onderzoek is deze oplossingsrichting bekeken voor gebouwen hoger dan 20 meter en lager dan 70 meter en in gebouwen hoger dan 200 meter.

Dergelijke systemen kunnen zowel functioneren op basis van natuurlijke als van mechanische ventilatie. Het actief afvoeren van rook uit vlucht- en aanvalsroutes heeft een lagere temperatuur in de ruimten van deze routes tot gevolg. Dit betekent dat gedurende langere tijd een veilige brandweerinzet mogelijk is.

Andere brandveiligheidsaspecten

Ook de rookdichtheid en concentratie toxische gassen in de gemeenschappelijk corridor neemt af door toepassing van deze installatie, waardoor ook de vluchtveiligheid van bewoners wordt vergroot.

Rook- en warmteafvoersystemen in de corridor zijn echter technisch complex, waardoor de betrouwbaarheid mogelijk lager kan zijn dan van voorzieningen zoals zelfsluitende deuren en een sprinklerinstallatie. Ook zijn bouwkundige schachten nodig voor de af- en toevoer van lucht, die moeten worden ingepast in de plattegrond.

Onderlinge beïnvloeding rook- en warmteafvoerinstallatie en overdrukinstallatie

Een rook- en warmteafvoerinstallatie in de corridor en een overdrukinstallatie in de sluis of het trapenhuis kunnen elkaar onderling beïnvloeden, waardoor de effectiviteit van de systemen afneemt.

De toename van de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet door toepassing van een rook- en warmteafvoersysteem in de corridor wordt in hoofdstuk 5 nader (indicatief) beschouwd. Daarbij wordt stilgestaan bij de gevolgen voor de betrouwbaarheid voor gebouwen hoger dan 20 meter en lager dan 70 meter.

4.3 Overzicht oplossingsrichtingen

In de onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de oplossingsrichtingen. Per oplossingsrichting is aangegeven bij welke hoogte deze van toepassing is. Daarnaast is aangegeven welke oplossingsrichtingen nader worden bekeken in hoofdstuk 5.

Oplossingsrichtingen	Hoogte [m]	
	20-70 m	200+ m
<i>RST</i>		
Informatievoorziening verbeteren	x	x
Verhogen betrouwbaarheid installaties	x	--
Brandmeldinstallatie met volledige bewakingsomvang	x	x
<i>AST</i>		
Verhogen brandwerendheidseisen	x	x
Brandbestrijdingsinstallatie	x	x
Rookafvoer in corridor	x	x

* De brandwerendheid die noodzakelijk is om invulling te kunnen geven aan de acceptabele betrouwbaarheid is bepaald in dit hoofdstuk, zie paragraaf 4.2.1. De verhoging van de berekende betrouwbaarheid in relatie tot de acceptabele betrouwbaarheid is nader bepaald in hoofdstuk 5.

5 Kwantitatieve waardering oplossingsrichtingen

In dit hoofdstuk wordt de verhoging van de betrouwbaarheid als gevolg van verschillende oplossingsrichtingen gekwantificeerd. De verhoging is bepaald voor de betrouwbaarheid van de draagconstructie en brandscheidingen en voor de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet.

5.1 Methodologie

Om de verhoging van de betrouwbaarheid door de oplossingsrichtingen te bepalen, zijn nieuwe Monte-Carlo-simulaties uitgevoerd. Afhankelijk van de oplossingsrichting is de beschikbare of benodigde veilige tijd (AST of RST) opnieuw bepaald op basis van aangepaste variabelen. Deze aangepaste variabelen worden beschreven in paragraaf 5.1.1.

Om de hoeveelheid werk te beperken, wordt in dit hoofdstuk de verhoging van de betrouwbaarheid alleen beoordeeld voor een accumulerende omhulling. Verwacht wordt dat de gevolgen voor een isolerende omhulling grofweg dezelfde trend zullen volgen en van dezelfde orde-van-grootte zullen zijn. Voor de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet zijn de resultaten beperkt tot de brandruimte en de corridor. De rekenresultaten in de sluis volgen de resultaten van de corridor. In het trappenhuis is geen verbetering van de betrouwbaarheid nodig, omdat de berekende betrouwbaarheid altijd minimaal hoger is dan de acceptabele betrouwbaarheid.

5.1.1 Variabelen

De variabelen die zijn gebruikt bij de bepaling van de verhoging van de betrouwbaarheid zijn weergegeven in Tabel 5.1 op de volgende pagina. Een onderbouwing van de gebruikte variabelen is opgenomen in de bijlage.

Tabel 5.1 gebruikte variabelen voor oplossingsrichtingen

#	Oplossingsrichting	Gebouw-hoogte [m]	Onderdeel AST/RST	Initieel uitgangspunt	Aangepast uitgangspunt	Opmerking
1	Informatievoorziening verbeteren	20-70 200+	RST: werkzaamheden bij aankomst	$\alpha = 1.05-1.75$ $\beta = 3$ vs = 1.5-4	$\alpha = 1.05-1.35$ $\beta = 3$ vs = 1.5	vs=verschuiving van de curve naar rechts
			RST: handelingen op brandverdieping	$\alpha = 2$ $\beta = 4$	$\alpha = 1.5$ $\beta = 3$	-
2	Verhoging betrouwbaarheid droge blusleiding	20-70	RST: betrouwbaarheid blusleiding	$p_{succes} = 0.85-0.8$	$p_{succes} = 0.985-0.98$	Variabelen natte blusleiding gebruikt
3	Brandmeldinstallatie met volledige bewakingsomvang	20-70 200+	RST: signaleringstijd	20-70 meter: $\alpha = 2.5$ $\beta = 120$ 400+ meter: $\alpha = 172$ $\beta = 40$	20-70 meter en 200+ meter: $\alpha = 2$ $\beta = 50$	--
4	Verhogen brandwerendheidseisen	20-70 200+	AST: brandwerendheden vergelijking equivalente brandduur	--	--	Zie paragraaf 4.2.1.
5	Sprinklerinstallatie	20-70	AST: aanwezigheid sprinklerinstallatie	20-70: Geen sprinkler aanwezig	20-70: Sprinkler aanwezig	Betrouwbaarheid conform fase II
6	Sprinklerinstallatie met verhoogde betrouwbaarheid	200+	AST: betrouwbaarheid sprinklerinstallatie	$p_{succes} = 0,88-0,96$	$p_{succes} = 0,96-0,99$	--
7	Rook- en warmteafvoer in corridor	20-70 200+	AST: niet aanwezig in initiële berekeningen	n.v.t.	$p_{succes} = 0,7$	Ventilatievoud = 5 / uur

Toelichting bij statistische parameters

In de bovenstaande tabel zijn de volgende parameters weergegeven:

- > α vormparameter van de gamma-verdeling
- > β schaalparameter van de gamma-verdeling
- > p_{succes} discrete kans op correct functioneren van de voorziening.

5.2 Rekenresultaten

In de volgende paragrafen worden de rekenresultaten van de verschillende oplossingsrichtingen beschreven weergegeven. Opvallende rekenresultaten zijn kort behandeld.

5.2.1 Betrouwbaarheid van brandscheidingen

In Tabel 5.2 zijn de rekenresultaten weergegeven voor de oplossingsrichtingen die de betrouwbaarheid van brandscheidingen beïnvloeden. Daarbij zijn ook de rekenresultaten uit hoofdstuk 2 ('basis') en de bijbehorende acceptabele betrouwbaarheid B_{acc} weergegeven. Resultaten voor de betrouwbaarheid in gebouwen hoger dan 20 meter (de referentie) zijn vergeleken met de acceptabele betrouwbaarheid B_{acc} [%]. Rode en groene cijfers geven respectievelijk onvoldoende of voldoende acceptabele betrouwbaarheid aan.

Tabel 5.2 Gevolgen van oplossingsrichtingen voor betrouwbaarheid van brandscheidingen

Basis en acceptabele betrouwbaarheid [%]					Oplossingsrichtingen (zie Tabel 5.1 voor nummering)											
					1		2		3		4		5		6	
a)*		b)*			a)*	b)*	a)*	b)*	a)*	b)*	a)*	b)*	a)*	b)*	a)*	b)*
Hoogte [m]	B [%]	B _{acc} [%]	B [%]	B _{acc} [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]
3	99,7	n.v.t.	85,7	n.v.t.	99,9	93,1	99,6	85,3	99,9	92	99,7	85,7	100	99,6	99,7	86,4
9	99,7	n.v.t.	85,2	n.v.t.	99,9	92,6	99,6	84,4	99,8	91	99,7	85,2	100	99,5	99,7	85,5
18 (ref)	99,7	n.v.t.	83	n.v.t.	99,9	91,7	99,6	82,4	99,9	90,8	99,7	83	100	99,6	99,6	83,2
21	99,6	99,9	80,6	84,6	99,9	89,5	99,4	80,4	99,8	89	> 99,9	99,6	100	99,5	99,6	80,6
45	99,4	99,9	77,3	94,5	99,8	87,2	99,5	80	99,8	86,5	> 99,9	99,4	100	99,3	99,4	78
69	99,3	99,9	71,6	99,9	99,6	80,1	99,5	77,9	99,6	80,9	> 99,9	> 99,9	100	99,1	99,2	71,1
72	99,4	99,9	99,4	99,9	99,8	99,8	99,4	99,4	99,5	99,5	99,4	99,4	99,4	99,4	99,6	99,6
138	99,2	99,9	99,2	99,9	99,8	99,8	99,2	99,2	99,2	99,2	99,2	99,2	99,1	99,1	99,6	99,6
201	98,8	99,9	98,8	99,9	99,6	99,6	99	99	98,9	98,9	> 99,9	> 99,9	99	99	99,4	99,4
300	98,2	99,9	98,2	99,9	99,5	99,5	98,2	98,2	98,4	98,4	> 99,9	> 99,9	98,3	98,3	99,4	99,4
399	97	99,9	97	99,9	99,2	99,2	97,1	97,1	97,6	97,6	> 99,9	> 99,9	97,3	97,3	99	99

* a) brandscheiding woning-woning, b) brandscheiding woning-vluchtroute. Oplossingsrichting 7 heeft geen gevolgen voor de betrouwbaarheid van brandscheidingen.

Aan de rekenresultaten valt het volgende op:

- > *Oplossingsrichting 1: verbeterde informatievoorziening brandweer* (Figuur 5.1):
Een verbeterde informatievoorziening van de brandweer verhoogt de betrouwbaarheid over alle gebouwhoogtes met enkele procenten. Alleen in lage gebouwen (tot 24 meter voor brandscheidingen tussen woningen en tot 30 meter voor de brandscheiding tussen woning en vluchtroute) is die verhoging voldoende in het kader van de acceptabele betrouwbaarheid.
- > *Oplossingsrichting 2: verhoogde betrouwbaarheid blusleiding 20-70 meter* (Figuur 5.2)
Het verhogen van de betrouwbaarheid van de droge blusleiding resulteert in gebouwen met een hoogte 20-70 meter in een toename van de betrouwbaarheid van brandscheidingen. De winst in betrouwbaarheid ten opzichte van de basis is in een hoger gebouw groter dan in een lager gebouw. Dit laat zien dat de betrouwbaarheid van die blusleiding in toenemende mate belangrijk is in hogere gebouwen. De verhoging is echter onvoldoende om invulling te geven aan de acceptabele betrouwbaarheid.
- > *Oplossingsrichting 3: brandmeldinstallatie met volledige bewakingsomvang* (Figuur 5.3):
Het toepassen van een brandmeldinstallatie met een volledige bewakingsomvang (en doormelding) resulteert in een consequente verhoging van de betrouwbaarheid van brandscheidingen (ongeveer 0,1-10 %) in gebouwen tussen 20 en 70 meter hoog. In hogere gebouwen (meer dan 70 meter) is het verschil minimaal. Daar is een sprinklerinstallatie aanwezig die de brand ook signaleert en doormeldt. De snellere detectietijd van een optische rookmelder in vergelijking met een sprinklerkop (thermische detectie) zorgt slechts voor nuanceverschillen.
- > *Oplossingsrichting 4: verhoogde brandwerendheden* (Figuur 5.4):
Van alle oplossingsrichtingen is het verhogen van de brandwerendheid van de brandscheidingen (oplossingsrichting 4) als enige in staat om voor alle gebouwhoogten consequent een hogere betrouwbaarheid te realiseren dan de acceptabele betrouwbaarheid.
 - In gebouwen hoger dan 70 en lager dan 200 meter is de betrouwbaarheid lager dan de acceptabele betrouwbaarheid. Hier is een verhoging van de brandwerendheid naar 60 minuten noodzakelijk om een voldoende mate van betrouwbaarheid te halen.
- > *Oplossingsrichting 5: sprinklerinstallatie in gebouwen 20-70 meter* (Figuur 5.5):
Het toepassen van een automatische sprinklerinstallatie in gebouwen tussen 20 en 70 meter zorgt in die gebouwen voor een toename van de betrouwbaarheid van brandscheidingen (een toename van maximaal 20 %) tot aan minimaal de acceptabele betrouwbaarheid B_{acc} [%]. Alleen in het geval van de brandscheiding tussen de woning en de vluchtroute is de berekende betrouwbaarheid lager dan de acceptabele betrouwbaarheid vanaf een gebouwhoogte van ongeveer 66 meter. Vanaf dat punt zou een verhoogde betrouwbaarheid nodig (60 minuten in plaats van 30 minuten) zijn om invulling te geven aan de acceptabele betrouwbaarheid
- > *Oplossingsrichting 6: verhoogde betrouwbaarheid sprinkler >200 meter* (Figuur 5.6):
Het verhogen van de betrouwbaarheid van de sprinklerinstallatie in gebouwen hoger dan 200 meter verhoogt de betrouwbaarheid van brandscheidingen met maximaal ongeveer 2 %. Die verhoging is beperkt vanwege de hoge aangenomen betrouwbaarheid van de sprinklerinstallatie (90 %-99 %). Deze oplossingsrichting levert onvoldoende betrouwbaarheidswinst om invulling te geven aan de acceptabele betrouwbaarheid. Let op: in Figuur 5.6 zijn ook de gevolgen voor een hogere betrouwbaarheid van de sprinklerinstallatie in gebouwen van 70 tot 200 meter weergegeven.

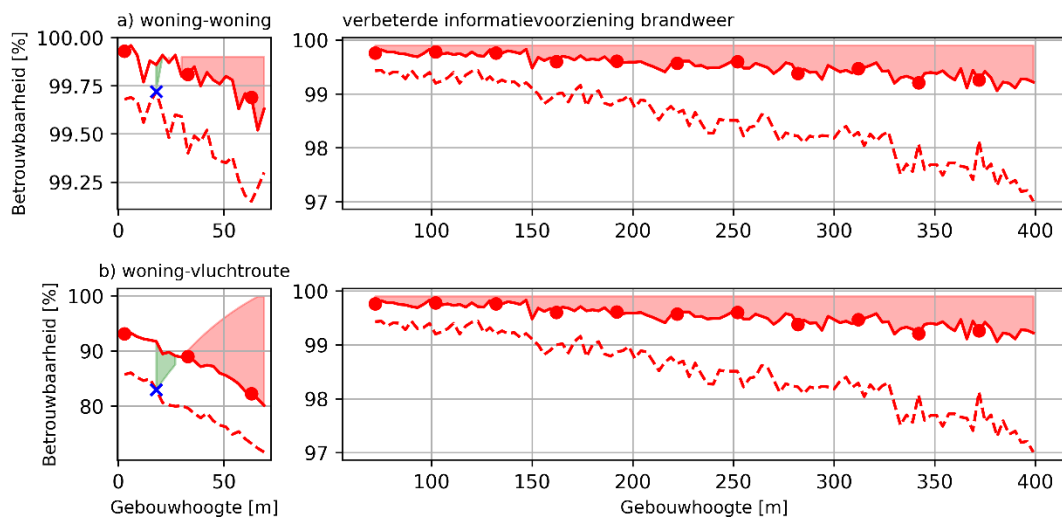
Gedetailleerde rekenresultaten in grafiekvorm

In Figuur 5.1 tot en met Figuur 5.6 zijn gedetailleerde rekenresultaten weergegeven.

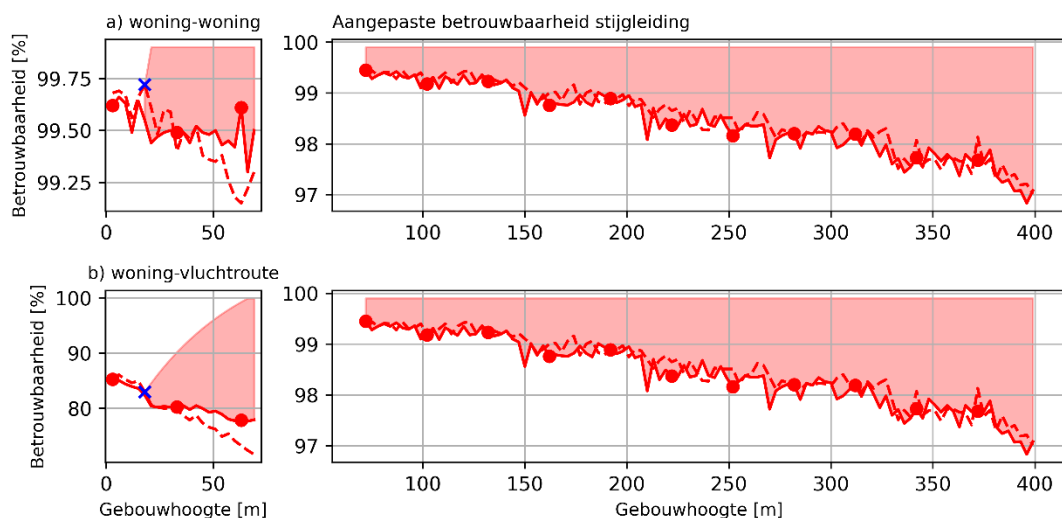
Leeswijzer bij grafieken

In alle grafieken zijn de gebieden 0-70 meter en ≥ 70 meter apart weergegeven. De rode doorgetrokken lijnen geven de berekende betrouwbaarheid voor de oplossingsrichting weer. De gestippelde lijnen zijn de resultaten van de basis, zoals gepresenteerd in paragraaf 2.1.2. Gearceerde vlakken geven het verschil weer tussen de rekenresultaten en de acceptabele betrouwbaarheid B_{acc} . Een groen vlak betekent dat de berekende betrouwbaarheid van de oplossingsrichting hoger is dan de acceptabele betrouwbaarheid; een rood vlak betekent dat de berekende betrouwbaarheid lager is dan de acceptabele betrouwbaarheid. Het blauwe kruisje op een gebouwhoogte van 18 meter betreft de referentie.

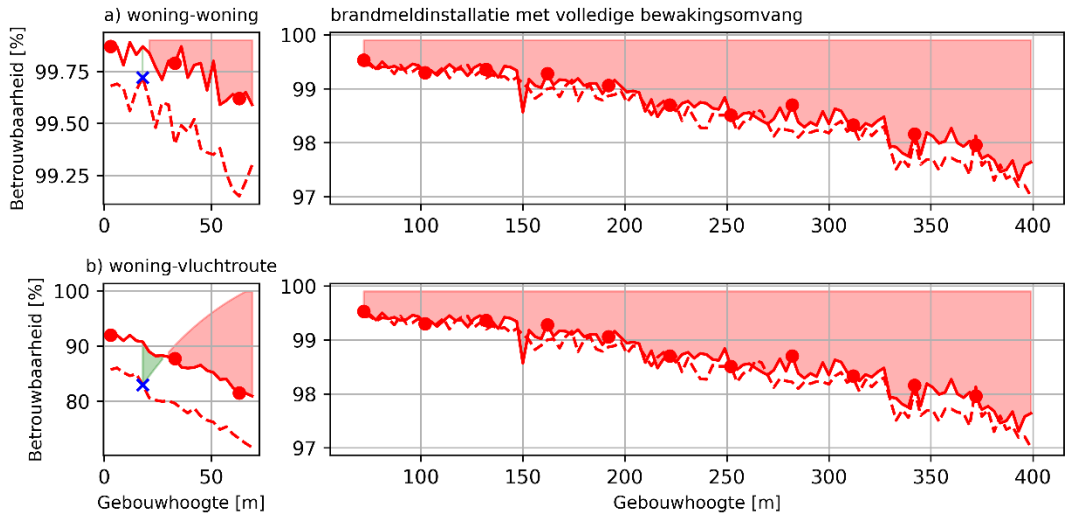
Ook als de oplossingsrichting alleen bedoeld is voor specifieke gebouwhoogtes (zoals gebouwen 20-70 meter hoog), zijn de rekenresultaten voor andere gebouwhoogtes getoond.



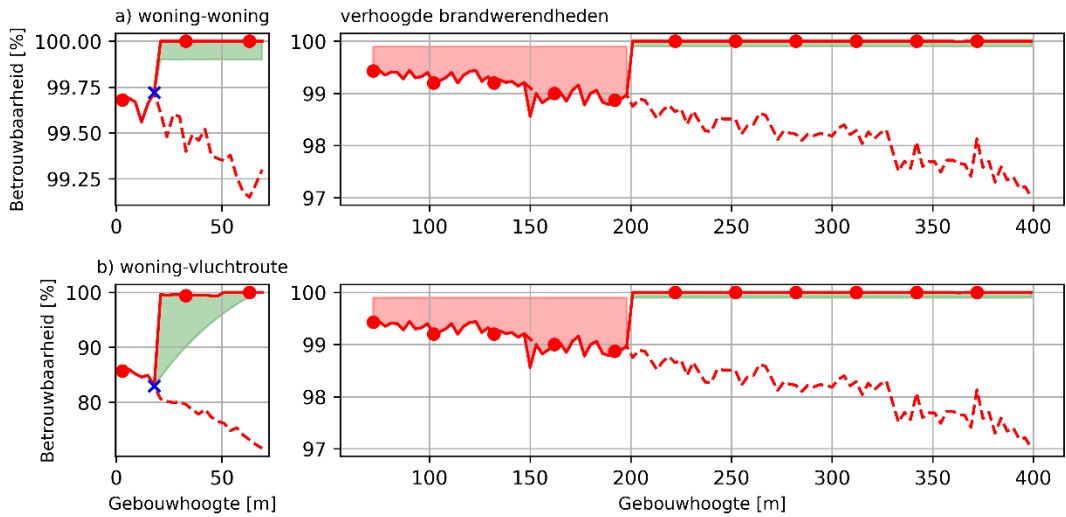
Figuur 5.1 Rekenresultaten voor oplossingsrichting 1: verbeterde informatievoorziening brandweer



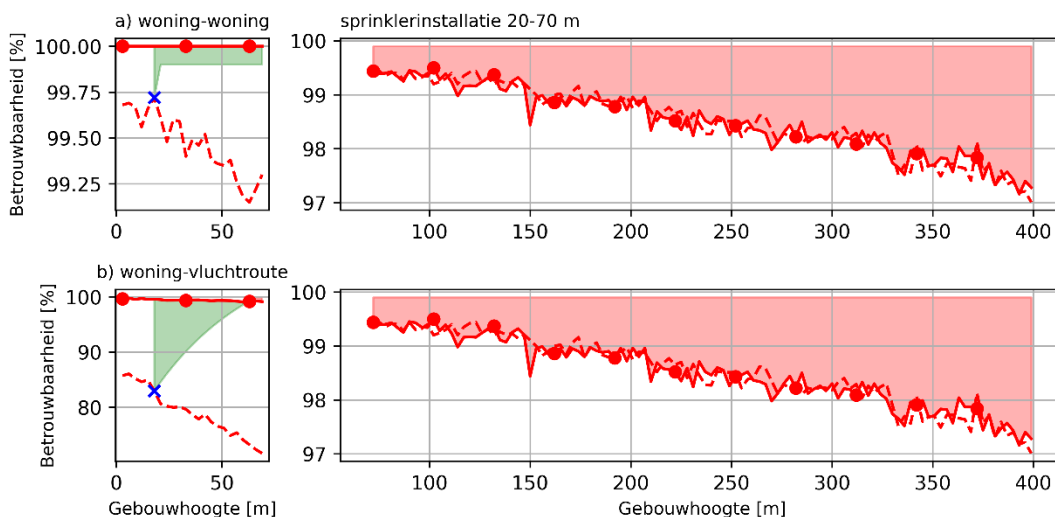
Figuur 5.2 Rekenresultaten voor oplossingsrichting 2: verhoging betrouwbaarheid droge blusleiding



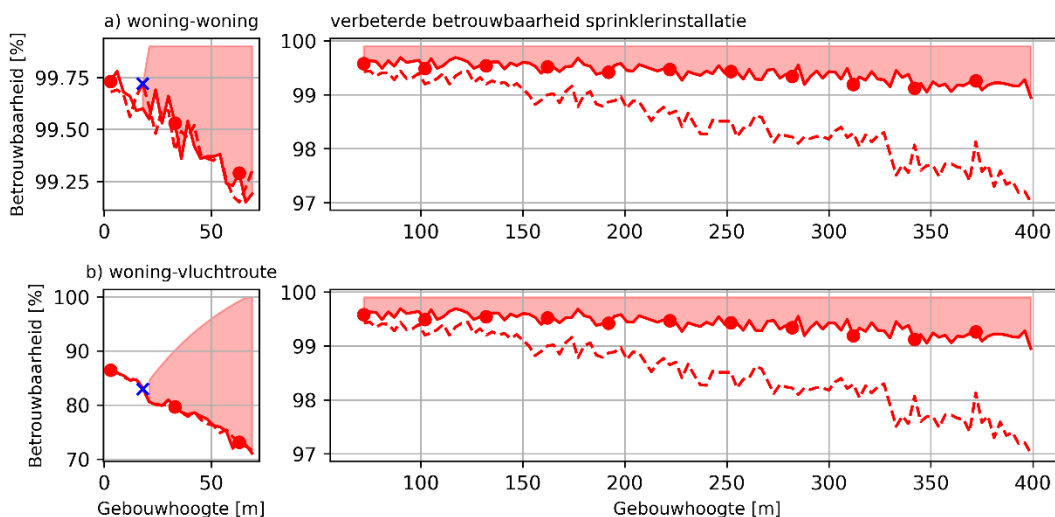
Figuur 5.3 Rekenresultaten voor oplossingsrichting 3: brandmeldinstallatie met volledige bewakingsomvang



Figuur 5.4 Rekenresultaten voor oplossingsrichting 4: brandwerendheden als weergegeven in Tabel 4.1



Figuur 5.5 Rekenresultaten voor oplossingsrichting 5: sprinklerinstallatie in gebouwen 20-70 meter hoog



Figuur 5.6 Rekenresultaten voor oplossingsrichting 6: met een verbeterde betrouwbaarheid van een sprinklerinstallatie in gebouwen 70-400 meter hoog

5.2.2 Betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet

In Tabel 5.3 en Tabel 5.4 zijn de rekenresultaten weergegeven voor de oplossingsrichtingen die de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet beïnvloeden. Daarbij zijn ook de rekenresultaten uit hoofdstuk 2 ('basis') en de bijbehorende acceptabele betrouwbaarheid B_{acc} weergegeven. Resultaten voor de betrouwbaarheid in gebouwen hoger dan 20 meter (de referentie) zijn vergeleken met de acceptabele betrouwbaarheid B_{acc} [%]. Rode en groene cijfers geven respectievelijk onvoldoende of voldoende acceptabele betrouwbaarheid aan.

Tabel 5.3 Gevolgen van oplossingsrichtingen voor de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet in de brandruimte

Basis en acceptabele betrouwbaarheid [%]					Oplossingsrichtingen (zie Tabel 5.1 voor nummering)											
					1		2		3		5		6		7	
					150 °C	260 °C	150 °C	260 °C	150 °C	260 °C	150 °C	260 °C	150 °C	260 °C	150 °C	260 °C
Hoogte [m]	B [%]	B _{acc} [%]	B [%]	B _{acc} [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]
3	6	n.v.t.	16	n.v.t.	8,9	22	6	16,3	10	22,9	6	16	6	16	6	16
9	5,5	n.v.t.	15,3	n.v.t.	8,2	20,9	5,5	15	8,7	21,3	5,5	15,3	5,5	15,3	5,5	15,3
18 (ref)	4,5	n.v.t.	13,5	n.v.t.	7,4	19,2	4,5	13,4	7,4	19,7	4,5	13,5	4,5	13,5	4,5	13,5
21	4,8	4,6	14,2	13,8	7,4	19,5	5,4	15,1	8	19,9	96,3	96,3	4,8	14,2	3,3	11,3
45	3,7	5,1	12,1	15,4	5,2	16,1	4,7	14	6,1	17,2	96,3	96,3	3,7	12,1	2,2	9,4
69	1,8	5,4	9	16,3	2,9	11,6	4	12,8	3,5	13,2	96,3	96,3	1,8	9	0,9	6,6
72	95,3	5,5	95,3	16,4	95,3	95,3	95,3	95,3	95,3	95,3	95,3	95,3	97	97	95,3	95,3
138	95,1	5,8	95,1	17,5	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	97	97	95,1	95,1
201	93,6	5,9	93,7	17,8	93,6	93,7	93,6	93,7	93,6	93,7	93,6	93,7	97	97	93,6	93,7
300	92,6	6	92,7	17,9	92,7	92,7	92,6	92,7	92,6	92,7	92,6	92,7	97	97	92,6	92,7
399	90,1	6	90,1	17,9	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	97	97	90,1	90,1

Oplossingsrichting 4 heeft geen gevolgen voor de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet.

Tabel 5.4 Gevolgen van oplossingsrichtingen voor de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet in de corridor

Basis en acceptabele betrouwbaarheid [%]					Oplossingsrichtingen (zie Tabel 5.1 voor nummering)											
					1		2		3		5		6		7	
					150 °C	260 °C	150 °C	260 °C	150 °C	260 °C	150 °C	260 °C	150 °C	260 °C	150 °C	260 °C
Hoogte [m]	B [%]	B _{acc} [%]	B [%]	B _{acc} [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]	B [%]
3	82,6	n.v.t.	98,3	n.v.t.	84,7	98,6	82,6	98,3	84,4	98,5	82,6	98,3	82,6	98,3	82,6	98,3
9	82,5	n.v.t.	98,2	n.v.t.	84,5	98,6	82,5	98,2	84,1	98,5	82,5	98,2	82,5	98,2	82,5	98,2
18 (ref)	82,2	n.v.t.	98,3	n.v.t.	84,2	98,6	82,2	98,2	83,9	98,5	82,2	98,3	82,2	98,3	82,2	98,3
21	82,6	83,8	>99,9	99,9	84,4	>99,9	82,6	>99,9	84,1	>99,9	99,3	>99,9	82,6	>99,9	82,4	99,1
45	82,2	93,6	>99,9	99,9	83,9	>99,9	82,4	>99,9	83,7	>99,9	99,3	>99,9	82,2	>99,9	81,9	99,1
69	81,7	99,6	>99,9	99,9	82,6	>99,9	82,2	>99,9	82,6	>99,9	99,3	>99,9	81,7	>99,9	81,3	99,1
72	99	99,9	>99,9	99,9	99	>99,9	99	>99,9	99	>99,9	99	>99,9	99,5	>99,9	99	>99,9
138	99	99,9	>99,9	99,9	99	>99,9	99	>99,9	99	>99,9	99	>99,9	99	>99,9	99	>99,9
201	98,7	99,9	>99,9	99,9	98,8	>99,9	98,7	>99,9	98,7	>99,9	98,7	>99,9	99,5	>99,9	98,7	>99,9
300	98,4	99,9	>99,9	99,9	98,5	>99,9	98,4	>99,9	98,4	>99,9	98,4	>99,9	99,5	>99,9	98,4	>99,9
399	97,7	99,9	>99,9	99,9	97,8	>99,9	97,7	>99,9	97,7	>99,9	97,7	>99,9	99,5	>99,9	97,7	>99,9

Oplossingsrichting 4 heeft geen gevolgen voor de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet.

Aan de rekenresultaten valt het volgende op:

- > *Oplossingsrichting 1: verbeterde informatievoorziening brandweer (Figuur 5.7)*
Het verbeteren van de informatievoorziening van de brandweer levert met name in gebouwen lager dan 70 meter een hogere betrouwbaarheid dan eerst berekend. Het gaat om een verhoging van ongeveer 2-3 %. Alleen in gebouwen tot ongeveer 48 meter verhoogt de oplossingsrichting in de brandruimte de betrouwbaarheid voldoende om invulling te geven aan de acceptabele betrouwbaarheid. In gebouwen hoger dan 70 meter is de verhoging beperkt tot tienden of honderden van procenten.
- > *Oplossingsrichting 2: verhoogde betrouwbaarheid blusleiding 20-70 meter (Figuur 5.8)*
De oplossingsrichting heeft alleen gevolgen voor gebouwen tussen 20 en 70 meter. Daar is de verhoging van de betrouwbaarheid in de brandruimte maximaal 2 %. In gebouwen tot 30 meter is de verhoging voldoende om invulling te geven aan de acceptabele betrouwbaarheid. In de corridor is de verhoging beperkt tot maximaal 1 %. Daar is de betrouwbaarheid als gevolg van de oplossingsrichting lager dan de acceptabele betrouwbaarheid.
- > *Oplossingsrichting 3: brandmeldinstallatie met volledige bewakingsomvang (Figuur 5.9)*
Een brandmeldinstallatie verhoogt in de brandruimte van gebouwen tot 70 meter hoog de betrouwbaarheid met ongeveer 2-4 %. Tot een gebouwhoogte van 60 meter is de betrouwbaarheid daar hoger dan de acceptabele betrouwbaarheid. In de corridor is de verhoging beperkt tot maximaal tienden van procenten. Daar is de betrouwbaarheid als gevolg van de oplossingsrichting lager dan de acceptabele betrouwbaarheid.
- > *Oplossingsrichting 5: sprinklerinstallatie in gebouwen 20-70 meter (Figuur 5.10)*
Een sprinklerinstallatie toepassen in gebouwen hoger dan 20 meter en lager dan 70 meter verhoogt de betrouwbaarheid in de brandruimte met ongeveer 85-95 %. De betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet is daar hoger dan de acceptabele betrouwbaarheid. In de corridor wordt de betrouwbaarheid verhoogd met ongeveer 17-18 %. Ook daar is de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet hoger dan de acceptabele betrouwbaarheid.
- > *Oplossingsrichting 6: verhoogde betrouwbaarheid sprinkler >200 meter (Figuur 5.11)*
Een verhoogde betrouwbaarheid van de sprinklerinstallatie in gebouwen hoger dan 200 meter resulteert in een verhoging van de betrouwbaarheid van ongeveer 1-2 % in de brandruimte en corridor. In de corridor is die verhoging onvoldoende om invulling te geven aan de acceptabele betrouwbaarheid.
- > *Oplossingsrichting 7: rook- en warmteafvoerinstallatie in corridor (Figuur 5.12)*
Een rwa-installatie realiseren in de corridor beïnvloedt de betrouwbaarheid niet positief, maar negatief. De installatie beïnvloedt de drukhiërarchie in de ruimten, waardoor er meer rook naar de corridor kan stromen. Bovendien kan het zijn dat er in bepaalde simulaties sprake is van een ondergeventileerde brand. In die gevallen zorgt de rwa-installatie voor extra zuurstof en daardoor voor extra verbranding, waardoor temperaturen stijgen en de AST korter wordt. Let op: in Figuur 5.12 is het effect van een rwa-installatie alleen inzichtelijk gemaakt voor gebouwen van 20 tot 70 meter. Voor gebouwen hoger dan 70 meter wordt dezelfde trend verwacht.

Andere brandveiligheidsdoelen en uitgangspunten

Als andere brandveiligheidsdoelen worden beschouwd (zoals persoonlijke veiligheid van gebouwgebruikers) of andere uitgangspunten (zoals lokale branden met een deur tussen woning en corridor die gesloten wordt), is de conclusie die hierboven getrokken wordt over de rwa-installatie in de corridor mogelijk anders.

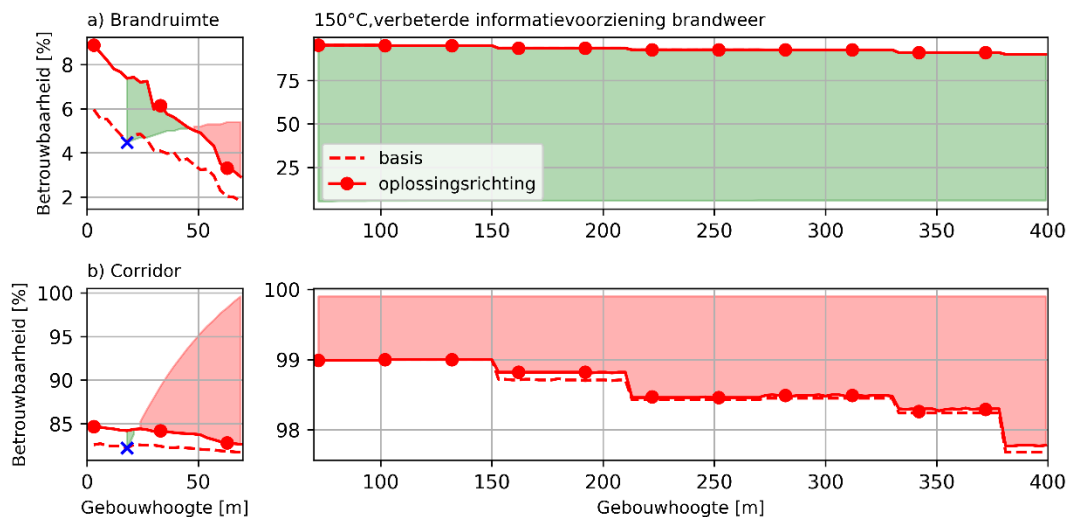
Gedetailleerde rekenresultaten in grafiekvorm

In Figuur 5.7 tot en met Figuur 5.12 zijn gedetailleerde rekenresultaten weergegeven. De getoonde resultaten zijn beperkt tot het laagste acceptatiecriterium (150 °C). In de brandruimte volgen de resultaten voor het hoogste acceptatiecriterium (260 °C) dezelfde trend als het laagste acceptatiecriterium. In de corridor zijn er voor het hoogste acceptatiecriterium geen aanpassingen nodig om de betrouwbaarheid te laten voldoen aan de acceptabele betrouwbaarheid B_{acc} .

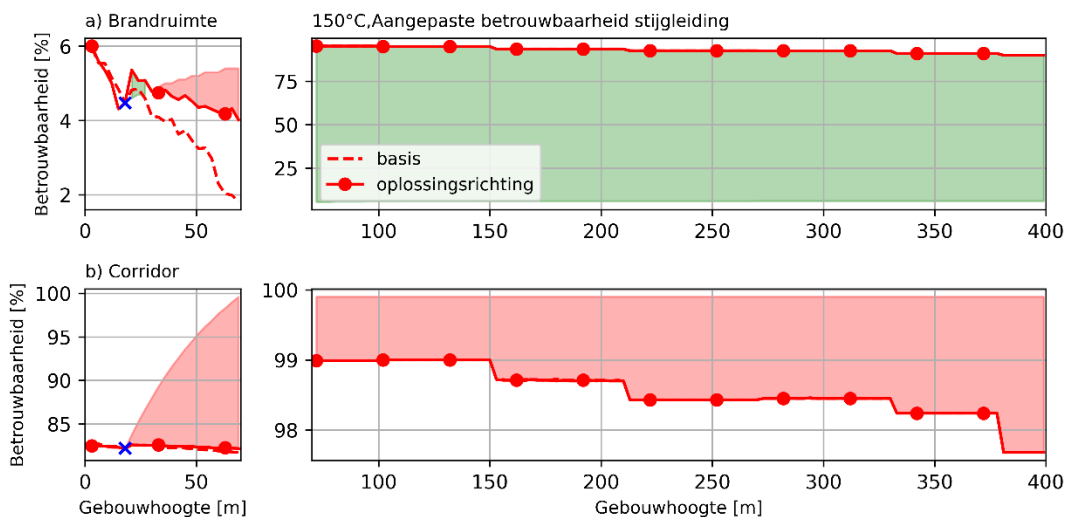
Leeswijzer bij grafieken

In alle grafieken zijn de gebieden 0-70 meter en 70+ meter apart weergegeven. De rode doorgetrokken lijnen geven de berekende betrouwbaarheid voor de oplossingsrichting weer. De gestippelde lijnen zijn de resultaten van de basis, zoals gepresenteerd in paragraaf 2.1.2. Gearceerde vlakken geven het verschil weer tussen de rekenresultaten en de acceptabele betrouwbaarheid B_{acc} . Een groen vlak betekent dat de berekende betrouwbaarheid van de oplossingsrichting hoger is dan de acceptabele betrouwbaarheid; een rood vlak betekent dat de berekende betrouwbaarheid lager is dan de acceptabele betrouwbaarheid. Het blauwe kruisje op een gebouwhoogte van 18 meter betreft de referentie.

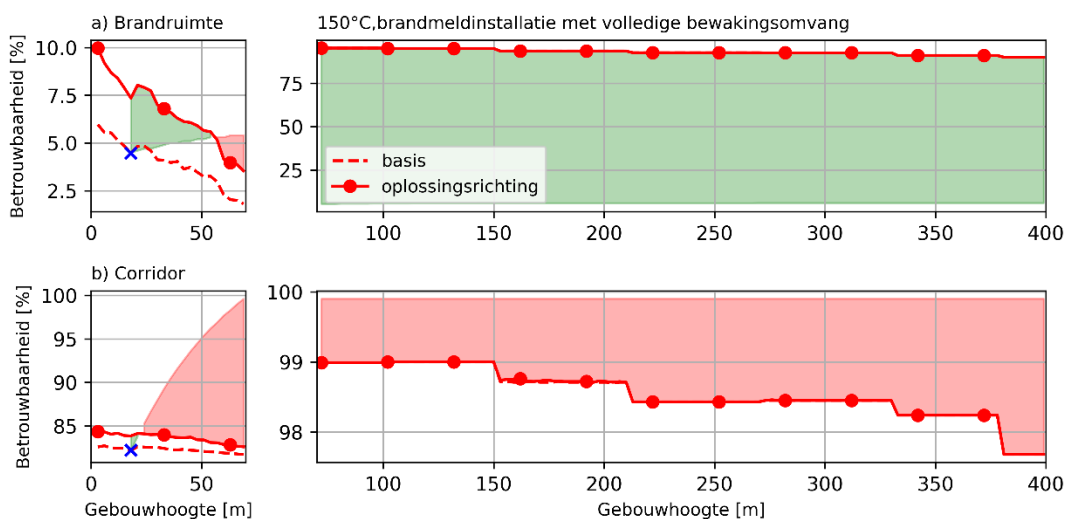
Ook als de oplossingsrichting alleen bedoeld is voor specifieke gebouwhoogtes (zoals gebouwen 20-70 meter hoog), zijn de rekenresultaten voor andere gebouwhoogtes getoond.



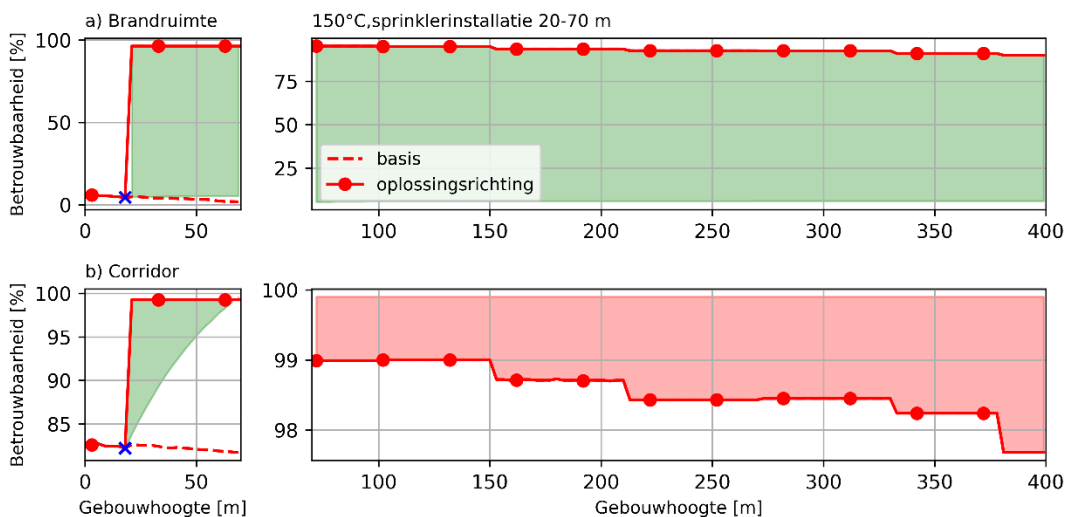
Figuur 5.7 Rekenresultaten voor oplossingsrichting 1: verbeterde informatievoorziening brandweer voor a) brandruimte en b) corridor



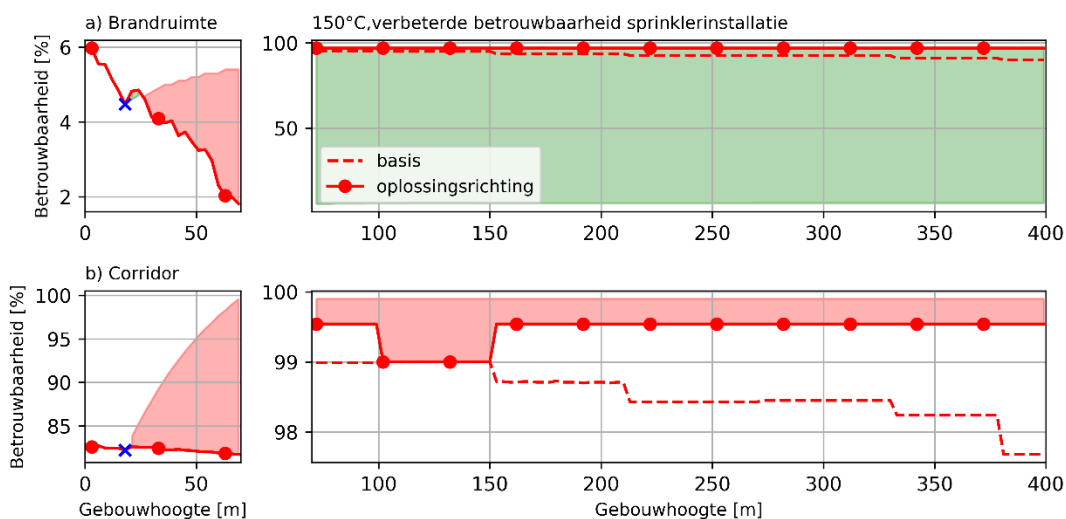
Figuur 5.8 Rekenresultaten voor oplossingsrichting 2: hogere betrouwbaarheid blusleiding voor a) brandruimte en b) corridor



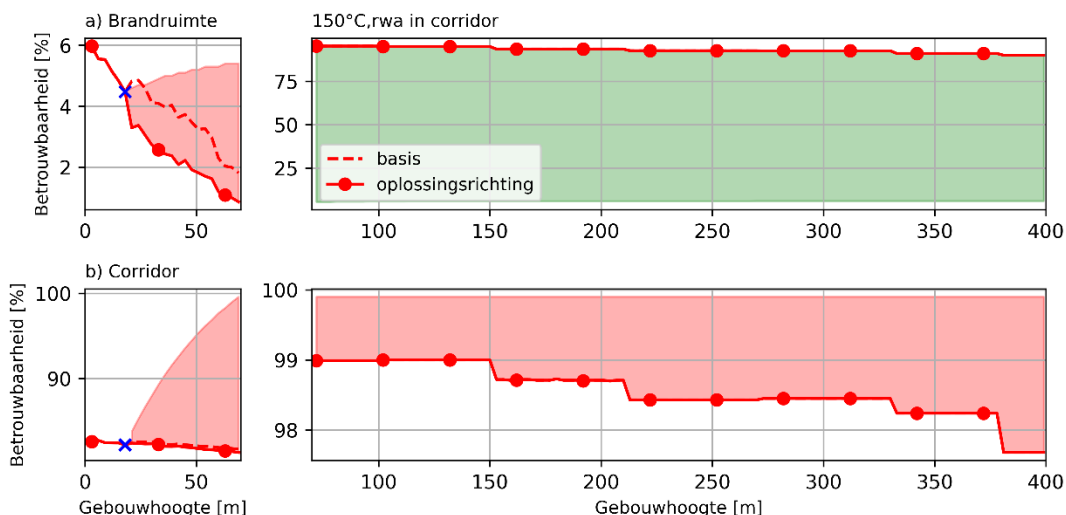
Figuur 5.9 Rekenresultaten voor oplossingsrichting 3: brandmeldinstallatie met volledige bewakingsomvang voor a) brandruimte en b) corridor



Figuur 5.10 Rekenresultaten voor oplossingsrichting 4: sprinklerinstallatie 20-70 meter voor a) brandruimte en b) corridor



Figuur 5.11 Rekenresultaten voor oplossingsrichting 5: verhoogde betrouwbaarheid sprinklerinstallatie voor a) brandruimte en b) corridor



Figuur 5.12 Rekenresultaten voor oplossingsrichting 7: rwa-installatie corridor voor a) brandruimte en b) corridor

5.3 Conclusie

In dit hoofdstuk zijn de gevolgen van verschillende oplossingsrichtingen beoordeeld. Daarbij is een onderscheid gemaakt tussen de betrouwbaarheid (of kans dan $AST \geq RST$) van brandscheidingen en een veilige brandweerinzet. Er is beoordeeld of de betrouwbaarheid kan worden verhoogd, zodat er invulling gegeven wordt aan de acceptabele betrouwbaarheid. Naar de betrouwbaarheid van de draagconstructie is verder niet gekeken, omdat deze zonder oplossingsrichtingen al voldoende betrouwbaar is in vergelijking met de acceptabele betrouwbaarheid.

Combinaties van oplossingsrichtingen

Het kan zijn dat ook combinaties kunnen leiden tot situaties die zorgen voor een acceptabele betrouwbaarheid. Verwacht wordt dat de betrouwbaarheid bij combineren van maatregelen verder toeneemt. Hoeveel die toename bedraagt, is niet onderzocht.

5.3.1 Betrouwbaarheid van brandscheidingen

Alle onderzochte oplossingsrichtingen verhogen de betrouwbaarheid van brandscheidingen. Er zijn echter maar twee oplossingen waarvan de verhoging zodanig is, dat de berekende betrouwbaarheid gelijk of hoger is dan de acceptabele betrouwbaarheid:

- > Het toepassen van een sprinklerinstallatie in gebouwen met een hoogte van 20-70 meter verhoogt de betrouwbaarheid in die gebouwen tot boven de acceptabele betrouwbaarheid.
- > Het verhogen van brandwerendheidseisen overeenkomstig Tabel 4.1 verhoogt de betrouwbaarheid in die gebouwen tot boven de acceptabele betrouwbaarheid.
- > Een combinatie van het bovenstaande is mogelijk:
 - In gebouwen met een hoogte van 20-70 meter kan de sprinklerinstallatie worden gebruikt om brandscheidingen voldoende betrouwbaar te maken. De brandwerendheid daarvan blijft gelijk en zoals nu is voorgeschreven.

- In gebouwen hoger dan 70 meter en meer specifiek in gebouwen hoger dan 200 meter kan de brandwerendheid worden verhoogd naar 60 minuten. Dit komt boven op de aanwezig veronderstelde sprinklerinstallatie.

5.3.2 Betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet

Vrijwel alle oplossingsrichtingen verhogen de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet in zowel de brandruimte als de corridor. Op basis van de rekenresultaten liggen de volgende oplossingsrichtingen het meest voor de hand:

- > Het toepassen van een sprinklerinstallatie in gebouwen met een hoogte tussen 20 en 70 meter resulteert in een verhoging van de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet. Die verhoging is voldoende om invulling te geven aan de acceptabele betrouwbaarheid in zowel de brandruimte als de corridor.
- > In gebouwen hoger dan 200 meter resulteert het verhogen van de betrouwbaarheid van de sprinklerinstallatie in een betrouwbaarheidsverhoging in de corridor. Hoewel die verhoging onvoldoende is om invulling te geven aan de acceptabele betrouwbaarheid, is de berekende betrouwbaarheid nog steeds hoog (>99 %). De kans dat langdurig veilig optreden niet mogelijk is in de corridor, is daarmee klein.

5.3.3 Overige conclusies op basis van de rekenresultaten

Op basis van de rekenresultaten valt ten slotte het volgende op:

- > De oplossingsrichting 1) 'verbeterde informatievoorziening brandweer' resulteert niet in een situatie waarin de betrouwbaarheid hoger is dan de acceptabele betrouwbaarheid. De verhoging van de betrouwbaarheid is echter in vergelijking met de overige oplossingsrichtingen groot. Zeker omdat voor de oplossingsrichting in moderne gebouwen weinig aanpassingen nodig zijn (het is vooral nodig om systemen te koppelen), is het betrouwbaarheidsrendement (de combinatie verhoging betrouwbaarheid-noodzakelijke kosten) waarschijnlijk hoog.
- > De rekenresultaten oplossingsrichting 2) 'hogere betrouwbaarheid blusleiding' laten zien dat de verhoging van de betrouwbaarheid toeneemt met toenemende gebouwhoogtes. Dit betekent dat het belang van werkende voorzieningen die de brandweerinzet in een gebouw ondersteunen in steeds belangrijker worden als het gebouw hoger wordt. Dit benadrukt de noodzaak om de betrouwbaarheid van de voorzieningen die de brandweerinzet in een gebouw ondersteunen zo hoog als praktisch mogelijk te houden.

6 Conclusie

In dit hoofdstuk worden de onderzoeksvragen uit fase 3 beantwoord.

6.1 De kans dat $AST \geq RST$

In deze paragraaf wordt de volgende deelvraag beantwoord:

*Wat is de kans dat de AST groter is dan de RST bij het huidige voorzieningenniveau in hoge gebouwen?*⁸

Er is een onderscheid gemaakt tussen de kans dat de $AST \geq RST$ betrokken op draagconstructies en brandscheidingen, en de kans dat de $AST \geq RST$ betrokken op een veilige brandweerinzet (de persoonlijke veiligheid van brandweerpersoneel). De kans dat $AST \geq RST$ wordt hier de betrouwbaarheid genoemd. Er is tevens beoordeeld hoe de betrouwbaarheid zich verhoudt tot een acceptabele betrouwbaarheid, die bepaald is op basis van een referentie. Die referentie betreft een gebouw van 18 meter hoog (zes bouwlagen).

6.1.1 Betrouwbaarheid van draagconstructies en brandscheidingen

De kans dat de beschikbare veilige tijd voor brandweerinzet (AST) – de tijd dat draagconstructies en brandscheidingen hun dragende of scheidende functie kunnen invullen – groter of gelijk is aan de benodigde veilige tijd voor brandweerinzet (RST) – de kans dat $AST \geq RST$ – is bepaald in hoofdstuk 2 van dit rapport. Daaruit blijkt het volgende:

Draagconstructies

- > Draagconstructies hebben een betrouwbaarheid die in vrijwel alle gevallen 100 % benadert. Dat wil zeggen dat de kans dat draagconstructies bezwijken gedurende de brandweerinzet klein is.
- > De betrouwbaarheid van draagconstructies die voldoen aan de nieuwbouweisen is ongeacht de gebouwhoogte hoger dan de acceptabele betrouwbaarheid.

Brandscheidingen

- > Brandscheidingen tussen woningen onderling hebben een betrouwbaarheid die ligt tussen 85 % en 99,9 %. Hoe hoog het gebouw is en welke brandwerendheid geldt (60 of 30 minuten) en van welke type omhulling deze is (isolerend of accumulerend), is daarin bepalend.
- > In gebouwen hoger dan 70 meter en meer specifiek in gebouwen hoger dan 200 meter is de betrouwbaarheid van brandscheidingen tussen woningen onderling lager dan de acceptabele betrouwbaarheid.
- > Brandscheidingen tussen woningen en de corridor (een 'extra beschermde vluchtroute') hebben een betrouwbaarheid die ligt tussen 52 % en 99,9 %. Hoe hoog het gebouw is en van welke type omhulling deze is (isolerend of accumulerend), is daarin bepalend.

⁸ AST = beschikbare veilige tijd voor brandweerinzet, RST = benodigde veilige tijd voor brandweerinzet.

- > In gebouwen hoger dan 20 en lager dan 70 meter en gebouwen hoger dan 70 meter is de betrouwbaarheid van brandscheidingen tussen woningen en de corridor lager dan de acceptabele betrouwbaarheid

Gevolgen van brandveiligheidsvoorzieningen en thermische eigenschappen van de omhulling

De betrouwbaarheid van draagconstructies en brandscheidingen wordt in het kader van dit onderzoek bepaald door de brandwerendheid daarvan. Daarnaast is ook de aanwezigheid van een sprinklerinstallatie bepalend voor de uiteindelijke betrouwbaarheid. Ten slotte wordt de betrouwbaarheid ook bepaald door de thermische eigenschappen van de omhulling: een accumulerende omhulling resulteert in een hogere betrouwbaarheid dan een isolerende omhulling.

6.1.2 Betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet

De kans dat de beschikbare veilige tijd voor brandweerinzet (AST) hoger of gelijk is aan de benodigde veilige tijd voor brandweerinzet (RST) (de kans dat $AST \geq RST$) is bepaald in hoofdstuk 3 van dit rapport. Daaruit blijkt het volgende:

Veilig inzetten in de brandruimte

In gebouwen lager dan 70 meter ligt de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet in de brandruimte tussen 1 % en 15 %. De kans op een veilige brandweerinzet in de brandruimte is dus klein. Deze betrouwbaarheid is lager dan de acceptabele betrouwbaarheid. In gebouwen hoger dan 70 meter ligt de betrouwbaarheid tussen 85 % en 95 %. Deze betrouwbaarheid is hoger dan de acceptabele betrouwbaarheid.

Veilig inzetten in de corridor

In gebouwen lager dan 70 meter ligt de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet in de corridor tussen 79 % en 82 %. In gebouwen hoger dan 20 meter en lager dan 70 meter is de berekende betrouwbaarheid lager dan de acceptabele betrouwbaarheid. In gebouwen hoger dan 70 meter ligt de betrouwbaarheid tussen 97 % en 99 %. Met name in gebouwen hoger dan 210 meter is de berekende betrouwbaarheid lager dan de acceptabele betrouwbaarheid.

Veilig inzetten in een sluis of trappenhuis

In veel gevallen benadert de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet in een sluis of trappenhuis 100 %. Alleen in gebouwen lager dan 70 meter is de betrouwbaarheid in een sluis iets lager (95 %-99 %). De betrouwbaarheid in het sluis is lager dan de acceptabele betrouwbaarheid in gebouwen hoger dan 20 meter en lager dan 70 meter. De betrouwbaarheid in het trappenhuis is hoger dan de acceptabele betrouwbaarheid.

Gevolgen van brandveiligheidsvoorzieningen en thermische eigenschappen van de omhulling

De volgende aspecten zijn in meer of mindere mate bepalend voor de berekende betrouwbaarheid:

- > De aanwezige sprinklerinstallatie in gebouwen hoger dan 70 meter zorgt voor een verhoging van de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet. Deze verhoging is met name zichtbaar in de brandruimte en (in mindere mate) in andere ruimten in de aanvalsroute.

- > De betrouwbaarheid van zelfsluitende deuren tussen woningen en de corridor is bepalend voor de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet in de corridor. Dit is met name het geval in gebouwen lager dan 70 meter.
- > De betrouwbaarheid van zelfsluitende deuren is ook bepalend voor een veilige brandweerinzet in een sluis of een trappenhuis.
- > De overdrukinstallatie (aanwezig verondersteld in voorportalen in gebouwen hoger dan 70 meter) voegt vergeleken met andere voorzieningen relatief weinig toe aan de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet in een sluis of trappenhuis.

6.2 Oplossingsrichtingen

In deze paragraaf worden de volgende deelvragen beantwoord:

Welke voorzieningen kunnen worden getroffen om de AST te verlengen?

en,

Welke innovaties kunnen de RST verkorten en daarmee het optreden volgens de basisprincipes voor brandbestrijding verbeteren?

In hoofdstuk 4 zijn verschillende oplossingsrichtingen voorgesteld en onderzocht. Vervolgens zijn in hoofdstuk 5 de gevolgen van een aantal van de oplossingsrichtingen gekwantificeerd. Daaruit blijkt het volgende:

- > De AST verlengen heeft een grotere invloed dan het verkorten van de RST op de betrouwbaarheid van draagconstructies en brandscheidingen en de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet. De volgende oplossingsrichtingen zijn onderzocht:
 - Het introduceren van een automatische brandbestrijdingsinstallatie in gebouwen hoger dan 20 meter en lager dan 70 meter resulteert in een betrouwbaarheidswinst tot maximaal 90 %. Deze oplossingsrichting geeft in sommige gevallen voldoende betrouwbaarheidswinst om te voldoen aan de acceptabele betrouwbaarheid. In andere gevallen benadert de betrouwbaarheid de acceptabele betrouwbaarheid.
 - Om de betrouwbaarheid van brandscheidingen te verhogen tot een acceptabele betrouwbaarheid, kunnen de brandwerendheden daarvan worden verhoogd. Daarbij kan een meer getrapte aanpak gebruikt worden (toename brandwerendheid met gebouwhoogte) dan nu het geval is, is beschreven in hoofdstuk 4 en beoordeeld in hoofdstuk 5.
 - Het verhogen van de betrouwbaarheid van het automatische brandbestrijdingssysteem in gebouwen hoger dan 200 meter geeft een betrouwbaarheidswinst van maximaal 2 %. Daarmee wordt de acceptabele betrouwbaarheid benaderd, maar niet volledig ingevuld.
 - Het toepassen van een rwa-installatie in de corridor resulteert in gebouwen hoger dan 20 meter en lager dan 70 meter in een verlaging van de betrouwbaarheid van ongeveer 0,2 %-1 %. De oplossingsrichting verlaagt de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet.
- > Oplossingsrichtingen die de RST verkorten, hebben beperkt positieve gevolgen voor de betrouwbaarheid van draagconstructies en brandscheidingen en de betrouwbaarheid

van een veilige brandweerinzet. Geen van de oplossingsrichtingen geven op zichzelf voldoende betrouwbaarheidswinst om te voldoen aan de acceptabele betrouwbaarheid.

Van de voorgestelde oplossingsrichtingen hebben de volgende de hoogste betrouwbaarheidswinst:

- Informatievoorziening van de brandweer verbeteren: de betrouwbaarheidswinst bedraagt ongeveer 1 %-9 %.
- Centrale rookdetectie toepassen: de betrouwbaarheidswinst bedraagt ongeveer 1 %-10 %.

Ten slotte blijkt uit de rekenresultaten dat, hoewel het verbeteren van de informatievoorziening van de brandweer de betrouwbaarheid niet verhoogt tot boven de acceptabele betrouwbaarheid, de verhoging wel hoog is in combinatie met andere oplossingsrichtingen. Ook blijkt uit de rekenresultaten dat de betrouwbaarheid van voorzieningen die de brandweer ondersteunen met name in hogere gebouwen steeds belangrijker wordt.

6.3 Noodzakelijke voorzieningen en/of innovaties

In deze paragraaf wordt de volgende deelvraag beantwoord:

Welke voorzieningen en/of innovaties zijn noodzakelijk om de brandveiligheid van hoge gebouwen af te stemmen op de inzet van de brandweer?

Betrouwbaarheid draagconstructies en brandscheidingen

Om te komen tot een acceptabele betrouwbaarheid kunnen de volgende oplossingsrichtingen worden overwogen:

Gebouwen >20 en <70 meter:

- > Een meer trapsgewijs oplopende aanpak met betrekking tot brandwerendheden dan nu gebruikt in de bouwregelgeving is nodig om te komen tot een acceptabele betrouwbaarheid van brandscheidingen (zie paragraaf 4.2.1 voor de exacte brandwerendheden), of:
- > Het toepassen van een sprinklerinstallatie in combinatie met een brandwerendheid van 60 minuten van alle brandscheidingen. Een verlaging van de brandwerendheid van de draagconstructie van 120 minuten naar 90 minuten is in combinatie met een automatische brandbestrijdingsinstallatie ook mogelijk.

Gebouwen >200 meter

- > Het verhogen van de brandwerendheid van brandscheidingen is nodig om te komen tot een acceptabele brandwerendheid (zie paragraaf 4.2.1 voor de exacte brandwerendheden).
- > Het verhogen van de betrouwbaarheid van de sprinklerinstallatie zorgt voor een toename van de betrouwbaarheid van brandscheidingen en de draagconstructie. De toename resulteert niet in een acceptabele betrouwbaarheid. Het verschil tussen de berekende betrouwbaarheid en de acceptabele betrouwbaarheid is echter klein.

Betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet

Van de onderzochte oplossingsrichtingen geeft alleen de automatische brandbestrijdingsinstallatie in gebouwen hoger dan 20 meter en lager dan 70 meter voldoende betrouwbaarheidswinst om te voldoen aan de acceptabele betrouwbaarheid. In gebouwen hoger dan 200 meter is een sprinklerinstallatie met een verhoogde betrouwbaarheid nodig om invulling te geven aan de acceptabele betrouwbaarheid.

Combinaties van oplossingsrichtingen

Het kan zijn dat combinaties kunnen leiden tot situaties die wel invulling geven aan de acceptabele betrouwbaarheid. Verwacht wordt dat de betrouwbaarheid bij combineren van maatregelen verder toeneemt. Hoeveel die toename bedraagt, is niet onderzocht.

6.4 Beantwoording hoofdvraag onderzoek

De hoofdvraag van dit onderzoek wordt in deze paragraaf beantwoordt. Deze luidt:

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

Uit het onderzoek blijkt dat er twee groepen hoge gebouwen aan te wijzen zijn waarin de brandveiligheid betrokken op de brandweerinzet duidelijk lager is dan een lager gebouw (een referentiegebouw met 6 bouwlagen). Dit zijn gebouwen hoger dan 20 meter en lager dan 70 meter en gebouwen hoger dan 200 meter. Om de brandveiligheid van die hoge gebouwen minimaal op gelijk niveau te krijgen als de referentie, zijn de volgende aanpassingen van de regelgeving nodig:

- > Het verhogen van brandwerendheden van brandscheidingen in gebouwen hoger dan 20 meter en lager dan 70 meter. Daarbij wordt een meer getrapte aanpak voorgesteld dan nu het geval is.
- > Het voorschrijven van een automatische brandbestrijdingsinstallatie (bijvoorbeeld sprinklerinstallatie) in gebouwen hoger dan 20 en lager dan 70 meter.
- > Bovenstaande aanpassingen kunnen worden gecombineerd; als een automatische brandbestrijdingsinstallatie wordt voorgeschreven, kunnen zowel brandscheidingen als draagconstructies met minder brandwerendheid worden uitgevoerd.
- > Het verhogen van de brandwerendheid van brandscheidingen in gebouwen hoger dan 70 meter van 30 minuten naar 60 minuten.
- > Het verhogen van de betrouwbaarheid van de automatische brandbestrijdingsinstallatie in gebouwen hoger dan 200 meter.

Daarnaast kan de brandveiligheid betrokken op de brandweerinzet verder worden verbeterd door de volgende aspecten te vertalen naar regelgeving:

- > De betrouwbaarheid van voorzieningen die de brandweer ondersteunen tijdens een inzet (brandweerlift, blusleiding) wordt belangrijker naarmate de hoogte van een gebouw toeneemt. Vanaf een bepaalde hoogte (30-40 meter, zie fase I) is een veilige en efficiënte brandweerinzet niet goed meer mogelijk zonder deze voorzieningen. Een hoge betrouwbaarheid van die voorzieningen is daarom van belang in hoge gebouwen.
- > Informatie die in gebouwen aanwezig is (denk aan sensoren en camera's) kan de brandweer helpen bij het voorbereiden op een inzet. Een koppeling van informatiestromen is daarvoor belangrijk.

Ten slotte wordt meegegeven dat het uitgangspunt van dit onderzoek is dat hogere gebouwen minimaal even brandveilig moeten zijn als een referentie. Daarbij wordt geïmpliceerd dat de referentie voldoende brandveilig is. Het is maar de vraag of dat zo is. Deze aanname is echter noodzakelijk, omdat het in Nederland ontbreekt aan een risicomaatlat voor de brandveiligheid van gebouwen. Het vaststellen van een dergelijke risicomaatlat en deze implementeren in de bouwregelgeving zou een eerste stap richting een op risico-denken gebaseerde aanpak van brandveiligheid zijn.

7 Discussie

In dit hoofdstuk worden verschillende aspecten die niet rekenkundig zijn meegenomen in dit onderzoek maar mogelijk wel van invloed zijn op de brandveiligheid en de brandweerinzet kwalitatief beschouwd.

7.1 Kaders van dit onderzoek

7.1.1 Bestaande bouw

Dit onderzoek beperkt zich tot de beschikbare tijd voor brandweerinzet (AST) in woongebouwen die voldoen aan de huidige nieuwbouwvoorschriften. Deze keuze is gemaakt om het onderzoek overzichtelijk te houden. In de bestaande bouwvoorraad staan naar verwachting echter veel gebouwen die hoger zijn dan 20 meter, maar waarvan de brandveiligheidsvoorzieningen niet voldoen aan de nieuwbouweisen.

Voorbeeld van mogelijke afwijkingen is het ontbreken van deurdrangers. Daardoor is de kans dat deuren gedurende de ontvluchting van het gebouw bij een brand open blijven staan, hoger dan aangenomen in dit onderzoek. Ook het ontbreken van rooksluizen kan gevolgen hebben voor de brandweerinzet. Daarnaast zijn in veel gevallen ook lagere WBDBO-eisen van toepassing, wat een negatief gevolg op de betrouwbaarheid van de draagconstructie en brandscheidingen kan hebben.

7.1.2 Andere brandveiligheidsrisico's

Naast de lastige omstandigheden van brandweerinzetten in hoge gebouwen bestaan er momenteel meer vraagstukken omtrent de brandweerinzet. Die vraagstukken hebben bijvoorbeeld te maken met de elektrificatie van de gebouwde omgeving (bijvoorbeeld zonnepanelen en accu's), biobased bouwen (bijvoorbeeld massieve houtbouw en biobased isolatie) en de vergrijzing van de samenleving (langer zelfstandig thuiswonende ouderen). Die risico's zijn niet beschouwd in dit onderzoek. Wel dragen de voorgestelde oplossingsrichtingen bij aan het verlagen van brandveiligheidsrisico's gerelateerd aan de genoemde vraagstukken.

7.1.3 Gebruiksfunctie van het gebouw

De kaders van dit onderzoek hebben ertoe geleid dat de brandveiligheidsvoorzieningen van (hoge) woongebouwen zijn gerelateerd aan het operationeel optreden van de brandweer. Een aanzienlijk deel van de (hoge) gebouwen kent andere gebruiksfuncties, die vaak naast elkaar aanwezig zijn. Wij zijn ons ervan bewust dat een brandweerinzet in een woongebouw een andere aanpak en/of slagkracht vereist dan een brandweerinzet in een gebouw met gemengd gebruik. Toch verwachten wij niet dat het aannemen van andere gebruiksfuncties of een meer gemengd gebruik van een gebouw zou leiden tot substantieel andere conclusies.

7.1.4 Escalatiescenario's

Het uitgangspunt van dit onderzoek is een brandontwikkeling volgens een 'normaal' brandverloop. Dit houdt in dat een brand ontstaat in een woning en beperkt blijft tot het brandcompartiment waarin hij is ontstaan. Met snelle branduitbreiding via bijvoorbeeld de gevel of

snelle rookverspreiding door bijvoorbeeld ventilatiekanalen is geen rekening gehouden. Recente incidenten zoals de brand in de Grenfell toren (2017) en in een torenflat in Valencia (2024) laten zien dat er wel degelijk scenario's zijn waarin snelle brandontwikkeling en rookverspreiding problematisch zijn voor een veilige brandweerinzet in een gebouw. De kans op dit soort incidenten zal altijd blijven bestaan. Het is van belang die kans voldoende klein te houden. Wat 'voldoende' hier betekent, is echter niet eenvoudig te beschrijven bij het ontbreken van een bij wet vastgelegde risicomatlat.

7.1.5 Ontruiming van woongebouwen

In bepaalde scenario's kan het noodzakelijk zijn om (een deel van) een woongebouw te ontruimen. Dit is met name het geval bij scenario's waarin snelle branduitbreiding en rookverspreiding plaatsvinden. Doorgaans ondersteunt de brandweer bij de ontruiming. Dit legt beslag op de capaciteit van de brandweer, waardoor de inzet langer duurt dan aangenomen in dit rapport. In het kader van dit onderzoek vertaalt zich dat in een langere benodigde tijd voor brandweerinzet (RST) en daarmee in een lagere betrouwbaarheid (de kans dat $AST \geq RST$) van draagconstructies, brandscheidingen en een veilige brandweerinzet.

Brandmeld- en ontruimingsinstallatie

In hoofdstukken 4 en 5 is de effectiviteit van een brandmeldinstallatie met een volledige bewakingsomvang onderzocht. Hoewel deze oplossingsrichting de betrouwbaarheid vergroot is deze niet doorslaggevend. Daarbij is geen rekening gehouden met de belasting van de brandweer, mocht zij overgaan tot volledige ontruiming van een gebouw. Als er een brandmeldinstallatie en een ontruimingsalarminstallatie aanwezig zijn, neemt dat de belasting van de brandweer deels weg. Bewoners van het gebouw worden dan tijdig gewaarschuwd bij een brand, waardoor zij kunnen vluchten.

7.2 Onderzoeksmethode

7.2.1 Vergelijkende risicoanalyse

In dit onderzoek is een vergelijking gemaakt tussen verschillende gebouwhoogtes. Daarbij is een referentie gekozen die als 'voldoende veilig' wordt verondersteld. In dit onderzoek is een gebouw van zes bouwlagen gekozen. Hoewel dit als uitgangspunt is gekozen, is het maar de vraag of een gebouw van zes bouwlagen hoog ook voldoende brandveilig is.

Risicoacceptatie

Bij de wijze waarop de acceptabele betrouwbaarheid is bepaald, is een referentie vastgesteld. De acceptabele betrouwbaarheid is de betrouwbaarheid die minimaal noodzakelijk is om een situatie te creëren die even veilig is als de referentie. Daarbij wordt rekening gehouden met verzwarende aspecten zoals strengere grens voor het brandveiligheidsrisico bij gebouwen met toenemende hoogte. Deze aanpak is niet gebaseerd op wetenschappelijke consensus, maar op overeenstemming tussen onderzoekers onderling.

Vanwege deze aanpak wordt de acceptabele betrouwbaarheid in gebouwen net hoger dan de referentie snel groter. In specifieke gevallen neemt de acceptabele betrouwbaarheid snel toe naar de maximaal behaalbare acceptabele betrouwbaarheid (99,9 % is in dit onderzoek als maximaal verondersteld). Er ontstaat een situatie waarin de verschillen wat betreft acceptabele betrouwbaarheid bij relatief lage gebouwen groot is, terwijl die verschillen in relatief hoge gebouwen beperkt zijn. De methode is gebruikt bij gebrek aan een betere aanpak.

Als in de toekomst bijvoorbeeld een risicomaatlat (maximaal toelaatbare brandveiligheidsrisico's) wordt vastgelegd, kan dat leiden tot andere uitkomsten.

7.2.2 Rookverspreiding in hoge gebouwen

Rookverspreiding in hoge(re) gebouwen kan als gevolg van bijvoorbeeld het 'stack-effect' (schoorsteeneffect) of windinvloed complexer en onvoorspelbaarder zijn dan in lagere gebouwen. Die effecten zijn in dit onderzoek niet meegenomen. Reden hiervoor is dat de complexere rookverspreiding maar beperkt van invloed zou zijn op de resultaten van dit onderzoek, met name omdat alleen de thermische blootstelling van brandweermensen wordt beoordeeld. Zeker op enige afstand van de brandruimte is die thermische blootstelling niet relevant meer voor de betrouwbaarheid van de veilige brandweerinzet.

Een uitzondering hierop is de invloed van wind op de verspreiding van rook en warmte van de brandruimte naar de corridor. Zeker als wind op een gevel met (grote) opening staat kunnen de temperaturen in de corridor hoger worden dan berekend. In die gevallen is de betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet naar verwachting lager dan hier verondersteld. In werkelijkheid is glasbreuk als gevolg van brand in moderne hoge(re) gebouwen echter zeldzaam door de kwaliteit van kozijnen en beglazing. Het is daarom maar de vraag hoeveel invloed de wind dan heeft op de thermische blootstelling van brandweermensen in de aanvalsroute.

7.2.3 Uitgangspunten en variabelen

De gebruikte probabilistische aanpak kenmerkt zich door de uitgangspunten en het brede spectrum aan variabelen dat wordt gebruikt. Daardoor ontstaat een beeld van de mogelijke effecten die bij een scenario (een woningbrand) kunnen optreden.

Uitgangspunten

Bij een aantal onderdelen is niet gevarieerd tijdens het onderzoek. Dit worden uitgangspunten genoemd; dit zijn onder andere:

- > De locatie waar de brand ontstaat. Er is uitgegaan van een woningbrand. Hoewel dit de meest gangbare ontstaansplek van een brand in een woongebouw is, is een andere brandlocatie, zoals in ondersteunende gebruiksfuncties of vluchtroutes, niet ondenkbaar. Met name een brand in een vluchtroute heeft waarschijnlijk veel maatgevender gevolgen dan de hier beschouwde woningbrand.
- > De hoeveelheid beschikbare ventilatie. De hoeveelheid beschikbare ventilatie is zo gekozen dat de brand zich altijd kan ontwikkelen tot flashover, tenzij er een automatische blusinstallatie in het gebouw aanwezig is. Naar verwachting is de kans op een ondergeventileerde brand echter groot door de uitvoering van moderne gevels. De aanname dat er altijd een volledig ontwikkelde brand ontstaat, is conservatief omdat de thermische blootstelling wordt beoordeeld.

Variabelen

Er bestaan nog weinig data over bijvoorbeeld brandontwikkeling of de betrouwbaarheid van brandbestrijdingsinstallaties. Veel van de gekozen variabelen zijn daardoor gebaseerd op slechts een of enkele onderzoeken of op een expert-oordeel. De kwaliteit van de gebruikte data is daarom onzeker. Voor de variabelen die onafhankelijk zijn van de gebouwhoogte (bijvoorbeeld brandontwikkelingsnelheid of vuurbelasting) is de kwaliteit minder relevant vanwege het vergelijkende karakter van het onderzoek. Voor andere variabelen kan de kwaliteit echter wél relevant zijn, zoals de betrouwbaarheid van een sprinklerinstallatie, omdat deze niet in

alle gebouwhoogtes wordt toegepast. Het gebrek aan (betrouwbare) data introduceert onzekerheid. Hoe daarmee is omgegaan, wordt beschreven in de volgende paragraaf.

7.3 Onzekerheid en gevoeligheid

Elk onderzoek is onderhevig aan onzekerheid. Bij risicoanalyses is die onzekerheid het gevolg van onder andere de aard van de risicoanalyse (kwalitatief, deterministisch of probabilistisch), de gebruikte invoerparameters en de capaciteit van de gebruikte effect-tools om een realistische inschatting te maken.

Om de gevolgen van onzekerheid op de rekenresultaten te beperken, is in dit onderzoek gekozen voor een probabilistische aanpak waarbij veel verschillende scenario's zijn beschouwd. De mogelijke onzekerheid die ontstaat door onrealistische invoerparameters is in fase I ingeschat door het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse. Die gevoeligheid bleek beperkt, waardoor ook de gevolgen van onzekerheid waarschijnlijk beperkt zijn.

In fase II is de onzekerheid beperkt door invoerparameters te gebruiken uit wetenschappelijke literatuur (peer-reviewed). Een gevoeligheidsanalyse daarop is omwille van de beschikbare tijd niet uitgevoerd, maar uit de resultaten van de oplossingsrichtingen in fase III valt op te maken dat de gevoeligheid van de rekenresultaten voor bijvoorbeeld de betrouwbaarheid van de sprinklerinstallatie gerelateerd aan de rekenresultaten uit fase II niet heel groot is. De onzekerheid als gevolg van het gebruikte brandmodel (CFAST) is beperkt door zorgvuldig om te gaan met het validatiebereik. Hoewel de berekeningen en de invoer daarvan met zorg zijn uitgevoerd, kan onzekerheid toch nog invloed hebben op de onderzoeksresultaten.

Ten slotte zijn de rekenresultaten voor de verschillende gebouwhoogtes in fase III onderling vergeleken en is er op basis van die vergelijking een conclusie geformuleerd. Eventuele onzekerheid is in min of meer gelijke mate aanwezig in de rekenresultaten voor verschillende gebouwhoogtes. Als gevolg daarvan is onzekerheid van de rekenresultaten minder relevant voor de getrokken conclusies.

7.4 Slotbeschouwing

De wereld om ons heen verandert snel. Nieuwe brandveiligheidsrisico's ontstaan sneller dan dat de bouwregelgeving aangepast kan worden. Wij zijn ervan overtuigd dat de oplossingsrichtingen die in dit onderzoek genoemd worden niet alleen nuttig zijn voor het beperken van brandveiligheidsrisico's in hoge gebouwen, maar ook een bijdrage kunnen leveren aan deze nieuwe brandveiligheidsrisico's.

Andere brandveiligheidsaspecten

De introductie van de brandbestrijdingsinstallatie heeft niet alleen positieve gevolgen voor de betrouwbaarheid van draagconstructies en brandscheidingen. Naar verwachting is het effect op de vluchtveiligheid ook groot. Daarnaast kan de installatie helpen om moderne brandveiligheidsrisico's gerelateerd aan bijvoorbeeld bouwen met hout, biobased bouwen en een ouder wordende populatie sterk verminderen.

Literatuur

- British Standards Institution. (2019). *PD 7974-7 (2019) - Application of fire safety engineering principles to the design of buildings*.
- CEN. (2025). *NEN-EN 1990* (Vol. 1990, Issue april).
- de Witte, L. (2025). *Brandveiligheid als veronderstelde vanzelfsprekendheid*.
<https://nipv.nl/wp-content/uploads/2025/10/20251002-NIPV-Brandveiligheid-als-veronderstelde-vanzelfsprekendheid-Lectorale-rede-Lieuwe-de-Witte.pdf>
- European Commission. (2014). *Eurocodes. Background and Applications. Structural fire design*. <https://doi.org/10.2788/85432>
- Faber, M., & Vrouwenvelder, T. (2001). *JCSS Probabilistic Model Code - part 1*.
- HM Government. (2025). *Approved Document B Vol 1*.
https://assets.publishing.service.gov.uk/media/67d2bb074702aacd2251cb94/Approved_Document_B_volume_1_Dwellings_2019_edition_incorporating_2020_2022_and_2025_amendments_collated_with_2026_and_2029_amendments.pdf
- Hoog 500. (2026). <https://hoog500.nl/>
- Informatiepunt Leefomgeving. (n.d.). *Plaatsgebonden risico in het omgevingsplan*.
<https://iplo.nl/thema/externe-veiligheid/externe-veiligheid-in-omgevingsplan/plaatsgebonden-risico/>
- ISO. (2015). *ISO 2394 General principles on reliability for structures*.
- 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.
- Nederlands Normalisatie Instituut. (2019). *NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB*.
- NEN. (2011). *NEN 6055: Thermische belasting op basis van het natuurlijk brandconcept - Bepalingsmethode*.
- van Herpen, R., Hamerlinck, R., van de Leur, P., Scholten, N., & Vrouwenvelder, T. (2014). *Risicogebaseerde brandveiligheid van draagconstructies*.
- van Rede, P., Barreveld, A., Janssen, G., De Witte, L., Weewer, R., & van Herpen, R. (2026). *Brandveiligheid hoge gebouwen - fase II*.
- van Rede, P., Janssen, G., Barreveld, A., van der Graaf, P. J., De Witte, L., Weewer, R., & van Herpen, R. (2025). *Brandveiligheid hoge gebouwen - Fase I*.
- van Rede, P., van Liempd, R., & de Witte, L. (2024). *Handreiking proces doelgerichte brandveiligheidsaanpak voor gebouwen*. NIPV.
- Vrouwenvelder, T., Dimova, S., Sousa, M. L., Marková, J., Mancini, G., Kuhlmann, U., Taras, A., Jockwer, R., Jäger, T., Jäger, W., Schweckendiek, T., Franchin, P., Skejić, D., Sørensen, J. D., Spehl, P., & Stacy. (2024). Reliability background of the Eurocodes. In *Joint Research Centre (JRC)* (Issue October). <https://doi.org/10.2760/9482837>

Bijlage: Uitgangspunten oplossingsrichtingen

Verkorten van de RST

Door de RST te verkorten kan de brandweer eerder starten met brandbestrijding. Daardoor neemt de betrouwbaarheid van draagconstructies en brandscheidingen en betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet toe.

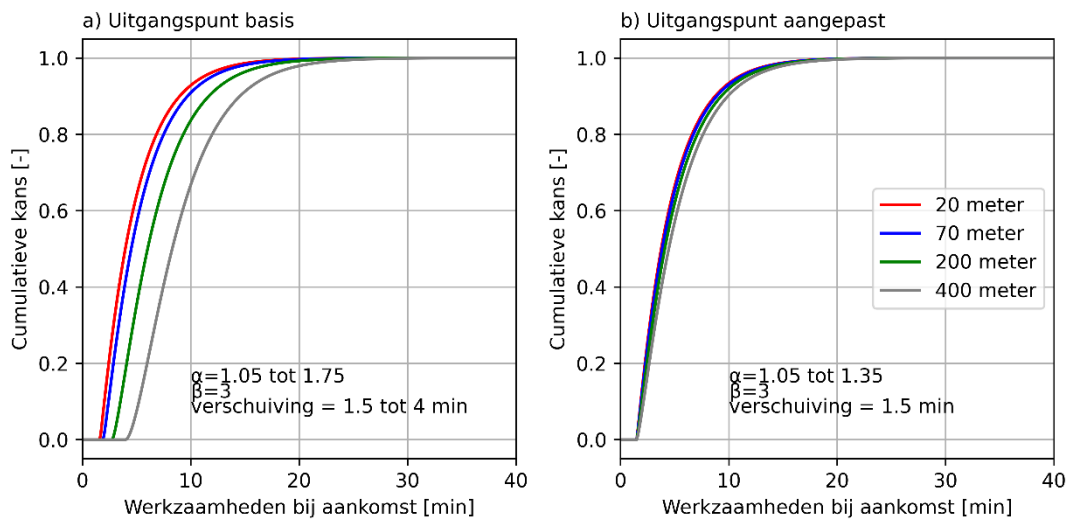
Informatievoorziening van de brandweer verbeteren

Een beschrijving van de oplossingsrichting is gegeven in paragraaf 4.1.1.

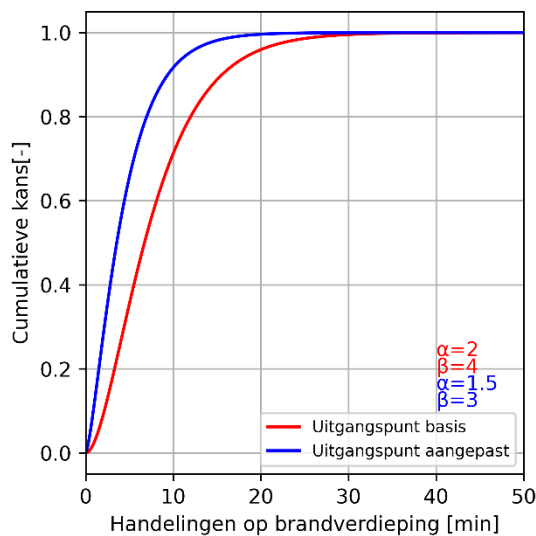
Aangepaste uitgangspunten

Om de gevolgen te kunnen modelleren zijn de gekozen uitgangspunten voor 'werkzaamheden bij aankomst' en 'handelingen op brandverdieping' zoals deze gekozen zijn in fase I dit onderzoek aangepast. Daarbij zijn de volgende aanpassingen doorgevoerd:

- > *Werkzaamheden bij aankomst:*
Doordat de brandweer over meer informatie beschikt voordat zij bij het gebouw aankomen, kan er tijd worden gewonnen op rondomverkenning. Ook is die tijd minder afhankelijk van de hoogte van het gebouw. Als aangepast uitgangspunt is gekozen dat de tijd die nodig is voor de rondomverkenning bij alle gebouwhoogtes grofweg gelijk is. Toch is bij veel beschikbare informatie mogelijk iets meer tijd nodig in hogere gebouwen vanwege de complexiteit daarvan. Ook kan wegbevinding lastiger zijn. Om dat in rekening te brengen neemt de spreiding in de gebruikte kansverdeling iets toe naar mate het gebouw hoger wordt. Aangepaste uitgangspunten zijn gegeven in figuur B1.1.
- > *Werkzaamheden op brandverdieping*
Doordat de brandweer op voorhand meer informatie heeft over het incident kunnen zij, voordat zij het gebouw betreden, rekening houden met vertragende factoren zoals het moeten forceren van de woningtoegangsdeur. Dit verkort de tijd die nodig is voor handelingen op de brandverdieping, maar beperkt ook de onzekerheid daarin. Daarom is met name de spreiding in de gebruikte uitgangspunten aangepast. Aangepaste uitgangspunten zijn gegeven in figuur B1.2.



Figuur B1.1 Aangepaste uitgangspunten voor 'werkzaamheden bij aankomst'



Figuur B1.2 Aangepaste uitgangspunten voor 'handelingen op brandverdieping'

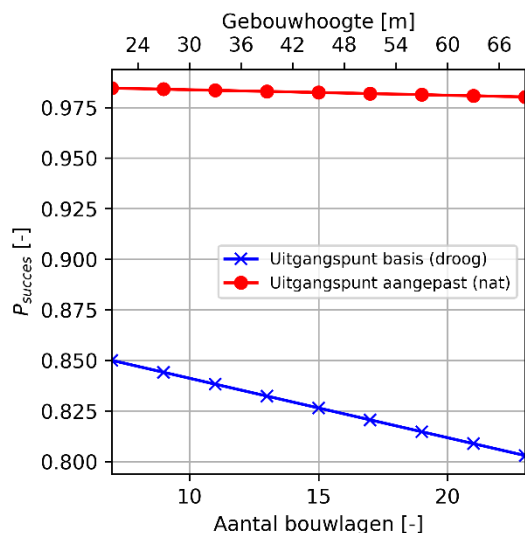
Verhogen betrouwbaarheid droge blusleiding

Een beschrijving van de oplossingsrichting is gegeven in paragraaf 4.1.2.

Aangepaste uitgangspunten

Door de betrouwbaarheid van de droge blusleiding te verhogen neemt de kans op een scenario waarin water via slangen door het trappenhuis moet worden opgevoerd af. De volgende uitgangspunten zijn gekozen om het effect van deze oplossingsrichting inzichtelijk te maken:

- > In gebouwen hoger dan 20 meter en lager dan 70 meter wordt de droge blusleiding vervangen door een natte blusleiding. Dit resulteert in een hogere betrouwbaarheid, zoals weergegeven in figuur B1.3.



Figuur B1.3 Aangepaste betrouwbaarheden blusleidingen

- > Door de hogere betrouwbaarheid is het niet nodig de blusleiding voor gebruik te controleren. De tijd die daarvoor in fase I in rekening is gebracht komt te vervallen.

Brandmeldinstallatie met volledige bewakingsomvang

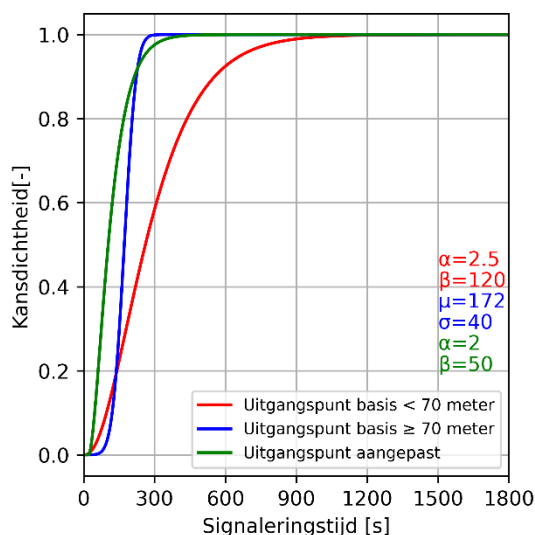
Een beschrijving van de oplossingsrichting is gegeven in paragraaf 4.1.3.

Aangepaste uitgangspunten

In woongebouwen is op dit moment geen sprake van een verplichting tot een volledige brandmeldinstallatie (met doormelding). Het gevolg hiervan is een situatie waarin de kans bestaat dat een brand pas in een vergevorderd stadium wordt gesignaleerd en gemeld aan de brandweer⁹. Het realiseren van een centraal brandmeldsysteem kan de signaleringstijd daardoor beperken. Om de effecten daarvan inzichtelijk te maken zijn de volgende uitgangspunten aangepast (zie figuur B1.4):

- > De signaleringstijd is ingekort en de spreiding beperkt. In de nieuwe uitgangspunten vindt in 80% van de gevallen detectie plaats binnen ongeveer 3 minuten na het ontstaan van een (vlammende) brand.
- > Deze kansverdeling is aangehouden voor alle gebouwhoogtes. Daarbij wordt aangenomen dat detectie door het rookdetectiesysteem sneller plaatsvindt dan detectie door de automatische brandbestrijdingsinstallatie.

⁹ Een uitzondering hierop zijn gebouwen hoger dan 70 meter. Hierin is op de gemeenschappelijke verkeersruimten sprake van rookdetectie. In de woningen is die detectie niet verplicht.



Figuur B1.4 Aangepaste uitgangspunten signaleringstijd

Verlengen van de AST

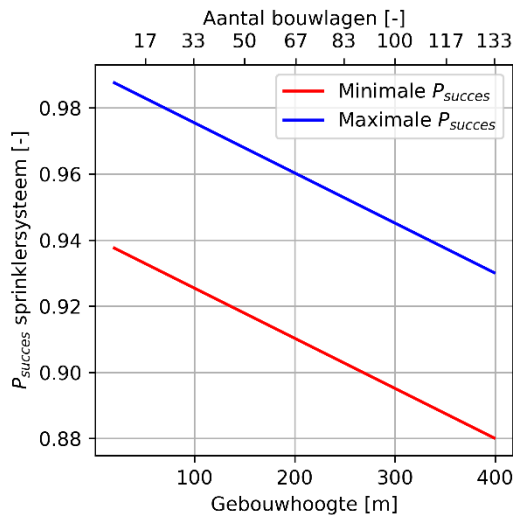
Door de AST te verlengen heeft de brandweer meer tijd om te starten met brandbestrijding. Daardoor neemt de betrouwbaarheid van draagconstructies en brandscheidingen en betrouwbaarheid van een veilige brandweerinzet toe.

Automatische brandbestrijdingsinstallatie in gebouwen 20-70 meter

Een beschrijving van de oplossingsrichting is gegeven in paragraaf 4.2.2.

Aangepaste uitgangspunten

Door een sprinklerinstallatie te installeren in gebouwen hoger dan 20 meter en lager dan 70 meter wordt de betrouwbaarheid van draagconstructies en brandscheidingen en een veilige brandweerinzet verhoogd, zoals ook blijkt uit de rekenresultaten gepresenteerd in hoofdstukken 2 en 3. De uitgangspunten voor de sprinklerinstallatie zoals gekozen in fase II van dit onderzoek zijn uitgebreid naar lagere gebouwen. Dat betekent dat in een gebouw van 20 meter de installatie een hogere betrouwbaarheid heeft dan in een gebouw van 70 of 400 meter. Hoe de sprinklerinstallatie en betrouwbaarheid daarvan wordt meegewogen in de Monte-Carlo Simulaties is beschreven in fase II van dit onderzoek. Zie figuur B1.5.



Figuur B1.5 Aangepaste uitgangspunten voor een sprinklerinstallatie vanaf een gebouwhoogte van 20 meter

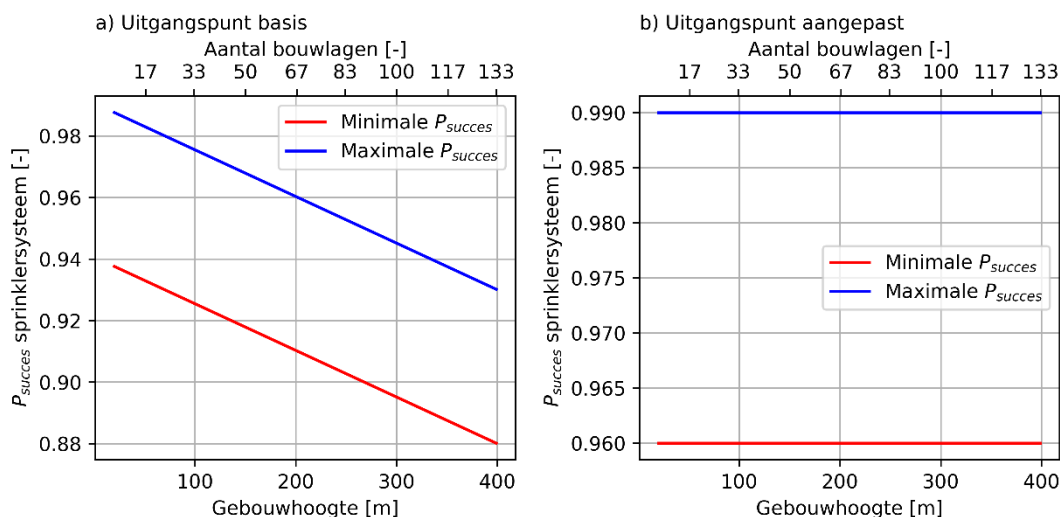
Aangepaste betrouwbaarheid brandbestrijdingsinstallatie in gebouwen > 200 meter

Een beschrijving van de oplossingsrichting is gegeven in paragraaf 4.2.2.

Aangepaste uitgangspunten

In de uitgangspunten bij de gepresenteerde rekenresultaten in hoofdstukken 2 en 3 wordt de betrouwbaarheid van de sprinklerinstallatie verondersteld af te nemen met toenemende gebouwhoogte. Door het systeem betrouwbaarder uit te voeren wordt verondersteld dat die afname niet of minder plaatsvindt. Om de gevolgen daarvan te onderzoeken zijn de volgende uitgangspunten gebruikt (zie figuur B1.6):

- > Zowel de minimale als maximale betrouwbaarheid worden nu onafhankelijk van de gebouwhoogte gesteld op respectievelijk 0,96 en 0,99, zie figuur b) in Figuur 5.15. De betrouwbaarheid is gemiddeld hoger dan de uitgangspunten die eerder gebruikt zijn (zie figuur a) in Figuur 5.15).
- > Ook de spreiding met betrekking tot de betrouwbaarheid is minder groot aangenomen.



Figuur B1.6 Aangepaste uitgangspunten voor een sprinklersysteem met een hogere betrouwbaarheid

De Monte-Carlo Simulaties zijn alleen herhaald voor een gebouwhoogte van 240 meter. Omdat de uitgangspunten niet verschillen per gebouwhoogte zijn de resultaten een referentie voor gebouwen hoger dan 70 meter.

Rwa-installatie in corridor

Een beschrijving van de oplossingsrichting is gegeven in paragraaf 4.2.4.

Aangepaste uitgangspunten

In de corridor wordt een systeem geïntroduceerd dat rook- en warmte afvoert en gelijktijdig schone omgevingslucht toevoert. Als gevolg daarvan wordt de rook in de corridor verdunt en neemt de temperatuur af. De oplossingsrichting heeft geen gevolgen voor de betrouwbaarheid van brandscheidingen en draagconstructies, omdat de maatgevende thermische belasting in de woning plaatsvindt en niet in de corridor.

In de corridor wordt een mechanische toe- en afvoervoorziening met een capaciteit van 5-voudige volumeverversingen per uur. De toevoeropening is geplaatst laag in de ruimte terwijl de afvoeropening hoog in de ruimte is gesitueerd. De betrouwbaarheid van het systeem is gesteld op 0,7. De betrouwbaarheid is onafhankelijk van de gebouwhoogte gekozen. Een nadere beschouwing daarvan is niet nodig om een inschatting te maken van de mogelijke betrouwbaarheidswinst.

De effectiviteit van het systeem wordt onderzocht in gebouwen hoger dan 20 en lager dan 70 meter. Op basis daarvan wordt een inschatting worden gemaakt van de effectiviteit in gebouwen hoger dan 200 meter.