

Duurzaam brandbeveiligingsconcept voor project Kloosterboer

Afstudeerscriptie



S. Robijns
Utrecht, 13 oktober 2015

Versie: Definitief
Utrecht, 13 oktober 2015

Auteur

Sofie Robijns
Anne Franklaan 20
3721 PK Bilthoven
Studentnummer: 1611362
Telefoonnummer: 06-42228445
E-mail: sofie.robijns@student.hu.nl
Opleiding: Bouwkunde, Bouwfysica
Cursuscode: TBWK-AFF8-03

Afstudeerbedrijf

Nieman Raadgevende Ingenieurs
Atoomweg 400
3542 AB Utrecht

Externe begeleider

Ing. Synneva Rusman-Walters Nieman Raadgevende Ingenieurs, adviseur brandveiligheid
Telefoonnummer: 06-83523017
E-mail: s.rusman@nieman.nl

Begeleiders Hogeschool Utrecht

Ir. Marieke van der Laan Hogeschool Utrecht, docent bouwfysica
Ir. Marian van Wershoven Hogeschool Utrecht, docent bouwtechniek

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie “Duurzaam brandbeveiligingsconcept voor project Kloosterboer”. Het afstudeerwerk is geschreven in het kader van mijn afstuderen aan de opleiding Bouwkunde aan de Hogeschool Utrecht, met de afstudeerrichting bouwfysica. De scriptie is geschreven in opdracht van Nieman Raadgevende Ingenieurs en is bestemd voor de scriptiebeoordelaars en andere geïnteresseerden.

Ik ben in februari 2015 begonnen met mijn afstudeeronderzoek. In de beginmaanden van mijn afstudeerperiode heb ik gemerkt dat het ontbrak mij ontbrak aan motivatie doordat ik het doel en de vorm van het onderzoek niet voor ogen zag. Naast het gebrek aan motivatie heb ik moeite gehad met het stellen van grenzen aan mijn afstudeeronderzoek. Ik ben van nature een perfectionist en wil graag zoveel mogelijk onderzoeken en alle factoren meenemen in mijn onderzoek. Helaas is dit binnen de afstudeerperiode niet mogelijk en heb ik moeten letten op de omvang van mijn onderzoek. Ik heb veel nieuwe kennis opgedaan op het gebied van duurzaamheid en brandveiligheid in mijn afstudeerperiode en hoop dat deze kennis overkomt in mijn afstudeerscriptie.

Ik wil graag mijn dank uiten aan mijn bedrijfsbegeleider Synneva: bedankt voor je tijd om mij te begeleiden, je geloof in mijn kunnen, de motiverende en aanmoedigende gesprekken en het delen van je kennis. Ik wil mijn afstudeerbegeleiders Marieke van der Laan en Marian van Wershoven van de Hogeschool Utrecht bedanken voor hun geduld, de tijd die ze voor mij vrij hebben gemaakt in de eindsprint naar mijn afstudeerscriptie en de aangename, aanmoedigende begeleidingsgesprekken. Ik wil Ruud van Herpen, senior adviseur brandveiligheid bij Nieman raadgevende ingenieurs, bedanken voor zijn tijd om mij op weg te helpen, mijn vragen te beantwoorden en mijn afstudeeronderzoek te sturen. Mijn dank gaat ook uit naar Danny, omdat je tijd voor mij hebt vrijgemaakt terwijl je planning dit eigenlijk niet toeliet. Daarnaast gaat mijn dank uit naar mensen (collega's, oud-collega's en nieuwe contacten) die mij hebben voorzien van informatie en mijn vragen hebben beantwoord. Als laatste gaat mijn dank uit naar mijn ouders, voor het mogelijk maken voor mij om te studeren en hun onvoorwaardelijke steun en liefde.

Sofie Robijns
Utrecht, 6 oktober 2015

Samenvatting

Aanleiding voor het afstudeeronderzoek is dat er voor duurzame gebouwen met BREEAM certificering geen aanvullende eisen worden gesteld aan de brandveiligheid van het gebouw. Het gebouw dient enkel te voldoen aan de eisen uit het Bouwbesluit. De eisen uit het Bouwbesluit dienen 2 doelen: het beperken van slachtoffers en het beperken van branduitbreiding naar eigendommen van derden. Er wordt geen rekening gehouden met schade aan het gebouw en bedrijfscontinuïteit van het bedrijf dat in het gebouw gevestigd is. Voor een duurzaam gebouw kan het nuttig zijn om een duurzaam brandbeveiligingsconcept te ontwerpen.

Het doel van het afstudeeronderzoek is om vast te stellen welke materialen en aansluitingen een positief effect hebben op de verbetering van de brandscheidingen binnen een gebouw met een industrie functie en in hoeverre de verbetering van de brandscheidingen een effect heeft op de duurzaamheidsbeoordeling binnen BREEAM.

De scriptie is opgedeeld in een onderzoek en analyse deel en een projectdeel. In het onderzoek en analyse deel wordt onderzoek gedaan naar tekorten in brandscheidingen, brandveilige detaillering, de faalkansen van brandscheidingen, de BREEAM beoordeling van materialen en het model “Cascademodel – probabilistic building lifetime” wordt toegelicht. In het projectdeel worden de resultaten uit het onderzoek en de analyse toegepast op een project.

De verbetering van de brandscheidingen is onderzocht door de veel voorkomende tekorten in brandscheidingen vast te stellen aan de hand van brandonderzoeksrapporten, inspectierapporten en de ervaring van inspecteurs. Uit het onderzoek naar tekorten in brandscheidingen blijkt dat het gebruik van materialen een grote invloed heeft op de brandwerendheid van brandscheidingen en op de branduitbreiding binnen een gebouw. De uiteindelijke weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag van een brandscheiding wordt mede bepaald door de aanwezige aansluitingen op gevels en daken. Deze aansluitingen hebben een grote invloed op de prestatie van de brandwerende wand.

De verbetering van de brandscheidingen op de onderdelen materialen en aansluitingen is uitgewerkt in detailopties. De detailopties zijn beoordeeld door experts op faalkansen van de brandscheiding en de aangrenzende constructie. Het gebruik van de cellenbeton brandwand in combinatie met PIR dak- en gevelpanelen wordt het meest gunstig beoordeeld. De details van de wand/dak aansluiting waarbij de brandscheiding door loopt door het dak worden gunstiger beoordeeld dan de details waarbij de wand tot de isolatie of de stalen dakplaten doorloopt (ongeacht het gebruik van materialen).

In de projecttoepassing is het onderzoek toegepast op het project Kloosterboer. In de projecttoepassing wordt de verwachte levensduur en de BREEAM beoordeling op het onderdeel materialen van de bestaande brandscheidingen vergeleken met de verwachte levensduur en de BREEAM beoordeling op het onderdeel materialen van de nieuw ontworpen brandscheidingen. De verwachte levensduur van het nieuwe concept is groter dan de verwachte levensduur van het bestaande concept. De beoordeling van beide concepten op het gebied van materialen binnen BREEAM blijft vrijwel gelijk. Het verbeteren van de brandscheidingen heeft in het geval van Kloosterboer geen effect op de BREEAM score. Door het verbeteren van de brandscheidingen wordt de kans op bedrijfscontinuïteit na een brand vergroot en de schade door brand beperkt. Er kan dus gezegd worden dat de duurzaamheid van project verhoogd wordt wanneer de brandscheidingen betrouwbaarder zijn.

Summary

The inducement for this research is that the lack of additional requirements for the fire safety in sustainable buildings with BREEAM certification. The building has to meet the requirements of the Building decree (Bouwbesluit) only. The requirements as described in the Building decree serve two purposes: to reduce casualties and limiting fire spread to third party properties. Damage to the building and the business continuity isn't taken into account in the Building decree. It can be useful to design a sustainable fire protection system for a sustainable building.

Research purposes are to identify the materials and connections that have a positive effect on the improvement of the fire barriers within a building with an industrial building, and the extent of the improvement on the fire barriers have an effect on the sustainability assessment within BREEAM.

The thesis is divided into a research and analysis part and a project part. In the research and analysis part research had been done to the shortages in fire barriers, fireproof detailing, the failure probabilities of fire barriers, the BREEAM assessment of materials and the model "Cascade Model - probabilistic building lifetime" is explained. The results of the research and analysis are applied to a project in the project part of the thesis.

The improvement of fire barriers is examined by establishing the common shortages in fire barriers using fire research reports, inspection reports and the experience of inspectors. The study on shortages in fire barriers shows that the use of materials has a large influence on the fire resistance of fire barriers and to the fire spread within a building. The eventual resistance to fire of the wall is determined by the applied connections to façades and roofs. These connections have a large impact on the performance of the fire-resistant wall.

The improvement of the fire barriers on the components materials and connections to adjacent construction such as roofing and façades has been worked out in detail drawings. The detail drawings have been assessed by experts on the risk of failure of the fire barriers and the adjacent structure. The use of the aerated concrete fire wall in combination with PIR insulated roof and wall panels is assessed as the most profitable detail. The details of the wall / roof connection where the fire barrier passes through the roof is more opportune over the details in which the wall extends to the insulation or steel roofing sheets.

In the project part of the thesis the research to the fire barriers is applied to the project Kloosterboer. The expected building lifetime and the BREEAM assessment on the component materials of the existing fire barriers are compared to the expected building lifetime and the BREEAM assessment on the component materials of the newly designed fire barriers. The expected building lifetime of the new concept is higher than the expected building lifetime of the existing concept. The assessment of both concepts in terms of the sustainability of materials within BREEAM remains almost unchanged. The improvement of the fire barriers has no effect on the BREEAM score in the case of project Kloosterboer. The probability of business continuity is increased and the damage to the building will be more limited by improving the fire barriers. Therefore it can be said that the sustainability of the project is increased when the fire separations are more reliable.

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting.....	5
Summary	6
Inhoudsopgave	7
1. Inleiding.....	9
1.1 Aanleiding onderzoek	9
1.2 Onderzoeksgrenzen	12
1.3 Onderzoeksvragen	12
1.4 Onderzoeksdoelstelling.....	12
1.5 Werkwijze	13
1.6 Theoretische achtergrond brandveiligheid.....	14
Onderzoeksresultaten en analyse	19
2. Tekorten in brandscheidingen.....	19
2.1 Tekorten in brandscheidingen aan de hand van brandonderzoek	22
2.2 Samenvatting en aanbevelingen tekorten volgens brandonderzoek	22
2.3 Tekorten in brandscheidingen naar aanleiding van inspecties	24
2.3.1 Masterscriptie “research to the performance and adequacy of fire comparimentation”	27
2.3.2 Tekortkomingen in brandscheidingen op basis van ervaring inspecties Nieman.....	27
2.4 Samenvatting en aanbevelingen tekortkomingen naar aanleiding van inspecties.....	29
3. Verbetering van de brandscheidingen	31
3.1 Onderzoek materialen en producten	28
3.2 Samenvatting en conclusies verbetering van de brandscheidingen.....	29
4. Faalkansen.....	35
4.1 Conclusies faalkansen	37
5. Beoordeling duurzaamheid materialen.....	39
MAT 1: Bouwmaterialen.....	39
Nationale milieudatabase en de materialentool.....	40
6. Cascademodel en model “probabilistic building lifetime”	43
Projecttoepassing	47
7.1 Het gebouw.....	48
7.2 Brandbeveiligingsconcept Kloosterboer	48
7.3 Verbetering van het brandbeveiligingsconcept Kloosterboer	48
7.4 Verwachte levensduur	48
7.5 Duurzaamheid.....	48
7.6 Conclusies projecttoepassing.....	48
8. Beperkingen van het onderzoek.....	53
9. Conclusies.....	55
10. Aanbevelingen.....	57
11. Bronnenlijst	59

1. Inleiding

1.1 Aanleiding onderzoek

In Nederland worden bouwvoorschriften gegeven in het Bouwbesluit. Het Bouwbesluit wordt aangestuurd door de Woningwet. In het Bouwbesluit worden eisen gesteld aan de veiligheid, gezondheid, bruikbaarheid, energiezuinigheid en milieuvriendelijkheid, installaties, het gebruik en de bouw- en sloopwerkzaamheden van een gebouw. Binnen de hoofdstukken veiligheid, installaties en gebruik worden eisen gesteld aan de brandveiligheid van een gebouw. De brandveiligheidsvoorschriften die gegeven worden in het Bouwbesluit dienen 2 doelen:

- Het beperken van slachtoffers ten gevolge van brand
- Het beperken van branduitbreiding naar eigendommen van derden.

Bovenstaande doelen kunnen worden uitgewerkt in doelen die aansluiten bij eisen uit het Bouwbesluit:

- Veilige omgeving (beperking branduitbreiding naar eigendommen van derden)
- Veilig gebouw (beperken bezwijken draagconstructie)
- Veilige compartimentering (beperking uitbreiding brand en rook)
- Veilige vluchtroutes en aanvalsroutes

Bovenstaande doelen creëren een brandveilig gebouw op het gebied van veilig vluchten (beperken slachtoffers) en het beperken van uitbreiding naar buurpanden maar beperken niet de schade aan het gebouw. In de huidige regelgeving wordt geaccepteerd dat een gebouw volledig of grotendeels kan afbranden. In feite wordt een afbrandscenario ontworpen, wat volgens de vastgestelde doelen van het Bouwbesluit als voldoende veilig wordt beschouwd.

In de afgelopen jaren is het ontwerpen en bouwen van duurzame gebouwen sterk gegroeid. Binnen het ontwerpen en bouwen van duurzame gebouwen wordt rekening gehouden met de volgende onderwerpen die betrekking hebben op bouwtechnische onderdelen van het gebouw:

- Ontwerp een gebouw met een lange technische levensduur. Een gebouw met een langere levensduur is duurzamer dan een gebouw met een korte levensduur;
- Houdt bij het ontwerp (indeling en materiaalgebruik) zoveel mogelijk rekening met hergebruik van het gebouw en recycling van de bouwmaterialen wanneer het gebouw of gebouwdelen worden gesloopt;
- Een gebouw herbestemmen, renoveren of splitsen is duurzamer dan een gebouw slopen;
- Het toepassen van duurzame technieken kan een besparing opleveren in energie- en materiaalgebruik. ⁽¹⁾

Voor duurzame gebouwen met BREEAM certificaat worden geen aanvullende eisen gesteld aan het brandveiligheidsconcept van dat gebouw, er hoeft enkel voldaan te worden aan de eisen in het Bouwbesluit. De publiekrechtelijke doelen van het Bouwbesluit op het gebied van brandveiligheid sluiten niet aan bij de doelen van een duurzaam gebouw. Het behoud van het gebouw na een brand kan goed aansluiten bij de doelen van duurzaam bouwen. Gebouwen met een afbrandscenario bezitten een kortere verwachte levensduur dan gebouwen waarin een brand een kleinere impact heeft. De verwachte levensduur van het gebouw wordt vastgesteld door onderzoek te doen naar de verschillende brandbeveiligingsvoorzieningen en de faalkans van deze voorzieningen. Aan de hand van de faalkansen van de voorzieningen in combinatie met de kans op een brand binnen het gebouw met een bepaalde gebruiksfunctie kan een schatting van de verwachte levensduur worden gemaakt. Uit vooronderzoek blijkt dat bij een gebouw met een industriefunctie met een ontwerplevensduur van 50 jaar, de verwachte levensduur tussen de 40 en 50 jaar ligt. Deze inschatting is gemaakt met het model “Cascademodel – probabilistic building lifetime”. ⁽²⁾

Naast het behoud van het gebouw is ook de bedrijfscontinuïteit van belang. Wanneer de schade aan het gebouw beperkt wordt, zal de kans op bedrijfscontinuïteit vergroten. Immers, wanneer er grote schade door een brand aan een gebouw is moet er gezorgd worden voor nieuwe huisvesting, de productie van het bedrijf valt stil of gaat

zodanig omlaag dat klanten overstappen naar concurrerende partijen. Ongeveer 60% van alle bedrijven die worden getroffen door een grote brand gaan failliet, ook al waren ze verzekerd (P. W. van Calis, presentatie *duurzaamheid als brandveiligheidsdoel*, 19 mei 2015).

Door een doelgericht brandveiligheidsconcept te ontwerpen voor duurzame gebouwen kan naast de doelen uit het Bouwbesluit ook rekening gehouden worden met private doelen als:

- Duurzaamheid en schadebeperking (behoud gebouw);
- Continuïteit bedrijf. ⁽²⁾

Brandbeperking en beheersing tot een kleiner deel van het gebouw leidt tot een meer duurzaam brandconcept. Brand wordt in dat geval beperkt door bouwtechnische, installatietechnische en/of organisatorische (BIO) voorzieningen.

1.2 Onderzoeksgrenzen

Om te voorkomen dat het onderzoek te groot wordt zijn onderzoeksgrenzen vastgesteld. Het onderzoek wordt alleen uitgevoerd binnen de vastgestelde gebieden en onderwerpen. Door duidelijke onderzoeksgrenzen vast te stellen wordt de kwaliteit van het te onderzoeken werk gewaarborgd.

Het onderzoek zal zich beperken tot duurzame gebouwen met een industriefunctie, in de volgende alinea wordt toegelicht waarom gekozen is voor gebouwen met een industriefunctie. Er wordt enkel gekeken naar bouwtechnische oplossingen voor de verbetering van inwendige (wanden, vloeren) en uitwendige (dak, gevel) scheidingsconstructies. Het onderzoek wordt voornamelijk gericht op de verbetering van de brandveiligheid binnen een duurzaam gebouw, er wordt daarom in mindere mate rekening gehouden met de duurzaamheid van de oplossingen. Wel wordt aan het eind van het onderzoek bekeken in hoeverre het verbeterde brandbeveiligingsconcept in hoofdlijnen meer of minder duurzaam is dan het originele concept.

Het onderzoek wordt uitgevoerd binnen gebouwen met een industriefunctie. Het risico op branduitbreiding binnen industriepanden is veelal groter dan bij gebouwen met een andere gebruiksfunctie. Ten eerste omdat panden met een industriefunctie een brandcompartimentoppervlak van 2500 m² mogen hebben, waar bij panden met een andere gebruiksfunctie een maximale brandcompartimentoppervlak van 1000 m² is toegestaan. Binnen panden met een industriefunctie wordt daarnaast regelmatig de methode beheersbaarheid van brand toegepast, waardoor nog grotere brandcompartimentoppervlakken toegestaan worden. Ten tweede omdat er in panden met een industriefunctie vaak sprake is van veel opslag, dit kan bijdragen aan de vuurlast binnen het gebouw. Ten derde kunnen in panden met een industriefunctie verschillende bewerkingen van materialen plaatsvinden, die een risico op het ontstaan van brand vergroten. Als laatst worden panden met een industriefunctie vaak gebouwd met lichte gevel- en dakconstructies en wordt er veel gebruik gemaakt van brandbare isolatiematerialen. Wanneer het isolatiemateriaal eenmaal brand kan de brand zich snel verspreiden over het gehele gebouw.

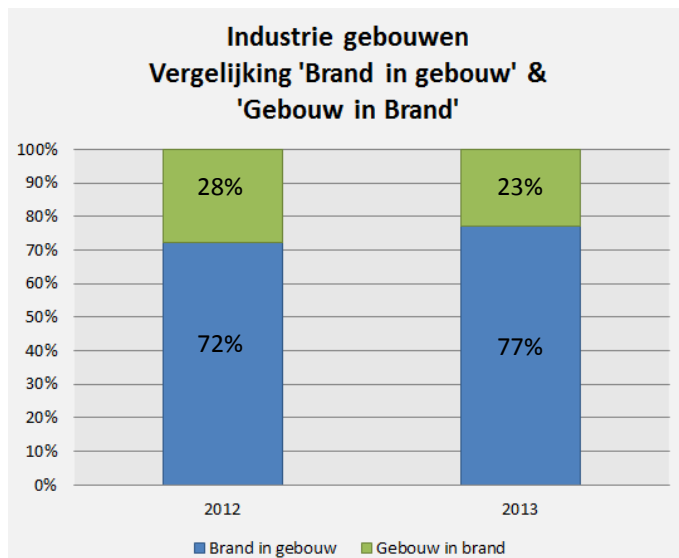
Uit onderzoek naar branden met meer dan een miljoen euro schade is in de afgelopen 4 jaar te constateren dat het grootste deel van de branden met meer dan een miljoen euro schade branden binnen een gebouw met een industriefunctie betreffen. In tabel 1 staat het aantal branden, de schadebedragen en de percentages van gebouwen met een industriefunctie weergegeven.

Jaar	Aantal branden	Schadebedrag totaal	Aantal branden industriefunctie	Schadebedrag industriefunctie	Percentage aantal branden	Percentage schadebedrag
2011	91	€ 345.000.000	42	€ 182.000.000	46%	53%
2012	120	€ 365.100.000	42	€ 174.000.000	35%	48%
2013	148	€ 636.500.000	66	€ 454.200.000	45%	71%
2014	100 (3 kwartalen)	€ 379.500.000	35	€ 231.000.000	35%	61%

Tabel 1. Branden met een schadebedrag van meer dan een miljoen: industriefunctie en totaal (overige functies).

Uit tabel 1 blijkt dat binnen miljoenenbranden in de afgelopen 4 jaar 35 – 46 % van het totale aantal branden plaatsvond in een gebouw met een industriefunctie. Bovendien wordt 41 – 71% van het totale schadebedrag veroorzaakt door branden binnen een gebouw met een industriefunctie. ⁽³⁾

Naast het aantal branden en de schadebedragen kan er ook onderscheid gemaakt tussen “brand in een gebouw” en “een gebouw in brand”. Bij een “brand in een gebouw” staat voornamelijk de inhoud (inboedel) van het gebouw in brand. Bij “een gebouw in brand” is het gebouw zelf gaan branden, en wordt de brandvoortplanting o.a. veroorzaakt door het gebouw. In grafiek 1 wordt weergegeven hoeveel procent van de miljoenenbranden binnen een industriefunctie een brand in een gebouw beslaat, en hoeveel procent er sprake is van een gebouw in brand. ⁽⁴⁾ Van de panden waarbij sprake was van een gebouw in brand kan gezegd worden dat het gebouw afgebrand is.



Grafiek 1. 2012: gebouw in brand 28%, 2013: gebouw in brand: 23%. ⁽⁴⁾

1.3 Onderzoeksvragen

De hoofdvraag van het onderzoek luidt als volgt:

In welke mate kan de detaillering van inwendige en uitwendige scheidingconstructies de betrouwbaarheid van deze constructies vergroten en leiden tot een vergroting van de verwachte levensduur van een gebouw met industriefunctie met BREEAM certificering?

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden zijn de volgende deelvragen opgesteld:

1. *Welke branden in de afgelopen 5 jaar met meer dan een miljoen euro schade waren grote, belangrijke branden binnen een industriefunctie en wat was een veel voorkomende oorzaak van branduitbreiding?*
2. *In welke mate wordt de schade aan een gebouw veroorzaakt door brand, en in welke mate wordt de schade in een gebouw veroorzaakt door rook?*
3. *Welke onderdelen of aansluitingen van inwendige en uitwendige scheidingsconstructies zijn veel voorkomend de oorzaak van het falen van die constructie?*
4. *Op welke wijze wordt de duurzaamheid van een materiaal binnen BREEAM beoordeeld?*
5. *In hoeverre bedraagt die beoordeling van materialen op duurzaamheid toe aan de brandveiligheid van het gebouw?*
6. *Hoe kunnen materiaalgebruik, de combinatie van materialen en onderlinge verbindingen tussen inwendige en uitwendige scheidingsconstructies bijdragen aan de betrouwbaarheid van deze inwendige en uitwendige scheidingsconstructies?*
7. *Hoe wordt de faalkans van een scheidingsconstructie bepaald?*
8. *Welke private doelstellingen op het gebied van brandveiligheid kunnen aan de hand van het literatuuronderzoek voor een duurzaam gebouw met BREEAM certificering worden opgesteld?*
9. *Wat is het cascademodel en hoe wordt hier gebruik van gemaakt?*
10. *Wat is de status van het brandbeveiligingsconcept van project Kloosterboer te Maasvlakte?*
11. *Hoe kan het huidige brandbeveiligingsconcept van project Kloosterboer aan de hand van detaillering worden verbeterd op het gebied van inwendige en uitwendige scheidingsconstructies?*
12. *Wat is de verwachte levensduur aan de hand van het cascademodel - probabilistic building lifetime model voor project Kloosterboer bij zowel het huidige als het nieuw ontworpen brandbeveiligingsconcept?*
13. *Wat is de beoordeling van het huidige gebouw van project Kloosterboer op het gebied van duurzaamheid?*
14. *Wat zal de beoordeling van het gebouw op hoofdlijnen van project Kloosterboer zijn op het gebied van duurzaamheid met het nieuw ontworpen brandbeveiligingsconcept?*

Deelvraag 1 is verwerkt in hoofdstuk 2.1 en 2.2. Deelvraag 2 wordt niet behandeld in het onderzoek, de reden hiervan is weergegeven in bijlage 1. Deelvraag 3 wordt behandeld in 2.3 en 2.4. Deelvraag 4 wordt behandeld in hoofdstuk 5. Deelvraag 5 wordt behandeld in hoofdstuk 5. Deelvraag 6 wordt behandeld in hoofdstuk 3. Deelvraag 7 wordt behandeld in hoofdstuk 4. Deelvraag 8 en 9 worden behandeld in hoofdstuk 6. Deelvraag 10 t/m 14 worden behandeld in hoofdstuk 7.

1.4 Onderzoeksdoelstelling

Het doel van het afstudeeronderzoek is om vast te stellen welke materialen en aansluitingen een positief effect hebben op de verbetering van de brandscheidingen binnen een gebouw met een industriefunctie en in hoeverre de verbetering van de brandscheidingen een effect heeft op de duurzaamheidsbeoordeling binnen BREEAM. Door gebruik te maken van het model “cascademodel – probabilistic building lifetime” wordt vastgesteld in welke mate de verbetering van de brandveiligheid een positief effect kan hebben op de duurzaamheid, namelijk door een eventueel langere verwachte levensduur.

1.5 Werkwijze

In het afstudeeronderzoek wordt eerst theoretische achtergrondinformatie gegeven over brand, brandscheidingen en de brandwerendheid van materialen. Dit wordt gedaan om de basiskennis van de beoordelaars op het gebied van brand en brandveiligheid te vergroten. Door het vergroten van deze kennis is wordt de scriptie leesbaar voor mensen met een beperkte kennis over brandveiligheid.

De scriptie is op te delen in 2 onderdelen: het onderzoek en de projecttoepassing.

In het gedeelte “onderzoek” van de scriptie wordt onderzoek gedaan naar de veel voorkomende tekorten in brandscheidingen om vast te stellen op welke onderdelen brandscheidingen vaak falen. Het vaststellen van deze tekorten wordt gedaan aan de hand van brandonderzoeksrapporten en aan de hand van inspectierapporten. De tekorten die vastgesteld worden binnen de brandonderzoeksrapporten geven weer welke onderdelen, aansluitingen en materialen binnen een brandscheiding in werkelijkheid vaak bijdragen aan de branduitbreiding binnen een gebouw. De tekorten die vastgesteld worden binnen de inspectierapporten geven een overzicht van de onderdelen, aansluitingen en materialen binnen een brandscheiding waarvan experts (inspecteurs) weten dat deze bijdragen aan de branduitbreiding binnen een gebouw. Ook wordt een beeld gegeven welke tekortkoming vaak gevonden worden tijdens inspecties naar de brandscheidingen.

Binnen het onderzoek worden alleen de tekortkomingen die voorkomen kunnen worden bij het brandveilig detailleren van de brandscheidingen verder behandeld. De vastgestelde tekortkomingen worden daarom gefilterd op materiaalgebruik en aansluitingen. Onderdelen zoals bijvoorbeeld deuren of beglazing worden niet meegenomen in de detaillering, vaak worden deze aangegeven als: “60 minuten brandwerende deur, toepassen conform opgave leverancier”. Er worden oplossingen gegeven voor het verbeteren van de detaillering van brandscheidingen, waardoor de kans op een tekortkoming wordt voorkomen of beperkt.

De oplossingen worden verwerkt in verschillende detailtekeningen, waarna aan experts hun mening wordt gevraagd over de faalkans van de verschillende detailoplossingen. De faalkans van de details wordt vastgesteld op verschillende onderdelen en onderwerpen.

Er wordt vastgesteld hoe het materiaalgebruik binnen een gebouw wordt beoordeeld op duurzaamheid in de BREEAM certificatie. Als laatst wordt binnen het onderzoeksgedeelte de bepaling van de verwachte levensduur aan de hand van “cascademodel – probabilistic building lifetime” toegelicht.

In het gedeelte “projecttoepassing” worden de oplossingen uit het onderzoek toegepast op een project. Dit wordt gedaan om te controleren of de toepassing van de oplossingen werkbaar zijn en of de oplossingen een effect hebben op de BREEAM beoordeling en de verwachte levensduur van het gebouw.

1.6 Theoretische achtergrond brandveiligheid

Om een goed beeld te krijgen van belangrijke onderdelen en onderwerpen binnen de brandveiligheid wordt eerst informatie gegeven voor o.a. wet- en regelgeving van brand en het gedrag van constructies en materialen bij brand. Alleen de belangrijkste termen zijn weergegeven in dit hoofdstuk, de rest van de theoretische achtergrond is te lezen in bijlage 2. Er wordt aangeraden eerst bijlage 2 door te lezen voordat de rest van het verslag wordt gelezen.

Wet- en regelgeving

In Bouwbesluit 2012 worden eisen gesteld aan de toepassing van materialen met betrekking tot brandveiligheid. Er worden eisen gesteld aan constructieonderdelen en er wordt aandacht besteed aan inrichtings- en aankledingsmaterialen. De eisen zijn onder meer vastgelegd in brand- en rookklassen. Voor de aankleding worden eisen gesteld aan de brandbaarheid en navlamduur van materialen.

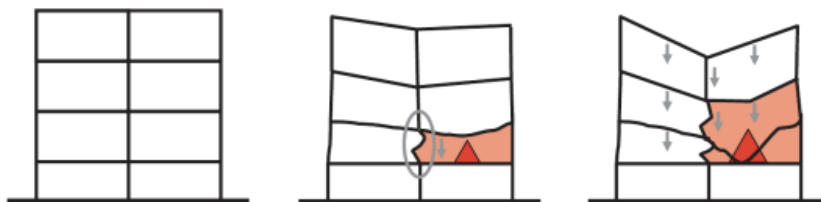
Classificatie van materialen en samengestelde constructieonderdelen

Bij het gebruik van materialen is het van belang om te kijken naar de uiteindelijke toepassing van het materiaal, ook wel “end use application” genoemd. Materialen worden afzonderlijk getest en in een brand- en rookklasse ingedeeld, maar er wordt ook getest op samengestelde constructies. Wanneer een materiaal op zichzelf weinig invloed heeft op de brand- en rookontwikkeling, wil dat nog niet zeggen dat er in combinatie met een achterconstructie geen onverwachte reacties kunnen optreden. Houten latten bevestigd op een steenachtige achterconstructie zullen zich anders gedragen dan wanneer ze in een luchtspouw worden toegepast. Het is daarom van belang om te controleren of een materiaal is getest in de constructie die toegepast gaat worden. Wanneer een materiaal voor een bepaalde toepassing is getest en gecertificeerd, kan dit certificaat niet zomaar voor elke (vergelijkbare) toepassing gebruikt worden.

Constructiegedrag

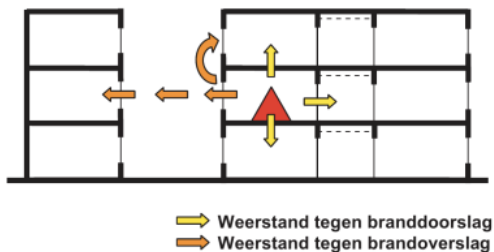
Er bestaan 2 soorten brandwerendheid op het gebied van constructiegedrag: het bezwijkgedrag van de dragende constructie en het faalgedrag van een scheidende functie.

Het bezwijken van de dragende constructie heeft betrekking op hoe lang het gebouw gedurende een brand blijft staan, zonder in te storten of zodanig te vervormen dat het de belasting niet meer kan houden. Het gebouw mag niet bezwijken terwijl er nog mensen het gebouw moeten verlaten. Ook moet de brandweer het gebouw kunnen ontruimen en doorzoeken. Er moet dus voldoende tijd zijn om te vluchten en de brandweer tijd te geven om het gebouw te doorzoeken. De eisen aan de brandwerendheid van de constructie worden gegeven in het Bouwbesluit, en wordt weergegeven in minuten. In figuur 1 wordt het gevolg van het bezwijken van een kolom schematisch weergegeven.



Figuur 1. Effect op de constructie na het bezwijken (vervormen/instorten) van 1 kolom. ⁽¹⁹⁾

Het faalgedrag van een scheidende constructie heeft te maken met het beschermen van het gebouw en personen tegen een snelle branduitbreiding. De brandwerendheid van een scheidende functie is de mate waarop de constructie een brand tegen kan houden. De eisen aan de brandwerendheid van een scheidingsconstructie worden gegeven in het Bouwbesluit. De eisen worden weergegeven in aantal minuten WBDBO. WBDBO staat voor “weerstand branddoorslag en brandoverslag”. Branddoorslag is de uitbreiding van brand binnendoor, dus via vloeren en wanden in het gebouw. Brandoverslag is de branduitbreiding buitenom, dus via (openingen in de) gevels van het gebouw (zie figuur 2).



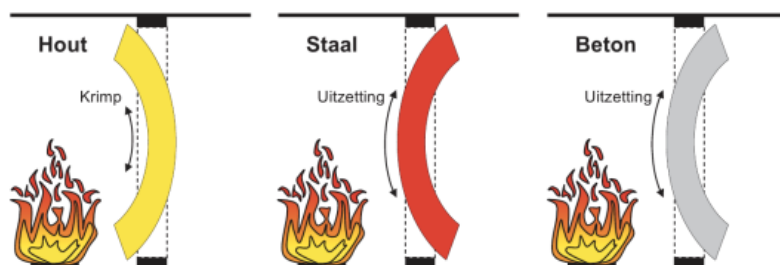
Figuur 2. WBDBO. ⁽¹⁹⁾

De brandwerendheid van een scheidende functie wordt bepaald door meerdere factoren:

- Het gebruik van materialen, en de brandwerende eigenschappen van deze materialen;
- Het gebruik van bevestigingsmiddelen en het aantal bevestigingsmiddelen;
- Onderlinge bevestiging en detaillering van de onderdelen;
- De aanwezige draagconstructie (wanneer deze vervormd, wat doen de elementen?).

Voorbeelden van elementen in een scheidende functie zijn: wanden, vloeren, doorvoeringen als kanalen en buizen, roosters, aansluiting en afdichting op andere wanden of vloeren, ramen en deuren.

Bij zowel het bezwijken van de draagconstructie, als het falen van de scheidingsconstructie is de vervorming van verschillende materialen een belangrijke factor. Veel toegepaste materialen zijn hout, staal(aluminium) en beton. In figuur 3 zijn de vervormingen van deze materialen bij brand weergegeven. ⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾



Figuur 3. Vervorming van hout, staal en beton. ⁽¹⁹⁾

Bezwijkgedrag van staalconstructies

Wanneer een stalen draagconstructie gedeeltelijk is afgeschermd van de brand ontstaat een ongelijkmatige temperatuurverdeling in het element. Door een ongelijkmatige temperatuurverdeling gaat het staal vervormen en trekt de constructie krom. Ook zet een staalprofiel uit bij verhitting. Naast het vervormen en uitzetten van de constructie nemen de stijfheid en de vloeigrens van staal af bij verhitting. Vanaf ca. 200°C neemt de stijfheid van staal af, vanaf ca. 400°C neemt de vloeigrens af. Bij het afnemen van de stijfheid zal het staal sneller vervormen. Bij het afnemen van de vloeigrens gaat het staal sneller plastisch vervormen, dit wil zeggen dat de constructie blijvend vervormd is.

Na het afkoelen van het staal bezit staal nog een groot deel (90%) van zijn oorspronkelijke sterkte. Het verkrijgen van voldoende brandwerendheid van een staalconstructie wordt vaak gedaan aan de hand van bescherming van het staal. ^{(19)(20) (21)}

Faalgedrag scheidingen

Het falen van een scheidingsconstructie betekent dat de scheiding onvoldoende weerstand kan bieden tegen de uitbreiding van brand. Branduitbreiding kan optreden wanneer vlammen aan de onverhitte zijde van de scheidingsconstructie komen, of als de scheidingsconstructie te warm wordt of als de scheidingsconstructie te veel straling doorlaat. Of daadwerkelijk branduitbreiding optreedt is afhankelijk van de situatie. Wanneer er tegen de onverhitte zijde van de scheidingsconstructie brandbare voorwerpen zoals meubels staan, kunnen deze gaan mee branden. Wanneer er echter geen brandbare voorwerpen aan de onverhitte zijde staan zal er hoogstwaarschijnlijk geen branddoorslag optreden.

Vlammen, hete oppervlakken en straling aan de onverhitte zijde kunnen het gevolg zijn van een bestaande opening binnen de scheidingsconstructie of van het falen van de scheidingsconstructie. Bij het falen van de scheidingsconstructie kan het gevolg zijn 1 of een samenspel van de volgende onderwerpen:

- Het vervormen van de constructiedelen;
- Het wegvallen van constructiedelen;
- Het branden van constructiedelen;
- Warmtegeleiding en het doorlaten of uitzenden van straling door constructiedelen.

De richting en mate van de vervorming of uitzetting van constructiedelen is een belangrijk component binnen het falen van scheidingsconstructies. Wanneer gebruik wordt gemaakt van verschillende materialen moet er rekening gehouden worden met verschillende uitzettingen en vervormrichtingen. Belangrijke onderdelen binnen de vervorming van een constructie zijn: drukverschillen, verschil in opwarming, verschil in bewegingsvrijheid van de verschillende materialen en het verschil in afmetingen.

Het wegvallen van constructiedelen kan ontstaan door: het smelten van de constructie, het wegzakken van constructiedelen door smelting, het door-, in- of wegbranden van constructiedelen of het wegvallen van de constructie door onvoldoende bevestiging. Het wegvallen door onvoldoende bevestiging kan ontstaan doordat de onderconstructie of het bevestigingsmateriaal door-, in- of wegbrand, het smelten (plastisch worden) van de bevestiging of de onderconstructie en het losspringen van bevestigingen.

Het branden van constructiedelen kan ontstaan door het gebruik van brandbare materialen. Het lijkt een slechte keus om in scheidingsconstructies brandbare materialen te gebruiken. Dit blijkt echter toch vaak te gebeuren, materialen worden namelijk gekozen op basis van verschillende criteria: uiterlijk, functionaliteit (bijv. geluidwerendheid of isolerende waarde), kosten etc.

Warmtegeleiding en het doorlaten of uitzenden van straling door constructiedelen kan zorgen voor branduitbreiding wanneer er brandbare voorwerpen tegen de onverhitte zijde van de scheidingsconstructie zijn geplaatst. Ook wanneer de brandbare voorwerpen niet tegen maar wel nabij de scheiding staan kan branduitbreiding plaatsvinden door straling.

Bij een hoge oppervlaktetemperatuur aan de onverhitte zijde van de scheidingsconstructie is sprake van geleiding door constructies met een hoge warmte geleidingscoëfficiënt zoals metalen.

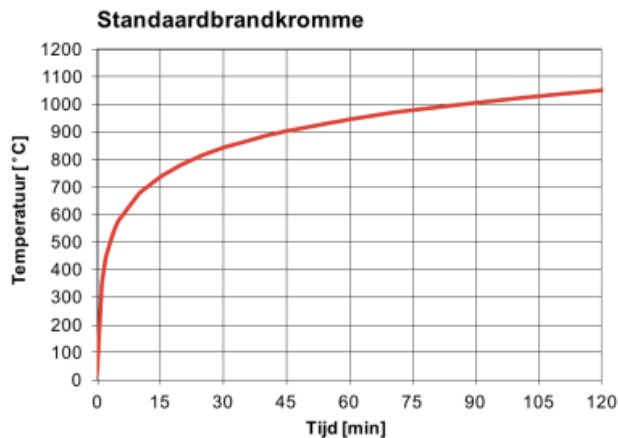
Een hoge uitgezonden stralingstemperatuur aan de onverhitte zijde van de scheidingsconstructie kan het gevolg zijn van een hoge oppervlaktetemperatuur of van het doorlaten van warmtestraling van de brand (bijv. bij glas).

Het falen van de scheidingsconstructie is een samenloop van omstandigheden en kan afhankelijk zijn van veel verschillende factoren binnen de constructie. Het gedrag van een scheidingsconstructie wordt beoordeeld aan de hand van een van de volgende manieren: door een brandproef/test of door een berekening.

De berekening wordt gedaan bij constructies die bestaan uit standaard constructiematerialen zoals staal, hout of beton. De berekeningen worden vooral toegepast op vloeren, wanden en kolommen.

Bij het beoordelen door middel van een brandproef wordt de (scheidings)constructie tegen, in of op een oven

geplaatst waarna de oven de temperatuurverloop van een brand nabootst. Meestal wordt hiervoor de oven opgestookt volgens de standaard brandkromme (zie grafiek 2), maar er bestaan ook andere brandkrommen.



Binnen elke brandkromme wordt een flashover nagebootst en volgt hierna een volledig ontwikkelde brand. Ook loopt de temperatuur binnen 15 minuten op tot minstens 700 graden. Bij een flashover in een ruimte gaat de groeifase over in de brandfase. Tijdens een flash-over is de temperatuur in de rooklaag zo hoog dat de stralingstemperatuur van die rooklaag alle brandbare materialen, inclusief de rooklaag, via ontleding tot ontbranding brengt. Dit gebeurt in ongeveer 10 – 30 seconden, waarbij de rooklaag een temperatuur van 500 – 600°C heeft. ^{(19)(20) (21)}

Grafiek 2. Standaard brandkromme. ⁽¹⁹⁾

Klassen binnen constructiegedrag

Bij het klasseren, ook wel classificeren genoemd, worden de prestaties van een product volgens een afgesproken systeem ingedeeld in klassen. De classificatie is een combinatie van letters en cijfers zoals bijvoorbeeld EW30 en EI60. De cijfers geven de tijd aan waarbinnen bepaalde criteria niet worden overschreden. De tijd wordt naar beneden afgerond op 1 van de volgende getallen (minuten): 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 240 of 360.

De letters geven een criteria (eigenschap) aan, waarop de constructie getest wordt. Het verschilt per land welke eigenschappen worden gebruikt om te testen. In Nederland worden constructies alleen beoordeeld op de eigenschappen:

- R: Dragende functie
- E: Vlamdichtheid
- I: Thermische isolatie
- W: Straling

Bijvoorbeeld: glas met de klasse EI30 heeft 30 minuten aan de criteria thermische isolatie en vlamdichtheid voldaan. ^{(19)(20) (21)}

Brandklassen

Na het testen van het brandgedrag kunnen plaatvormige materialen en producten worden geklasseerd. Binnen het brandgedrag van materialen en producten worden 3 criteria onderscheiden. Allereerst het brandgedrag van het materiaal, hierin wordt o.a. bepaald hoeveel warmte wordt geproduceerd en hoe snel of langzaam het materiaal opbrand. Ten tweede wordt o.a. bepaald hoeveel rook wordt geproduceerd en wat de dichtheid van deze rook is. Als laatste wordt vastgesteld of het product brandende deeltjes produceert tijdens een brand waardoor branduitbreiding plaats kan vinden. Onderstaande klassen zijn van toepassing binnen heel Europa:

- Brandklassen: A1, A2, B t/m F. Binnen deze klasse is A1 het minst brandbaar en F onbeperkt brandbaar.
- Rookklassen: s1 t/m s3. Binnen deze klasse produceert s1 het minste rook en s3 het meeste rook.
- Brandende vallende deeltjes: d0 t/m d2. Binnen deze klassen betekend d0 geen vallende brandende deeltjes en d2 betekend dat brandende vallende deeltjes worden geproduceerd, die langer dan 10 seconde blijven nabranden.

Voor vloeren zijn dezelfde brandklassen van toepassing. Aan elke klasse wordt echter wel een onderschrift “fl” van flooring toegevoegd. Bij vloeren zijn alleen brandende vallende deeltjes niet van toepassing. Ook worden pijpisolatie en kabels geklasseerd volgens bovenstaand systeem.

Onderzoeksresultaten en analyse

2. Tekorten in brandscheidingen

Binnen het onderzoek is opgevallen dat er weinig onderzoek gedaan wordt naar het falen van brandscheidingen. De laatste jaren wordt er door de brandweer steeds meer onderzoek gedaan naar branden, zowel voor het achterhalen van de brandoorzaak, het brandverloop en het werk van de brandweer ter plaatse. Veel brandonderzoeksrapporten worden niet openbaar gemaakt. Tijdens de zoektocht naar brandonderzoeksrapporten is opgevallen dat de rapporten veelal niet gedeeld worden omdat de bedrijfseigenaar of de verzekering geen toestemming geeft. In veel gevallen is er sprake van gevoelige informatie die gebouweigenaren en verzekeraars niet willen delen. Er zijn dan ook niet veel brandonderzoeksrapporten geanalyseerd. De onderzoeksrapporten die zijn geanalyseerd en van belang kunnen zijn voor dit afstudeeronderzoek zijn branden binnen zowel een industriefunctie als andere gebruiksfuncties. In dat geval kan in zijn algemeenheid vastgesteld worden wat vaak voorkomende oorzaken zijn bij de uitbreiding van brand binnen een gebouw. Onderstaand worden de beschikbare, nuttige brandonderzoeken beschreven. In veel omschrijvingen van de onderzoeksrapporten wordt het bedrijf waar de brand heeft plaatsgevonden geheim gehouden. De volledige omschrijving van de branden en de bijbehorende figuren zijn bijgevoegd in bijlage 3.

2.1 Tekorten in brandscheidingen aan de hand van brandonderzoek

School Groningen

In 2010 heeft een grote brand gewoed in de Vensterschool Gravenburg in Groningen. Tijdens de brand is het totale schoolgebouw verwoest, zie figuur 4 (bijlage 3). De brand heeft zich in 1^e instantie via een horizontale schacht onder de 1^e verdieping uitgebreid rondom het gebouw. De verticale en horizontale (vloeren) brandscheidingen waren niet doorgezet in de gevel. De brand heeft zich daarom via de spouw van de gevel van de 1^e en 2^e verdieping over het gehele gebouw kunnen verspreiden, zie figuur 5 (bijlage 3). De vuren delen in de gevel waren brandbaar, waardoor in combinatie met het schoorsteeneffect de brand zich over de gehele gevel uitgebreid heeft. De vurenhouten delen voldoen aan brandvoortplantingsklasse 4, in plaats van aan brandvoortplantingsklasse 2 waar ze aan moesten voldoen. Er zijn een aantal tekortkomingen vastgesteld in de realisatie van de brandcompartimentering. Een aantal rolluiken in de scheidingen waren niet gesloten, waardoor de brand zich vrij kon uitbreiden naar andere brandcompartimenten. Ook sluiten meerdere brandwerende deuren niet of onvoldoende. ⁽⁵⁾

Brand Caïrostraat Rotterdam

In 2012 is brand uitgebroken in een bedrijfspand aan de Caïrostraat te Rotterdam, zie figuur 6 (bijlage 3). De brand is ontstaan op Caïrostraat 4. Al snel sloeg de brand uit via het dak en meerdere gevelopeningen. De isolatielaag (polystyreen) in het dak raakte in brand en de brand kan zich over het dak verspreiden. Vanaf dat moment was er sprake van een gebouw in brand in plaats van een brand in een gebouw. De isolatie van het dak loopt door over de brandscheiding (wand) van 2 bedrijven in het pand. De gesmolten isolatie heeft zich over de canelures in het dak verspreid. Op veel plaatsen zijn deze hete vloeistoffen door de canelures heen gelekt door schroefgaten en naden en zijn meerdere kleinere brandjes ontstaan de bedrijfsruimte van de Vodafone. Het pand bleek ingedeeld te zijn als 1 brandcompartiment van ca. 2500 m². ⁽⁶⁾

Zomerdijk IJsselstein

In 2013 kwam de melding van brand in een sportcentrum aan de zomerdijk in IJsselstein binnen bij de Regionale Alarm Centrale (RAC). Het pand is gebouwd in 1975, waarna in verloop van tijd meerdere grote verbouwingen hebben plaatsgevonden. De brand sluimerde 17 uur lang in de wand van de douches en boven het plafond van de kleedkamer voor de sprinklerinstallatie werd geactiveerd. Een deel van de tweede verdieping is later tijdens een verbouwing van het pand toegevoegd aan het gebouw. Bij het optoppen van het gebouw was het bestaande hout

van het dak niet verwijderd. Op de bestaande dakplaten zijn houten balken en de vloer geplaatst, waardoor er verschillende ruimten zijn ontstaan tussen het plafond van de 1e verdieping en de vloer van de 2e verdieping, zie figuur 7 (Bijlage 3). De brand blijkt zich in een groot gedeelte van de tussenruimte van de verdiepingen te woeden. De brand was moeilijk te bereiken voor de brandweer. De rookverspreiding en het vele water door de sprinklerinstallatie maakten de werkzaamheden moeilijk. ⁽⁸⁾

Metaalopslag Gelderland-Zuid

In 2013 heeft er een brand gewoed bij een staalverwerkingsbedrijf en opslag in veiligheidsregio Gelderland-Zuid. Door de brand bij de compressor is een olieslang van de compressor lekgeraakt. Er ontstond een plasbrand die zich in de richting van de hal uit heeft kunnen breiden. In de hal zijn 2 straalcabines aanwezig. De brand heeft de wanden van de straalcabines opgewarmd waardoor de isolatie in de wanden van de straalcabines is gaan ontgassen. Deze gassen zijn gaan branden, waarna de isolatie van de overige wanden ook is gaan ontgassen en in brand is gegaan. De brand heeft zich kunnen uitbreiden door het ontbranden van de gebruikte isolatie. De scheidende wand heeft zich tijdens de brand staande gehouden en heeft branduitbreiding naar de volgende hal voorkomen. Binnen de hal waarin de brand ontstaan is waren weinig brandbare materialen aanwezig, het grootste deel van de hal bestond uit opslag van staal (onbrandbaar). De brand heeft zich wel over het gehele dak uitgebreid. Er was dus sprake van een gebouw in brand, in plaats van brand binnen een gebouw. De grootste factor voor de branduitbreiding was het gebouw zelf, namelijk de gebruikte isolatie. ⁽⁹⁾

Brand Hy-suply

In 2012 heeft een brand gewoed in een bedrijfsverzamelgebouw in Elst. Het pand bestaand uit 3 hallen, zie figuur 8 (bijlage 3). Twee hallen (hal 1 en 2) zijn gebouwd in 1988, de laatste hal (hal 3) is er in 1999 bij geplaatst. De 2 hallen van 1988 vormen samen 1 brandcompartiment. De scheiding tussen de 2 hallen en de nieuwe hal staat op de tekening aangegeven als 60 minuten brandscheiding. De gevelconstructie is opgebouwd uit een binnendoosconstructie met gevelbeplating en glaswol isolatie. De dakconstructie is opgebouwd uit stalen damwandprofielen met daarop EPS isolatie en is afgewerkt met bitumen. Er zijn geen voorzieningen aangetroffen om de isolatie t.p.v. de scheidingswand te onderbreken om branddoorslag of overslag via het dak te voorkomen. De scheiding tussen hal 2 en 3 zou uitgevoerd zijn als 60 minuten scheiding, echter is tijdens het onderzoek vastgesteld dat de uitvoering van de buitengevel van de hal uit 1988 onveranderd is gebleven. De scheiding van 60 minuten is dus in werkelijkheid de oude gevel van de hal uit 1988, en is dus niet uitgevoerd als brandscheiding. Doordat de wand tussen hal 2 en 3 niet als brandscheiding is uitgevoerd en daarom onvoldoende gefixeerd is, hebben er grote vervormingen plaats kunnen vinden in de wand. Door de vervormingen ontstonden openingen in de scheidingswand, waardoor rookgassen en vlammen zich vrij konden verspreiden naar hal 2 en 3. Rookgassen blijven aan het plafond van een ruimte hangen waardoor de stalen damwandprofielen op kunnen warmen en hierbij ook de daarop gelegen EPS isolatieplaten. EPS ontleed bij een temperatuur van 200°C. De dampen van het EPS konden niet naar boven verplaatsen omdat de isolatie door een laag bitumen is afgesloten. De rookgassen hebben zich daardoor via de cannelures van het dak naar binnen verplaatst. Deze rookgassen hebben bijgedragen aan het explosief ontbranden van hal 2. Door het vloeibaar worden van de bitumen kon deze via de cannelures tussen kieren en openingen de hallen in stromen. ⁽¹⁰⁾

Brand Gazelle

In 2013 heeft een grote brand gewoed in de loods van Gazelle in Dieren. Op de lood is de methode beheersbaarheid van brand toegepast. Bij deze methode wordt berekend hoeveel vuurlast zich binnen een compartiment bevindt, inclusief de permanente vuurlast (scheidingswanden, daken, gevels etc). Wanneer de vuurlast laag genoeg is, mag het compartimentsoppervlak groter zijn dan de in het Bouwbesluit aangegeven maximale oppervlak voor brandcompartimenten. De scheidingen naar het kantoor en de fabriek hebben een WBDBO van 90 minuten. De brand heeft zich niet verspreid naar de naastgelegen compartimenten (kantoor en fabriek). De brandscheiding is opgebouwd uit een cellenbeton brandwand met een staalconstructie aan beide zijden van de wand, waardoor de aparte compartimenten elk hun eigen staalconstructie hebben, zie figuur 9 (bijlage 3). De staalconstructie is bevestigd aan de brandwand door middel van een smeltplaat met anker. In geval

van brand wordt door de warmte (ca. 180 graden) het smeltanker gesmolten. Door de brand zullen de liggers van de loods gaan vervormen (doorhangen). Doordat de liggers gaan hangen wordt een grotere trekkracht op de opleggingen (kolommen) uitgeoefend. Doordat de smeltankers gesmolten zijn staan de staalkolommen los van de wand en kunnen deze met de liggers mee vervormen, waarbij de wand intact gehouden wordt, zie figuur 10 (bijlage 3). De gevels van de loods bestonden uit binnendozen, steenwol isolatie en geprofileerde stalen buitenbeplating. Het schadebedrag van de brand bedraagt 5 miljoen euro.

Veiligheidsregio's

Het gebruik van glaswol of steenwol als positief ervaren binnen de brandonderzoekers van de veiligheidsregio's. Met het oog op het behoud van het gebouw heeft steenwol de voorkeur over glaswol. Glaswol smelt en wordt een blok glas bij brand, wat moeilijk schoon te maken en op te ruimen is na de brand. (J. Ebus, Bespreking brandonderzoeken Veiligheidsregio Gelderland-Midden, 21 augustus 2015)

Paletopslag Kampen

In 2013 brak brand uit bij Kloek pallets in Kampen. Door de straling van de brand bij Kloek pallets is het dak van naastgelegen pand van Asia Foods in brand gegaan, zie figuur 11 (bijlage 3). Het vuur is echter uit zichzelf gedoofd. Om brandoverslag te voorkomen mag de warmtestralingsflux in geval van brand niet meer dan 15 kW/m^2 op de naastgelegen gevel zijn. Bij Efectis Nederland is een berekening gemaakt van waarschijnlijke warmtestralingsflux in deze situatie. De waarschijnlijke warmtestralingsflux heeft de maximale warmtestralingsflux van 15 kW/m^2 overschreden. Het dak bestond uit (van binnen naar buiten) stalen damwandprofiel, dampremmende folie, 65 mm PIR isolatie van Kingspan en 1,2 mm PVC dakbedekking. De brand op het dak is waarschijnlijk ontstaan doordat de warmtestralingsflux op de PVC dakbedekking hoger was dan 15 kW/m^2 . De PVC is daardoor in brand gegaan, waarna de isolatie ook is gaan branden. PIR isolatie verkoolt bij een brand, waardoor een beschermende laag ontstaat en de isolatie niet verder inbrand en de brand dooft. Een ander voordeel van PIR is dat de isolatie niet smelt in geval van brand. De PVC dakbedekking is gestopt met branden op de afstand waar de warmtestralingsflux lager dan 15 kW/m^2 bedroeg. In de binnendozen in de gevel zat steenwolisolatie verwerkt. Op of in de gevel is geen brand uitgebroken. Het schadebedrag van de brand is onbekend.

2.2 Samenvatting en aanbevelingen tekorten volgens brandonderzoek

Uit de behandelde brandonderzoeksrapporten kan een samenvatting worden gegeven op de gebieden materiaalgebruik en aansluitingen, realisatie en aandachtspunten in de ontwerpfase. In dit onderzoek wordt vooral gebruik gemaakt van de samenvatting en aanbevelingen van materiaalgebruik en aansluitingen. Onderstaand worden de samenvatting en aanbevelingen per gebied weergegeven.

Materiaalgebruik en aansluitingen

- **Materiaalgebruik gevel en dak:** Het gebruik van de materialen in de gevel is van groot belang binnen de ontwikkeling van een brand binnen en buiten een gebouw. Uit de behandelde branden valt te concluderen dat het gebruik van isolatiematerialen in de gevel een groot verschil kan maken in de branduitbreiding. In de gevels en/of daken van de branden bij de metaalopslag, de Caïrostraat en Hy-supply is gebruik gemaakt van brandbare isolatie en heeft de brand zich snel uit kunnen breiden naar naastgelegen compartimenten of over het gehele gebouw. In de gevel en het dak van de brand bij Gazelle is gebruik gemaakt van onbrandbare isolatie en heeft de brand zich niet uitgebreid naar naastgelegen compartimenten. Bij de brand bij Kloek pallets is op het dak gebruik gemaakt van PIR isolatie, waarna het vuur is gedoofd. Ook het gebruik van andere materialen in de gevel, zoals de vurenhouten delen in de gevel van de Vensterschool in Groningen kunnen belangrijke componenten zijn binnen de uitbreiding van een brand. Er wordt aangeraden om onbrandbare isolatie en materialen met een gunstige brandklasse toe te passen in de gevel en het dak. Er wordt verder onderzoek gedaan naar het toepassen van PIR isolatie.
- **Steenwol in plaats van glaswol wanneer gebruik wordt gemaakt van onbrandbare isolaties:** Uit de besprekingen met de veiligheidsregio's kan geconcludeerd worden dat steenwol beter op te ruimen en scheiden is na een brand dan wanneer er gebruik wordt gemaakt van glaswol.
- **Cannelures afdichten bij gebruik schuimisolaties:** Bij de branden binnen de Caïrostraat en Hy-supply was er gebruik gemaakt van schuimisolatie met bitumen op het dak. Bij de branden zijn de schuimisolaties en de bitumen gesmolten waarna de vloeistoffen zich door kieren en kleine openingen door de cannelures lekken. Door het lekken van de hete vloeistoffen kunnen lokale brandjes ontstaan die kunnen bijdragen aan de branduitbreiding. Er wordt aanbevolen om bij het gebruik van schuimisolatie en bitumen (combinatie) de cannelures af te dichten bij de aansluiting met de wand en om kieren en kleine openingen in de overlapping en bevestiging af te dichten. Om de brandscheiding te laten voldoen aan de eisen is het ook noodzakelijk om de cannelures goed af te dichten. Bij het gebruik van PIR is dit niet noodzakelijk: PIR smelt niet. .
- **Elk brandcompartiment een aparte staalconstructie:** In de branden bij de Hy-supply en de Gazelle is gebruik gemaakt van een aparte staalconstructie per brandcompartiment. Het voordeel hiervan is dat de constructie van het brandcompartiment het kan begeven, zonder de scheidingswand te beschadigen. Er wordt aanbevolen om bij het gebruik van een staalconstructie een aparte staalconstructie per brandcompartiment toe te passen.
- **Gebruik van cellenbeton brandwand:** Het gebruik van een cellen betonnen brandwand als scheiding is als zeer betrouwbaar ervaren binnen de brand bij Gazelle. Er wordt aanbevolen verder onderzoek te doen om een brandwand als brandscheiding binnen een industriefunctie toe te passen.

Realisatie

- **Horizontale en verticale scheidingen doorzetten in de gevel en dak:** Bij de branden bij de Vensterschool in Groningen, de metaalopslag, de Caïrostraat en Hy-supply zijn er fouten gemaakt in het doorzetten van de brandscheidingen in de gevel. Wanneer een vloer of een wand als brandscheiding is uitgevoerd, moet de scheiding doorgezet worden in dak en gevel. Het is onzeker of de fout van het niet-doorzetten van de scheidingen wordt gemaakt tijdens de realisatie of al in de ontwerpfase van het project. Wel is het noodzakelijk om de horizontale en verticale scheidingen door te zetten in dak en gevel om aan de eisen te voldoen.

Er wordt aanbevolen om extra aandacht te besteden aan het doorzetten van de brandscheidingen in gevel en dak tijdens de realisatiefase.

- **Zelfsluitende deuren en luiken:** Bij de brand bij de Vensterschool in Groningen hebben een aantal zelfsluitende deuren en luiken in brandscheidingen niet naar behoren gefunctioneerd. De deuren stonden open of op een kier en de luiken hebben zich niet gesloten tijdens de brand. Het is onduidelijk of het probleem van het niet functioneren van de zelfsluitende deuren en luiken wordt veroorzaakt in de realisatie, gebrek aan onderhoud of door de gebruikers van het pand (bijv. wiggen).
Er wordt geadviseerd extra aandacht te besteden aan de uitvoering van zelfsluitende deuren en luiken. Ook wordt geadviseerd dat de gebouwbeheerder aandacht besteedt aan de onderhoud en het correct gebruik van de zelfsluitende deuren en luiken.
- **Scheiding op tekening niet gerealiseerd:** Er wordt aanbevolen om de realisatie van brandscheidingen niet alleen de verantwoordelijkheid van de aannemer te maken. Het inzetten van extra controle voor de uitvoeringen van brandscheidingen kan fouten in zowel het ontbreken van een scheiding, als in het verkeerd uitvoeren van de realisatie van de scheiding, voorkomen.
- **Controle brandveiligheid bij verbouwingen en uitbreidingen:** Naar aanleiding van de brand bij Hy-supply en de Zomerdijk IJsselstein wordt aanbevolen om extra aandacht te besteden aan het behouden en/of aanpassen van de brandveiligheid van een gebouw tijdens de realisatie van een verbouwing en/of uitbreiding.

Aandachtspunten ontwerpfase

- **Horizontale en verticale scheidingen doorzetten in de gevel en dak:** Er wordt aanbevolen om extra aandacht te besteden aan het doorzetten van de brandscheidingen in gevel en dak tijdens de ontwerpfase, zoals op de detaillering van de scheidingen in gevel en dak.
- **Cannelures afdichten bij gebruik schuimisolatie:** Er wordt aanbevolen om extra aandacht te besteden aan het afdichten van de cannelures tijdens de ontwerpfase, zoals op de detaillering van het dak en de dak/wand aansluitingen.
- **Controle brandveiligheid bij verbouwingen en uitbreidingen:** Naar aanleiding van de brand bij Hy-supply en de Zomerdijk IJsselstein wordt aanbevolen om extra aandacht te besteden aan het behouden en/of aanpassen van de brandveiligheid van een gebouw tijdens de ontwerpfase van een verbouwing en/of uitbreiding.
- **Houdt rekening met de kans op het ontstaan van branden buiten het gebouw:** Naar aanleiding van de brand bij Kloek pallets Kampen kan het belang van een goede brandwerendheid van de gevel en dak worden aangegeven. Wanneer de brandwerendheid van de gevel en het dak bij Asia Foods onvoldoende zou zijn geweest, of er bijvoorbeeld een brandbare isolatie op het dak had gelegen, had de branduitbreiding over het gebouw er wellicht anders uit gezien. Er wordt aanbevolen om extra aandacht te besteden aan het gebruik in materialen aan de buitenzijden van het gebouw tijdens de ontwerpfase, en wanneer nodig een expert in te schakelen als kennis over materialen en brandveiligheid ontbreekt.

2.3 Tekorten in brandscheidingen naar aanleiding van inspecties

2.3.1 Masterscriptie “Research to the performance and adequacy of fire compartmentation”

A.Y. Botma heeft in zijn afstudeerscriptie “Research to the performance and adequacy of fire compartmentation” onderzoek gedaan naar het functioneren van compartimentering. Voor zijn onderzoek is voornamelijk gebruik gemaakt van 2 onderzoeken: het onderzoek van het NIBRA (Nederlands Instituut voor Brandweer en Rampenbestrijding) naar miljoenenbranden in Nederland en het onderzoek van de Rijksgebouwendienst (hierna te noemen RGD).

Brandcompartimentering is een belangrijk brandbeveiligingssysteem waarvan weinig gegevens bekend zijn over de betrouwbaarheid van het systeem. De betrouwbaarheid van brandcompartimentering is afhankelijk van veel verschillende elementen zoals wanden, vloeren, deuren, plafonds, doorvoeringen, ramen en de draagconstructie.

Een belangrijke reden van het falen van de brandcompartimentering is dat brandbeveiligingsystemen (zoals deuren, brandkleppen etc.) niet worden toegepast zoals aangegeven in het testrapport of de voorschriften bij het systeem.

NIBRA miljoenenbranden in Nederland

De NIBRA heeft uitgebreid onderzoek gedaan naar gebouwbranden met een schadebedrag van meer dan een miljoen euro in Nederland in het jaar 2001. Het onderzoek richtte zich op de maatregelen voor brandpreventie die betrokken waren bij de branden en de rol van de brandweer, verzekeraars en gebouweigenaren. De compartimentering van de gebouwen was ook onderdeel van het onderzoek. Binnen 35% van de onderzochte gebouwen functioneerde de compartimentering niet naar behoren.

De kennis over het belang van goede brandcompartimentering is onvoldoende onder betrokken partijen (eigenaren, beheerders en gebruikers). De prestatie van de compartimentering kan vergroot worden door de betrokken partijen te informeren over het belang van betrouwbare brandcompartimentering.

Het falen van brandcompartimentering wordt vaak veroorzaakt door het maken van fouten tijdens de bouw en de onderhoud van het pand. Het uitvoeren van inspecties door een bekwaam persoon tijdens de realisatie en het onderhoud zou zeer effectief zijn op het voorkomen van fouten tijdens deze fasen.

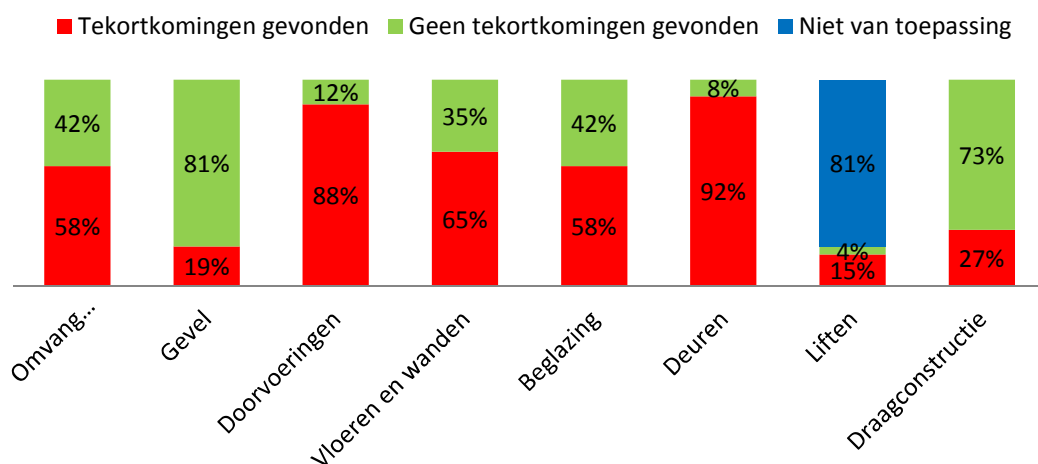
RGD brandscans

De RGD heeft inspectierapporten van 27 gebouwen gebruikt voor het onderzoek. Het onderzoek is bedoeld om een beeld te krijgen in hoeverre gebouwen voldoen aan de brandbeveiligingseisen van het Bouwbesluit, welke tekortkomingen veel voorkomen en hoe vaak deze tekortkomingen voorkomen. De inspectierapporten zijn opgesteld door verschillende onafhankelijke adviesbureaus. Om te voorkomen dat de kwaliteit van de inspecties en inspectierapporten van elkaar zouden afwijken heeft Efectis Nederland een inspectiemethode ontwikkeld. In het onderzoek zijn 6 gebouwen met bijeenkomstfunctie, 10 gebouwen met industrie functie en 11 gebouwen met een kantoorfunctie onderzocht.

De tekortkomingen die gevonden zijn tijdens de inspecties binnen de 27 gebouwen zijn opgedeeld in 8 categorieën:

1. Omvang van het compartiment: de omvang van het compartiment is groter dan de maximaal toegestane omvang volgens het Bouwbesluit 2012, zonder een bewezen gelijkwaardige oplossing zoals beheersbaarheid van brand (BvB);
2. Gevel: de brandwerendheid van de gevel is onvoldoende om uitbreiding van brand naar andere compartimenten via de gevel te voorkomen;
3. Doorvoeringen: Doorvoeringen van kabels, pijpen en kanalen zijn niet voldoende afgedicht, de ophanging voldoet niet aan de voorgeschreven eisen of er zijn geen brandkleppen aanwezig ter plaatse van de scheiding;
4. Vloeren en wanden: de brandwerendheid van vloeren en wanden is onvoldoende om branduitbreiding naar andere brandcompartimenten te voorkomen;
5. Beglazing: de brandwerendheid van de beglazing is onvoldoende om branduitbreiding naar andere compartimenten tegen te gaan of er is een te groot oppervlak aan spiegeldraadglas toegepast;
6. Deuren: de deuren sluiten niet voldoende, zijn niet zelfsluitend uitgevoerd, zijn niet uitgevoerd volgens attest van de leverancier of de kozijnen en bevestigingen zijn niet voldoende brandwerend uitgevoerd;
7. Liftten: de deuren van liftten sluiten niet voldoende of zijn onvoldoende brandwerend;
8. Draagconstructie: de draagconstructie is onvoldoende brandwerend of de brandwerendheid van de draagconstructie is onbekend.

In grafiek 3 is weergegeven in hoeveel procent van de 27 geïnspecteerde gebouwen minimaal 1 tekortkoming binnen de categorie is gevonden. Bijvoorbeeld: In 88% van de gebouwen is minimaal 1 tekortkoming gevonden op het gebied van doorvoeringen. In tabel 2 wordt weergegeven in welk percentage een specifieke tekortkoming bij de geïnspecteerde gebouwen is gevonden. Geen van alle geïnspecteerde gebouwen voldeed aan alle vereisten voor compartimentering.⁽¹¹⁾



Grafiek 3. Percentage van tekortkomingen in de geïnspecteerde gebouwen.

Tekortkoming	Percentage tekortkoming
1 Omvang compartiment	58%
1.1 Compartiment is groter dan toegestaan in Bouwbesluit 2012	50%
1.2 Technische ruimte >50 m2 niet in apart brandcompartiment	15%
2 Gevel	19%
2.1 Brandwerendheid gevel onvoldoende	19%
3 Doorvoeringen	88%
3.1 Doorvoeringen niet afgedicht	88%
3.2 Geen brandkleppen aanwezig	69%
3.3 Geen brandwerend omhulsel om leidingen	12%
3.4 Bevestiging van doorvoeringen onvoldoende	8%
4 Vloeren en wanden	65%
4.1 Brandwerendheid wand onvoldoende of onbekend	35%
4.2 Paneel of glas niet aanwezig (openingen)	27%
4.3 Brandwerende scheiding niet doorgezet boven verlaagd plafond	19%
4.4 Staalconstructie loopt door brandscheiding zonder brandwerend bedekking	15%
4.5 De brandscheiding is onvoldoende doorgezet in het dak	8%
4.6 Stalen luik in de wand	4%
4.7 Vloer onvoldoende brandwerend	4%
5 Beglazing	58%
5.1 Oppervlak spiegelraadglas in brandscheiding te groot	50%
5.2 Beglazing onvoldoende brandwerend	15%
5.3 Geen glaslatten aanwezig	4%
6 Deuren	92%
6.1 Deuren niet zelfsluitend	73%
6.2 Brandwerendheid deuren onbekend en niet gecertificeerd	50%
6.3 Opschuimend band ontbreekt	42%
6.4 Deuren sluiten niet naar behoren	38%
6.5 Glazen onderdelen onvoldoende brandwerend en niet gecertificeerd	31%
6.6 Stalen deurlijst onvoldoende brandwerend	23%
6.7 Sponningsdiepte te klein	19%
6.8 Deur naald onvoldoende brandwerend	12%
6.9 Spleet onder deur te groot	8%
7 Liften	15%
Niet verder behandeld	n.v.t.
8 Draagconstructie	27%
8.1 Brandwerendheid onbekend	27%
8.2 Brandwerendheid onvoldoende	0%

Tabel 2. Tekortkomingen gevonden binnen geïnspecteerde gebouwen.

Niet elke tekortkoming leidt direct tot het vroegtijdig falen van de scheidingsconstructie, maar elke tekortkoming beïnvloed wel de kans op het falen van de constructie. Een groot deel van het verdere onderzoek in het afstudeerwerk van A.Y. Botma is niet gebruikt voor dit afstudeeronderzoek omdat de gegevens als niet betrouwbaar worden beschouwd. In bijlage 4 wordt toegelicht waarom de verdere informatie binnen het afstudeerwerk van A.Y. Botma als onbetrouwbaar wordt gezien.

Aan de hand van de inspectierapporten van de RGD brandscans kunnen 6 hoofdoorzaken worden vastgesteld voor de aanwezigheid van de tekortkomingen:

- Fouten tijdens de bouw en onderhoud (67%): de tekortkomingen worden veroorzaakt tijdens de bouw of tijdens onderhoud aan het gebouw door de verkeerde montage of het niet afmaken van bepaalde elementen etc. Veel voorkomende tekortkomingen zijn: doorvoeringen niet afgedicht, geen brandklep aanwezig in doorvoeringen, geen deurdranger aanwezig op zelfsluitende deuren, geen opschuimende strip aanwezig op deuren en zelfsluitende deuren sluiten niet goed.
- Ontwerpfouten (6%): de tekortkomingen worden veroorzaakt door fouten in het ontwerp, of de samenstelling, van de brandcompartimentering. Er is te weinig kennis over brandscheidingen aanwezig binnen het ontwerpteam. Veel voorkomende tekortkomingen zijn: de brandwerendheid van de gevel is onvoldoende, de brandwerendheid van de brandscheidingen is onvoldoende, de staalconstructie loopt door de brandscheiding zonder brandwerende bedekking, verkeerde brandwerende deuren en de deurnaald is onvoldoende brandwerend.

- Gebrek aan onderhoud (12%): beschadigde of niet goed functionerende elementen van de brandcompartimentering worden niet vervangen of gerepareerd. Veel voorkomende tekortkomingen zijn: panelen of glas niet aanwezig (of beschadigd), zelfsluitende deuren sluiten niet voldoende of niet (deurdranger kapot of functioneert niet naar behoren) en er zijn geen opschuimende strips aanwezig op zelfsluitende deuren.
- Gebruik van het gebouw (2%): tekortkomingen worden veroorzaakt door gebruikers, zoals het gebruik van wiggen bij zelfsluitende deuren.
- Goede certificatie ontbreekt (7%): elementen in de brandcompartimentering hebben niet de goede certificering. Er ontbreekt juiste certificering voor onderdelen van de brandscheiding waardoor de brandwerendheid onbekend is. Een voorbeeld is dat een brandwerende deur getest en gecertificeerd is in een stalen kozijn, en deze deur binnen een project wordt toegepast in een houten kozijn. ⁽¹¹⁾

2.3.2 Tekortkomingen in brandscheidingen op basis van ervaring inspecties Nieman

Binnen het team brandveiligheid van Nieman is de vraag gesteld op welke onderdelen of aansluitingen brandscheidingen binnen panden met een industrie functie vaak niet voldoen bij een inspectie. De grootste tekortkomingen worden tijdens inspecties gevonden bij de volgende onderdelen:

- Aansluiting staaldak en scheidingswand;
- Aansluiting gevel en scheidingswand.

Natuurlijk worden tijdens inspecties ook tekortkomingen gevonden in deuren, doorvoeringen, wanden etc. Aangezien deze tekortkomingen in voorgaand onderzoek al vastgesteld zijn worden deze tekortkomingen niet nogmaals behandeld. Onderstaand worden de tekortkomingen van de aansluitingen uitgewerkt.

Staaldak en scheidingswand

Een veel voorkomende tekortkoming is de aansluiting tussen het staaldak en de scheidingswand. Het gaat dan vooral om het ontbreken of niet goed aangebrachte steenwolisolatie in de cannelures van het staaldak. Ook wordt vergeten om de naad tussen de scheidingswand en het staaldak, of de isolatie (afhankelijk van de uitvoering van de aansluiting) brandwerend af te dichten, of er wordt gebruik gemaakt van brandbare materialen om de naad af te dichten (bijvoorbeeld PUR schuim).

Het Nibra heeft onderzoek gedaan naar verschillende uitvoeringsvarianten van de aansluitingen tussen een brandwerende wand en een dakconstructie met een stalen damwandprofiel. De uitvoeringsvarianten zijn vastgesteld aan de hand van dossieronderzoek en inspecties.

Er zijn 7 basisvarianten en 3 aanvullingen hierop te onderscheiden, voor de bijbehorende principedetails zie bijlage 5):

1. De scheidingswand voert door het dak heen en is zichtbaar buiten het gebouw.
2. De cannelures zijn enkel boven de scheidingswand gevuld met onbrandbare isolatie: In sommige gevallen was er geen gebruik gemaakt van onbrandbare isolatie. Het gebruik van opzwellende kit voor het vastzetten van de vulling is zelden toegepast. Het vastzetten met opzwellende kit is noodzakelijk om te voorkomen dat de isolatie bij brand(overdruk) uit de cannelures wordt gedrukt.
3. Directe ("koude") aansluiting tussen de scheidingswand en het staaldak: vaak wordt de naad tussen de wand en het dak opgevuld met losse steenwol o.i.d. In geen enkele situatie was de steenwol vastgezet met opzwellende kit.
4. De stalen dakplaten worden onderbroken door de scheidingswand, de wand loopt door tot de isolatie: deze oplossing is in de praktijk niet aangetroffen, maar wordt wel in details in de bouwaanvraag aangetroffen.

5. De stalen dakplaten worden onderbroken door de scheidingswand, de wand loopt door de 1^e isolatielaag en er is een 2^e isolatielaag aangebracht. Deze oplossing is in de praktijk niet aangetroffen, maar wordt wel in details in de bouw aanvraag aangetroffen.
6. Haaks op de scheidingswand wordt brandwerende beplatingen bevestigd, canelures alleen gevuld boven de scheidingswand en niet tussen de brandwerende beplating en de canelures: deze oplossing wordt vaak tegengekomen tijdens inspecties. Doordat de ruimte tussen de beplating en de canelures niet wordt dichtgezet, kan warmte zich alsnog verspreiden via de stalen dakplaten.
7. Haaks op de scheidingswand wordt brandwerende beplatingen bevestigd, zowel de canelures boven de scheidingswand als de ruimte tussen de brandwerende beplating en de canelures zijn gevuld met onbrandbare isolatie. Het dakisolatie wordt ook onderbroken door onbrandbare isolatie. Ter plaatse van de onbrandbare isolatie wordt op het dak grind of betontegels toegepast.
8. Een combinatie van variant 2 t/m 6: Over een bepaalde breedte ter hoogte van de scheiding wordt de normale (meestal brandbare) isolatie onderbroken door onbrandbare isolatie. Deze aanvulling kan, wanneer over voldoende breedte toegepast, voorkomen dat een brand zich verspreid naar naastgelegen compartiment via de brandbare isolatie. De wand loopt door tot de isolatie: de stalen dakplaten worden onderbroken.
9. Een combinatie van variant 2 t/m 6: Over een bepaalde breedte ter hoogte van de scheiding wordt de normale (meestal brandbare) isolatie onderbroken door onbrandbare isolatie en er worden tegels of grind toegepast op de waterdichte laag van het dak, ter breedte van de onbrandbare isolatie. Door deze aanvulling wordt voorkomen dat de straling bij een uit het dak slaande brand de dakbedekking van naastgelegen compartiment direct wordt aangestraald.
10. Een combinatie van variant 2 t/m 6: De normale (meestal brandbare) isolatie wordt niet onderbroken en er worden tegels of grind toegepast op de waterdichte laag van het dak.

De varianten zijn door Nibra beoordeeld op de criteria bezwijken(R), Vlamdichtheid op afdichting(E), thermische isolatie op temperatuur(I) en thermische isolatie op stralingstemperatuur (W). In tabel 3 wordt weergegeven hoe de verschillende varianten worden beoordeeld. ⁽²²⁾

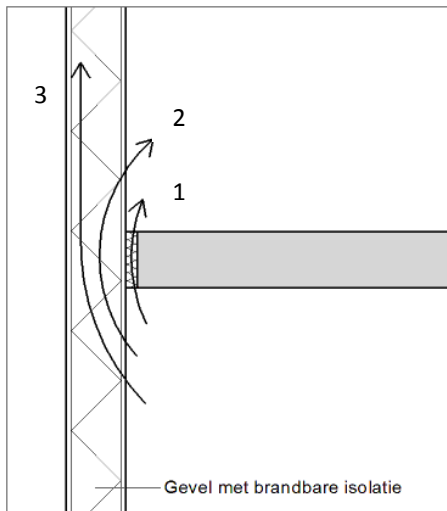
Beoordeling 10 varianten volgens criteria Bouwbesluit									
Varianten	beschrijving	brandwerende beplating onderzijde dak	brandwerend in minuten volgens opgave	NEN 6065 uitbreiding via dak	NEN 6069				NEN 6068
	soort aansluiting				R	E	I	W	wbdbo
1	Door dak heen	nee	> 60	++	++	++	++	++	++
2	Tegen dak aan, met grind	nee	60	+	±	-	±	-	-
3	Scheiding tegen dak aan,	nee	30	--	-	-	-	-	--
4	Tegen isolatie aan	nee	60	-	-	±	±	+	-
5	Door dakplaten heen, extra isolatie op de muur	nee	240	++	+	+	+	+	+
6	canelurevulling	ja		-	--	--	--	-	--
7	Promat	ja	60	++	++	++	++	++	++
8	gemeente I, wand tegen waterdichte laag	nee	60	+	+	+	+	+	+
9	gemeente I, onderbroken isolatie	ja	60	++	++	++	++	++	++
10	tegen dak aan, steenwol nokken in canelures, tegels	nee	60	++	+	-	+	-	-
--	zeer slecht	Nb. Doordat de kwaliteit van één criterium bepalend is voor de totale brandwerendheid kan het oordeel, WBDBO volgens NEN 6068, nooit hoger zijn dan het slechts beoordeelde criterium.							
-	slecht								
±	matig								
+	redelijk								
++	goed								

Tabel 3. Beoordeling van de 10 varianten op R, E, I en W criteria. ⁽²²⁾

In tabel 3 is te lezen dat vele varianten van de wand/dak aansluiting niet voldoende brandwerend beoordeeld worden. Variant 1, 7 en 9 zijn de beste oplossingen voor een 60 minuten brandscheiding.

2.3.2.2 Gevel en scheidingswand

De aansluiting tussen gevel en scheidingswand is in de praktijk vaak onvoldoende brandwerend uitgevoerd. De naden tussen gevel en scheidingswand zijn niet, of niet goed afgedicht. Brandbare materialen in de gevel lopen door langs de scheiding van de wand, zie figuur 12. ⁽²⁶⁾



Figuur 12. Mogelijke branduitbreidingstrajecten bij de aansluiting tussen gevel en wand of gevel en vloer. ⁽²⁶⁾

Voor het verbeteren van de detaillering zijn de maatregelen vergelijkbaar met de maatregelen bij de wand/dak aansluiting. Het valt op dat er vrij weinig informatie beschikbaar is over het brandwerend detailleren van de wand/gevel aansluiting. Het verbeteren van de detaillering van de wand/gevel aansluiting kan door de volgende maatregelen, waardoor de kans op branddoorslag of brandoverslag wordt verkleint:

- A. Pas onbrandbare isolatie in de gevelpanelen;
- B. Onderbreek de gevelpanelen ter plaatse van de wandaansluiting, hierdoor wordt geleiding via de stalen gevelpanelen voorkomen;
- C. Pas enkel ter plaatse van de wandaansluiting onbrandbare isolatie toe (bij voorkeur in combinatie met het onderbreken van de gevelpanelen).

2.4 Samenvatting en aanbevelingen tekortkomingen naar aanleiding van inspecties

Aan de hand van het onderzoek naar tekorten naar aanleiding van inspecties kunnen een aantal conclusies en aanbevelingen gedaan worden op het gebied van ontwerp, realisatie en organisatie.

Samenvatting ontwerpfase

- **Ontwerpfouten:** 6% van de tekorten in scheidingsconstructie wordt volgens het RGD onderzoek veroorzaakt in de ontwerpfase. De fouten worden gemaakt in het ontwerp (de verdeling) van de brandcompartimenten en de samenstelling van de scheidingen (detaillering). De kennis van het ontwerpteam over brandscheidingen is dan onvoldoende.
- **Aansluitingen verschillende constructieonderdelen:** de aansluiting tussen gevel en scheidingswand en dak en scheidingswand vormen een veel voorkomend tekort. Onduidelijk is in welke bouwphase het tekort wordt gecreëerd.
- **Tekorten deuren, doorvoeringen en vloeren/wanden:** de meest voorkomende tekorten in het onderzoek van de RGD zijn deuren (92%), doorvoeringen (88%) en vloeren en wanden (65%).
- **Certificatie/realiteit:** 7% van de tekortkomingen wordt veroorzaakt door verkeerde toepassing van scheidingsonderdelen. De onderdelen worden niet toegepast zoals aangegeven in het testrapport.
- **Verbeteren details:** Voor het maken van een 60 minuten brandscheiding kunnen voor de wand/dak aansluiting gebruik gemaakt worden van de detailvarianten 1, 7 en 9 volgens het onderzoek van NIBRA.

Voor het verbeteren van de aansluiting tussen gevel en wand kan gebruik worden gemaakt van maatregel A, B en C.

Samenvatting realisatie

- **Fouten tijdens bouw en onderhoud:** uit de afstudeerscriptie van A.Y. Botma blijkt dat 67% van de tekorten in het RGD onderzoek wordt veroorzaakt door fouten tijdens de bouw en onderhoud aan het gebouw.
- **Tekorten deuren, doorvoeringen en vloeren/wanden:** de meest voorkomende tekorten in het onderzoek van de RGD zijn deuren (92%), doorvoeringen (88%) en vloeren en wanden (65%).

Samenvatting organisatie

- **Kennis gebouw eigenaren, beheerders en gebruikers:** de kennis en het bewustzijn van het belang van goede brandscheidingen is te laag bij gebouw eigenaren, gebouwbeheerders en gebruikers. 2% van de tekorten in brandscheidingen wordt veroorzaakt door gebruikers (bijvoorbeeld wiggen plaatsen onder zelfsluitende brandwerende deuren).

Aanbevelingen

- **Expert brandveiligheid in het projectteam:** Veel van bovenstaande conclusies kunnen worden opgelost door een expert op het gebied van brandveiligheid vanaf de ontwerpfase te betrekken bij het project. De expert kan advies geven over brandveiligheid binnen het gebouw op het gebied van indeling en detaillering, kan mee beslissen over de toepassing van brandwerende onderdelen als deuren en beglazing, kan testrapporten lezen om de toepassingsmogelijkheden vast te stellen (zoals brandwerend glas toepassen in een houten, aluminium of kunststof kozijn) en de expert kan advies geven bij het aannemen van een aannemer die verstand en ervaring heeft in het realiseren van brandscheidingen. In de realisatiefase kan de expert kwaliteitscontroles uitvoeren op het gebied van de realisatie van brandscheidingen, tijdens de kwaliteitscontrole worden tips gegeven aan de aannemer en opmerkingen gemaakt over de realisatie van de brandwerendheid van brandscheidingen.
- **Brandscheidingen aangeven in bestek en installatietechnische tekeningen:** Er wordt geadviseerd om in de installatietechnische tekeningen aan te geven waar de brandscheidingen gesitueerd zijn, zodat de installateur weet dat de doorvoeringen van installaties brandwerend uitgevoerd moeten worden. Ook is het handig deze informatie te geven in het bestek.
- **Cursus gebouwbeheerders:** Er wordt geadviseerd om de kennis en het bewustzijn van minimaal de gebouwbeheerders te verhogen door het volgen van een cursus. De cursus moet het belang van de brandscheiding aangegeven, het herkennen van brandscheidingen en het liefst ook de eisen van het Bouwbesluit en de realisatie van brandscheidingen behandelen. Door de gebouwbeheerder bewust te maken van het belang van brandscheidingen, kan deze de kwaliteit van de brandscheidingen in de gaten houden tijdens onderhoudswerkzaamheden. Ook kan hij de uitvoerende partij van het onderhoud of een verbouwing bewust maken van de brandscheidingen.
- **Borgingsmethodiek:** Een goede borgingsmethodiek is van belang voor een goed overzicht in de taken van gebouw eigenaren, beheerders en gebruikers: leg vast wie verantwoordelijk is voor welke taken. Leg hierbij ook vast hoe en in welke frequentie de taken uitgevoerd moeten worden.

3. Verbetering van de brandscheidingen

Uit het onderzoek naar tekortkomingen in brandscheidingen zijn een aantal conclusies en aanbevelingen gegeven die betrekking kunnen hebben op brandveilig detailleren. Ook is in de aanbevelingen aangegeven dat er extra onderzoek gedaan moet worden naar de cellenbeton brandwand en het gebruik van PIR isolatie. De materialen PIR en cellenbeton worden daarom eerst toegelicht en nader onderzocht. Hierna wordt een overzicht van de conclusies en aanbevelingen gegeven die toegepast kunnen worden in de detaillering, waarna details gemaakt worden van de wand / dak en de wand / gevel aansluiting waarin de aanbevelingen verwerkt zijn.

3.1 Onderzoek materialen en producten

Cellenbeton brandwand

Een brandwand bestaat uit een plaat cellenbeton met een dikte van 15 – 30 cm, een hoogte van 60 – 75 cm en een lengte tot 6,75 meter. De platen zijn stapelbaar, waardoor de gewenste hoogte bereikt kan worden. Cellenbeton brandwanden zijn onbrandbaar (euroklasse A1). Cellenbeton heeft een goed isolerend vermogen, waardoor het doorgeven van hoge temperaturen wordt voorkomen en het risico van te hoge temperaturen aan de niet verhitte zijde van de brandwand wordt voorkomen. Het isolerend vermogen heeft ook een positief effect op het gebruik van smeltankers. Bij verhitting smelten de smeltankers, waardoor de constructie los komt van de wand. Het is echter de bedoeling dat de smeltankers op hun plaats blijven aan de niet verhitte zijde van de wand. Door het hoge isolerend vermogen blijven de smeltankers aan de niet verhitte zijde goed op hun plek. Wanneer er gebruik gemaakt wordt van een wand met een laag isolerend vermogen, is het risico op het smelten van smeltankers aan beide zijden van de wand groter. De cellenbeton brandwand is een zware scheidingswand en zal daarom minimaal vervormen tijdens een brand. De brandwerendheid van de cellenbeton brandwand is afhankelijk van de dikte en de afdichting.⁽²⁸⁾ Bij een dikte van 150 mm bedraagt de minimale brandwerendheid 60 minuten, de maximale brandwerendheid 360 minuten.

PIR isolatie

PIR is een harde schuimisolatie (kunststof) en is een verdere ontwikkeling van PUR isolatie. PIR isolatie heeft een hogere isolatiewaarde dan PUR isolatie en is zelfdovend. PIR isolatie heeft een isolatiewaarde van 0,022 – 0,026 W/Mk (λ). Steenwol heeft een isolatiewaarde van 0,04 W/Mk (λ). Des te lager de lambda waarde (λ) van een isolatiemateriaal, des te minder dikte(d) is nodig om een bepaalde warmteweerstand (R-waarde) te halen: $R = d / \lambda$. PIR isolatie wordt gebruikt voor het isoleren van (voornamelijk platte) daken, gevels en vloeren. Het isolatiemateriaal is een licht materiaal.⁽²⁹⁾ PIR isolatie valt binnen brandklasse B.⁽³⁰⁾ Steenwol valt in brandklasse A1 (onbrandbaar).⁽³¹⁾ PIR kan branden, maar vormt tijdens de brand een koollaag. De koollaag vormt een beschermelaag voor het onderliggende PIR, waardoor PIR isolatie uit zichzelf dooft (zie figuur 13). Het is echter slecht te



Figuur 13. Verkoolde PIR platen na een brand.⁽³²⁾

voorspellen bij welke diepte de PIR dooft. Daarnaast is uitbreiding via naastgelegen PIR platen mogelijk, ook al zal deze op den duur ook weer doven.

Bij de verbranding van PIR isolatie komen wel veel brandbare stoffen vrij, waardoor de brandbare rooklaag in het gebouw een risico kan vormen. Bij de verbranding van steenwol is hier geen sprake van. Aangezien de brandbare rooklaag plotseling vlam kan vatten, is de brandweer vaak niet bereid het gebouw te betreden wanneer bekend is dat er gebruik is gemaakt van PIR isolatie. De beperking van branduitbreiding door brandweer wordt in dat geval enkel van buiten het gebouw gedaan, in plaats van binnen en buiten het gebouw.

3.2 Samenvatting en conclusies verbetering van de brandscheidingen

Constructie

Uit voorgaand onderzoek is gebleken dat het maken van aparte staalconstructies binnen de verschillende brandcompartimenten zeer gunstig is in geval van brand. Door het dubbel uitvoeren van de staalconstructies kan de staalconstructie vrij vervormen en eventueel bezwijken tijdens een brand binnen het brandcompartiment. Door gebruik te maken van smeltankers blijft de scheidingswand intact indien de staalconstructie van de brandruimte bezwijkt.

Aanbeveling constructie

Voor de verbetering van de brandscheiding zou het gunstig zijn om dubbele staalconstructie met bevestiging door middel van smeltankers aan de scheidingswand toe te passen.

Materialen en aansluitingen

Naar aanleiding van voorgaand onderzoek kan er vastgesteld worden dat materiaalgebruik een grote invloed kan hebben op de branduitbreiding binnen een gebouw. Bij het gebruik van brandbare materialen is het risico op branduitbreiding via gevel of dak vele malen groter dan wanneer onbrandbare materialen of materialen met een gunstige brandklasse worden toegepast. Het gebruik van minerale isolatieproducten (steenwol of glaswol) heeft een positief effect op het voorkomen van branduitbreiding. Het gebruik van steenwol heeft de voorkeur, aangezien glaswol bij hoge temperaturen smelt en moeilijk op te ruimen is. Het gebruik van PIR isolatie heeft de voorkeur over andere brandbare isolatie (bijvoorbeeld XPS, EPS, PUR).

Het gebruik van steenwol heeft de voorkeur over PIR isolatie. Het gebruik van onbrandbare isolatiematerialen is gunstig wanneer het wordt toegepast in zowel gevel, dak en scheidingswand. Het nadeel van steenwol ten opzichte van PIR is dat PIR een 1,7 keer zo hoge isolatiewaarde heeft dan steenwol. Er is dus 1,7 meer dikte steenwol nodig ten opzichte van PIR, om dezelfde warmteweerstand (Rc-waarde) te behalen.

Voor de scheidingswand is het gunstig om een cellenbeton brandwand toe te passen. De brandwand is een zware scheidingsconstructie waardoor de vervorming tijdens een brand minimaal is. Bij een sandwichpaneel brandscheidingswand, welke een lichte scheidingsconstructie is, vormt de vervorming van de panelen een groter risico. Hierdoor zijn de aansluitingen op andere scheidingsconstructies ook kritischer.

Bij een brand kan brandbare isolatie gaan smelten, waardoor bij stalen dakplaten door druppelvorming branduitbreiding in ondergelegen brandcompartiment kan voorkomen. Door de cannelures in het dak goed dicht te zetten kan dit worden voorkomen.

Aanbevelingen verbetering van de detaillering op het gebied van materialen

Onderstaand zijn de conclusies van het materiaalgebruik toegepast op de verbetering van de detaillering:

- Isolatiematerialen: Maak gebruik van steenwol isolatie of PIR isolatie ter plaatse van de brandscheiding. Doe dit niet alleen in de brandscheiding, maar ook in de aangrenzende constructieonderdelen (dak en gevel). Geef bij het verschil in isolatiematerialen goed het verschil aan tussen de verschillende isolatiematerialen door bijvoorbeeld een andere arcering. Gebruik ook voor het afdichten van de aansluiting tussen verschillende constructieonderdelen steenwol.
- Cannelures stalen dakplaten dichtzetten: Geef bij het gebruik van brandbare isolatie in het dak in het detail aan dat de cannelures dichtgezet moeten worden.
- Brandwand: Overweeg bij het maken van keuzes over materialen en producten zeker het toepassen van een cellenbeton brandwand als scheidingswand.

Aanbeveling verbetering van de detaillering op het gebied van aansluitingen

Uit het onderzoek naar de aansluiting van dak en wand komt naar voren dat de detailvarianten 1, 7 en 9 de beste beoordeling krijgen op de WBDBO van 60 minuten op de criteria R, I, E en W (zie bijlage 5). Er wordt daarom geadviseerd om het knooppunt van de scheidingswand met het dak op 1 van deze 3 manieren uit te voeren:

1. Variant 1: De scheidingswand voert door het dak heen en is zichtbaar buiten het gebouw, zie bijlage 5 voor detail 1.
2. Variant 7: Haaks op de scheidingswand wordt brandwerende beplatingen bevestigd, zowel de cannelures boven de scheidingswand als de ruimte tussen de brandwerende beplating en de cannelures zijn gevuld met onbrandbare isolatie. De dakisolatie wordt ook onderbroken door onbrandbare isolatie. Ter plaatse van de onbrandbare isolatie wordt op het dak grind of betontegels toegepast, zie bijlage 5 voor detail 7.
3. Variant 9: Over een bepaalde breedte ter hoogte van de scheiding wordt de normale (meestal brandbare) isolatie onderbroken door onbrandbare isolatie en er worden tegels of grind toegepast op de waterdichte laag van het dak, ter breedte van de onbrandbare isolatie. Hierbij wordt het staaldak onderbroken t.p.v. de brandscheiding. Door deze aanvulling wordt voorkomen dat de straling bij een uit het dak slaande brand de dakbedekking van naastgelegen compartiment direct wordt aangestraald, zie bijlage 5 voor detail 9.

Aan de hand van de aanbevelingen zijn een aantal detailvarianten gemaakt, zie bijlage 6. In de varianten wordt gevarieerd in de uitvoering van de knoop (aansluitingen) en het gebruik van de materialen:

- Details 1 t/m 3: Dak / wand aansluiting met doorlopende wand;
- Details 4 t/m 6: Dak / wand aansluiting met doorlopend stalen dakplaat;
- Details 7 t/m 9: Dak / wand aansluiting met onderbroken stalen dakplaat;
- Details 10 t/m 13: Wand / gevel aansluiting (verschillende varianten).

4. Faalkansen

Het nut van een brandwerende scheidingsconstructie is de warmtetransport bij brand vanuit de brandruimte tegen te houden naar een naastgelegen brandcompartiment. Warmtetransport vindt plaats door:

- Convectie: stroming van hete lucht, zoals bijvoorbeeld hete verbrandingsgassen door openingen in de scheiding;
- Geleiding: opwarming en geleiding via materialen die temperaturen goed geleiden zoals een staalconstructie;
- Straling: opwarming door straling zoals bijvoorbeeld stralingswarmte door glas.

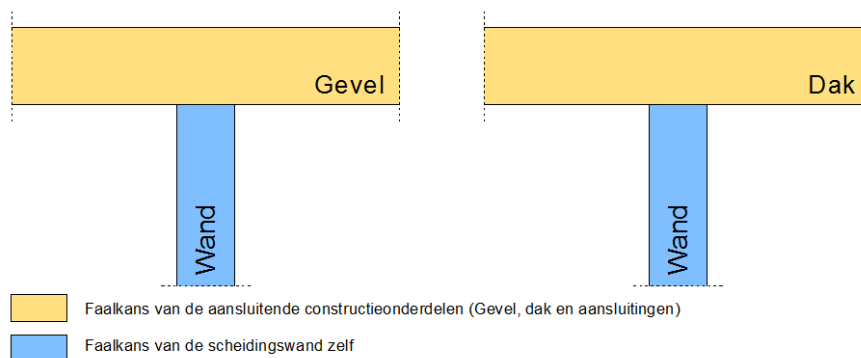
Convectie heeft voornamelijk betrekking op het E-criterium (vlamdichtheid). Geleiding heeft voornamelijk betrekking op het I-criterium (thermische isolatie) en straling heeft betrekking op het W-criterium. De kans op het falen van een constructie is het grootst indien niet wordt voldaan aan het E-criterium, gevolgd door het W-criterium en als laatste het I-criterium. Bij thermisch zware scheidingen (steenachtig) wordt automatisch voldaan aan het I- en W-criterium. De meest kritische onderdelen van een scheidingsconstructie zijn de opbouw van de wand zelf, de openingen in de wand (deuren, kozijnen, doorvoeringen etc.) en de aansluitingen tussen de aangrenzende constructies, waarvan de laatste 2 het voldoen aan het risicovolle E-criterium in gevaar brengen.

De faalkans van een scheidingsconstructie wordt niet alleen bepaald door de onderdelen van de scheidingsconstructie maar ook door de brandduur en intensiteit van de brand. De intensiteit van de brand wordt o.a. beïnvloed door de aanwezigheid van brandbare materialen (inboedel) en de aanwezigheid van zuurstof. De faalkans van de scheidingsconstructie is kleiner voor de flashover fase dan na de flashover fase, aangezien de temperatuur na de flashover fase sterk is toegenomen.

Om het falen van scheidingen te kunnen bepalen worden faalkansen bepaald. Het bepalen van faalkansen wordt door experts gedaan. Deze experts hebben de kennis en ervaring om te bepalen hoe een scheidingsconstructie zich gaat gedragen tijdens een brand. Het zal moeilijk te voorspellen zijn hoe de brand zich zal gaan gedragen, waardoor het bepalen van faalkansen van de scheidingsconstructie altijd een verwachting van het falen bij brand zal weergeven. Een faalkans geeft een percentage weer, waarbij 0 staat voor 0% en 1 staat voor 100%.⁽²⁷⁾

Binnen dit onderzoek zullen de faalkansen van de scheidingsconstructies bepaald worden aan de hand van de 13 detailtekeningen, zie bijlage 6. De faalkansen van de details worden bepaald op 2 onderdelen, zie figuur 14:

- De faalkans van de scheidingswand zelf. Hoe groot is de kans dat de wand zelf bezwijkt?;
- De faalkans van de aangrenzende constructieonderdelen: dak of gevel inclusief de aansluitingen. Hoe groot is de kans dat de brandscheiding bezwijkt, uitgaande van de invloeden van de aangrenzende constructies?



Figuur 14. De faalkans wordt bepaald aan de hand van 2 onderdelen: de wand zelf en aangrenzende constructies.

Per onderdeel kan een faalkans gegeven worden op de volgende 3 onderwerpen:

- Hoe groot is de kans op falen door verkeerde uitvoering van het detail (bijvoorbeeld bereikbaarheid bij het afdichten van naden);
- Hoe groot is de kans op falen van de wand/het detail bij het herhaaldelijk testen op basis van de standaard brandkromme (EI60) van de wand/het detail;
- Hoe groot is de invloed van een veranderend brandscenario op het falen van de wand/het detail.

Het eerste onderwerp is gekozen omdat de realisatie van de scheidingsconstructie een grote oorzaak vormt van het falen van een constructie. Wanneer het detail in werkelijkheid niet goed uitgevoerd wordt, wordt de faalkans van de aansluiting vele malen groter dan wanneer het detail op de juiste manier uitgevoerd wordt tijdens de bouw. Het is daarom van belang om te weten of het details lastig te realiseren is, en het maken van fouten tijdens de bouw een reële kans is.

Het tweede onderwerp heeft betrekking op het testen van scheidingsconstructies. Bij het testen van scheidingsconstructies wordt getest hoelang een constructie de brand tegenhoudt. Bij het testen van scheidingsconstructies wordt een classificatierapport afgegeven waarin wordt aangegeven aan welke criteria en hoeveel minuten de scheidingsconstructie heeft voldaan. Het classificatierapport wordt afgegeven aan de hand van 1 test. Voor de faalkans van de wand/het detail wordt daarom gevraagd wat de kans is dat de wand/het detail vroegtijdig faalt bij het herhaaldelijk testen van precies dezelfde wand/het detail. Hier wordt d

Binnen dit onderzoek wordt uitgegaan van een brand volgens de standaard brandkromme. In werkelijkheid zal de brand en het temperatuurverloop van de brand zich anders gedragen tijdens een echte brand. Het temperatuurverloop en de maximale temperatuur tijdens een brand zijn onder andere afhankelijk van het brandscenario. "Een brandscenario is een theoretische beschrijving van een reël voorstelbare brand aan de hand van een aantal van te voren vastgestelde factoren die de ontwikkeling en het verloop van een brand bepalen met als uitkomst de gevolgen van de brand voor de personen in het gebouw, de inventaris van het gebouw en het gebouw zelf"⁽²⁸⁾. Een brandscenario kan veranderen door o.a. het veranderen van de gebruik van het gebouw. Het brandscenario is afhankelijk van de aanwezigheid van materialen en de brandbaarheid van deze materialen. Als voorbeeld: een bouwmarkt brand heel anders dan een opslag voor temperatuur gecontroleerde voedselproducten. Ook vormt de opslag van de materialen een onderdeel van het brandscenario. Wanneer een stapel houtsnippers brand is de brandontwikkeling en –uitbreiding anders dan wanneer een stapel houtpallets brand.

Om de 13 details te beoordelen en de faalkans vast te stellen worden de details die gemaakt zijn voorgelegd aan 4 experts. De details zijn voorgelegd aan experts met ervaring en kennis op het gebied van brandveiligheid en specifiek de realisatie van brandwerendheid. De experts beoordelen in hun werk details op brandveiligheid, of maken zelf brandveilige details voor opdrachtgevers. Ook voeren de experts regelmatig inspecties uit, of hebben vroeger regelmatig inspecties uitgevoerd.

De experts hebben de volgende functie en werken bij benoemde bedrijf:

Expert 1: Adviseur brandveiligheid bij Nieman Raadgevende Ingenieurs

Expert 2: Adviseur brandveiligheid bij Nieman Raadgevende Ingenieurs

Expert 3: Specialist brandveiligheid bij Nieman Raadgevende Ingenieurs

Expert 4: Consultant fire resistance bij Efectis NL

In bijlage 7 zijn de faalkansen per expert weergegeven, eventuele opmerkingen zijn (zo mogelijk) verwerkt in de detailtekeningen in bijlage 6. In bijlage 8 zijn de faalkansen onderling vergeleken en is gekeken naar het verschil tussen de faalkansen van de verschillende experts.

Het doel van het vaststellen van de faalkansen is het bepalen van de beste uitvoering van een detail voor een scheidingsfunctie binnen een pand met een industriefunctie volgens de experts.

In tabel 4 staan de gemiddelde faalkansen weergegeven. In de eerste kolom staat de faalkans van de scheidingswand weergegeven, in de tweede kolom de faalkans van de aangrenzende constructieonderdelen. De totale gemiddelde faalkans staat in de laatste kolom. Detail 3, 9 en 13 bezitten de laagste faalkansen. Detail 4, 5 en 11 worden als meest kritisch beoordeeld en hebben de hoogste faalkansen.

De wand/dak aansluiting detailvarianten (detail 1-3) waar de brandscheiding door het dak wordt gezet zijn gunstiger beoordeeld dan de detailvarianten waar de brandscheiding tot de isolatie of de stalen dakplaten loopt (detail 4 -9).

	Faalkans Scheidingswand	Faalkans aangr. constructieonderdelen	Faalkans Totaal
1	0,32	0,29	0,30
2	0,28	0,28	0,28
3	0,13	0,14	0,13
4	0,43	0,48	0,45
5	0,37	0,43	0,40
6	0,19	0,33	0,26
7	0,36	0,36	0,36
8	0,32	0,33	0,33
9	0,14	0,21	0,18
10	0,31	0,38	0,34
11	0,50	0,64	0,57
12	0,28	0,28	0,28
13	0,13	0,23	0,18

Tabel 4. Gemiddelde faalkans voor de scheidingswand, de aangrenzende constructieonderdelen en het totaal per detail.

4.1 Conclusies faalkansen

De experts zijn van mening dat detail 3, 9 en 13 de details met de laagste faalkans zijn. Detail 3 is daarbij het wand / dak detail met de beste beoordeling. Detail 13 is het wand / gevel detail met de beste beoordeling. In beide details is gebruik gemaakt van de cellenbeton brandwand en met PIR isolatie gevulde dak en gevelpanelen. Het doorzetten van de brandscheiding in het dak wordt het best beoordeeld.

5. Beoordeling duurzaamheid materialen

BREEAM is een methode voor de bepaling en verbetering van de duurzaamheidsprestaties van gebouwen. De doelen van BREEAM zijn het realiseren van duurzame gebouwen met minimale impact op het milieu, het onderscheid van duurzame gebouwen mogelijk maken, voorzien van een keurmerk op het gebied van duurzaamheid en het stimuleren van de vraag naar duurzame gebouwen. In bijlage 9 wordt omschreven hoe de algemene beoordeling van BREEAM is opgebouwd.

Binnen dit onderzoek wordt alleen onderzoek gedaan naar de detaillering van scheidingsconstructies. Alleen de categorie materialen is daarom van belang bij de beoordeling van de duurzaamheid. De categorie materialen staat op de 3^e plek van de wegingsfactoren met een weging van 12,5% en vormt dus een belangrijk onderdeel van de beoordeling. De categorie materialen bestaat uit 4 onderdelen: MAT 1, MAT 5, MAT 7 EN MAT 8. Bij utiliteitsbouw wordt uitgegaan van een gebouwlevensduur van 50 jaar. Aangezien alleen MAT1 van toepassing is wordt MAT 5, MAT 7 en MAT 8 behandeld in bijlage 9.

MAT 1: Bouwmaterialen

Dit onderdeel wordt beschreven als “Het identificeren en stimuleren van het gebruik van materialen met een lage milieu-impact gedurende de volledige levenscyclus van het gebouw”. Voor dit onderdeel kunnen maximaal 8 credits gehaald worden. In tabel 5 wordt weergegeven welke criteria gesteld worden om een aantal credits op te leveren. Voor het bepalen van het aantal credits wordt gebruik gemaakt van de materialentool. De materialentool maakt gebruik van de Nationale Milieudatabase Stichting Bouwkwiteit. De beoordeling van de milieuprestatie wordt bepaald door de uitvoering van een berekening van de totale schaduwprijs per vierkante meter BVO (euro/m² BVO) van het gebouw. Het resultaat uit de materialentool is een milieuprofiel dat bestaat uit negen effecten, zie tabel 6. De effecten van de verschillende toegepaste materialen worden uitgedrukt in één schaduwprijs euro/m² BVO per jaar, welke wordt vergeleken met een referentieschaduwprijs. Voor utiliteitsbouw bedraagt de referentieschaduwprijs €1,3 m²/jaar⁽³³⁾. Verderop in dit hoofdstuk wordt onder de kop “Nationale Milieudatabase en materialentool” verder uitleg gegeven over de beoordeling van de duurzaamheid van een product en de bijbehorende schaduw prijzen.

1	1 punt	er minimaal drie materialenopties zijn overwogen die een aanzienlijke impact hebben op de schaduwprijs.
2	2 punten	de milieubelasting van de gebruikte materialen lager ligt dan de referentiewaarde.
3	3 punten	de milieubelasting van de gebruikte materialen ten minste 10% lager ligt dan de referentiewaarde.
4	4 punten	de milieubelasting van de gebruikte materialen ten minste 20% lager ligt dan de referentiewaarde.
5	5 punten	de milieubelasting van de gebruikte materialen ten minste 30% lager ligt dan de referentiewaarde.
6	6 punten	de milieubelasting van de gebruikte materialen ten minste 40% lager ligt dan de referentiewaarde.
7	7 punten	de milieubelasting van de gebruikte materialen ten minste 50% lager ligt dan de referentiewaarde.
8	8 punten	de milieubelasting van de gebruikte materialen ten minste 60% lager ligt dan de referentiewaarde.

Tabel 5. Creditcriteria MAT 1. ⁽¹²⁾

Milieueffectcategorie	Equivalent eenheid	Schaduwprijs [€/kg equivalent]
Uitputting abiotische grondstoffen - ADP	Sb eq	€ 0,16
Uitputting biotische grondstoffen - BDP	Sb eq	€ 0,16
Klimaatsverandering - GWP 100 j.	CO ₂ eq	€ 0,05
Aantasting ozonlaag - ODP	CFK-11 eq	€ 30
Humane toxiciteit - http	1,4-DCB eq	€ 0,09
Zoetwater aquatische ecotoxiciteit - FAETP	1,4-DCB eq	€ 0,03
Terrestrische ecotoxiciteit - TETP	1,4-DCB eq	€ 0,06
Fotochemische oxydantvorming - POCP	C ₂ H ₂ eq	€ 2
Verzuring - AP	SO ₂ eq	€ 4
Vermesting - EP	PO ₄ eq	€ 9

Tabel 6. Negen effecten bepalen het milieuprofiel en de schaduwprijs. ⁽¹²⁾

Nationale milieudatabase en de materialentool

De materialentool waarmee de schaduwkosten van een project berekend worden maakt gebruik van de nationale milieudatabase. In de nationale milieudatabase wordt de milieuprestatie van bouwmaterialen over hun hele levenscyclus berekend. In bijlage 9 staat in tabel 2 weergegeven op welke fasen van de levenscyclus een materiaal op duurzaamheid wordt beoordeeld. In de database is informatie te vinden over de milieuprestatie van zowel losse bouwelementen (bijvoorbeeld steenwol) als van samengestelde elementen zoals een sandwichpaneel. Elk materiaal wordt beoordeeld op 11 milieueffectcategorieën, waarbij de schade aan het milieu uitgedrukt wordt in kg equivalent. In tabel 7 worden de 11 milieueffectcategorieën weergegeven. In tabel 8 wordt het milieueffect in kg equivalent per milieueffectcategorie van EPS isolatie weergegeven.

Milieueffectcategorie	Equivalent eenheid	Weegfactor [€ / kg equivalent]	Grondstoffen	Emissies	1-puntsscore
Uitputting abiotische grondstoffen (exclusief fossiele energiedragers) – ADP	Sb eq	€ 0,16			
Uitputting fossiele energiedragers – ADP	Sb eq ⁶	€ 0,16			
Klimaatsverandering – GWP 100 j.	CO ₂ eq	€ 0,05			
Aantasting ozonlaag – ODP	CFK-11 eq	€ 30			
Fotochemische oxidantvorming – POCP	C ₂ H ₄ eq	€ 2			
Verzuring – AP	SO ₂ eq	€ 4			
Vermesting – EP	PO ₄ eq	€ 9			
Humane toxiciteit – HTP	1,4-DCB eq	€ 0,09			
Zoetwater aquatische ecotoxiciteit – FAETP	1,4-DCB eq	€ 0,03			
Mariene aquatische ecotoxiciteit – MAETP	1,4-DCB eq	€ 0,0001			
Terrestrische ecotoxiciteit – TETP	1,4-DCB eq	€ 0,06			

Tabel 7. Milieueffectcategorieën en weegfactoren. ⁽¹²⁾

Naam basisprofiel	007s stort eps (isolatie)
Eenheid basisprofiel	kg
Abiotic depletion, non fuel	1.54E-008
Abiotic depletion, fuel	0.0001352088
Global warming (GWP100)	0.11810616
Ozone layer depletion (ODP)	3.10E-009
Photochemical oxidation	3.36E-005
Acidification	7.24E-005
Eutrophication	3.67E-005
Human toxicity	0.0083093239
Fresh water aquatic ecotoxicity	0.0018318257
Marine aquatic ecotoxicity	2.4992827
Terrestrial ecotoxicity	4.04E-005
Total renewable energy	0.0053429665
Total non renewable energy	0.3242702
Total Energy	0.32961268
Water, fresh water use	0.029780307
Waste, non hazardous	0
Waste, hazardous	0

Tabel 8. Milieueffecten van de productie van 1 kg EPS isolatie, waarden in kg equivalent.

In de materialentool wordt gebruik gemaakt van de informatie uit de milieudatabase. Van verschillende gebouwonderdelen (fundering, gevels, binnenwanden, vloeren, daken, installaties en inrichting) worden alle toe te passen materialen en hoeveelheden ingevoerd. Na het invoeren van de onderdelen en materialen komt uit de materialentool een totaaloverzicht aan kg milieueffectencategorieën. Per milieueffectcategorie wordt een weegfactor toegepast, zie tabel 7. De weegfactor is de schaduwprijs per kg equivalent van de milieueffectcategorie. Des te hoger de schaduwprijs, des te schadelijker is de milieueffectcategorie voor het milieu. Het totaaloverzicht aan milieu-effecten wordt vermenigvuldigd met de schaduw prijzen, waar een totaalbedrag aan schaduwkosten per jaar uit volgt (voor een voorbeeld zie tabel 9). Ook volgt een overzicht waarin wordt aangegeven welke schaduwkosten er per gebouwdeel per jaar per m² BVO zijn, zie tabel 10. Ook wordt een totaal aan schaduwkosten per jaar per m² BVO weergegeven, welke wordt vergeleken met de referentieschaduwprijs van €1,3 m²/jaar. ⁽¹³⁾

Milieu-effecten [Gebouw]

	Schaduwkosten per jaar	Milieu-effecten	
Emissies	€ 8.113,-		
Klimaatverandering	€ 3.890,-	77.793	kg CO2 eq.
Aantasting ozonlaag	€ 4,-	0	kg CFC-11 eq.
Humane toxiciteit	€ 2.572,-	28.580	kg 1.4-DB eq.
Zoetwater aquatische ecotoxiciteit	€ 24,-	795	kg 1.4-DB eq.
Terrestrische ecotoxiciteit	€ 46,-	769	kg 1.4-DB eq.
Fotochemische oxidantvorming	€ 97,-	49	kg C2H4 eq.
Verzuring	€ 1.195,-	299	kg SO2 eq.
Vermesting	€ 284,-	32	kg PO4 eq.
Uitputting	€ 84,-		
Uitputting abiotische grondstoffen	€ 3,-	17	kg Sb eq.
Uitputting fossiele energiedragers	€ 81,-	507	kg Sb eq.
Totaal	€ 8.197,-		

Tabel 9. Milieu-effecten van een gebouw. ⁽¹⁴⁾

Schaduwkosten [Gebouw]

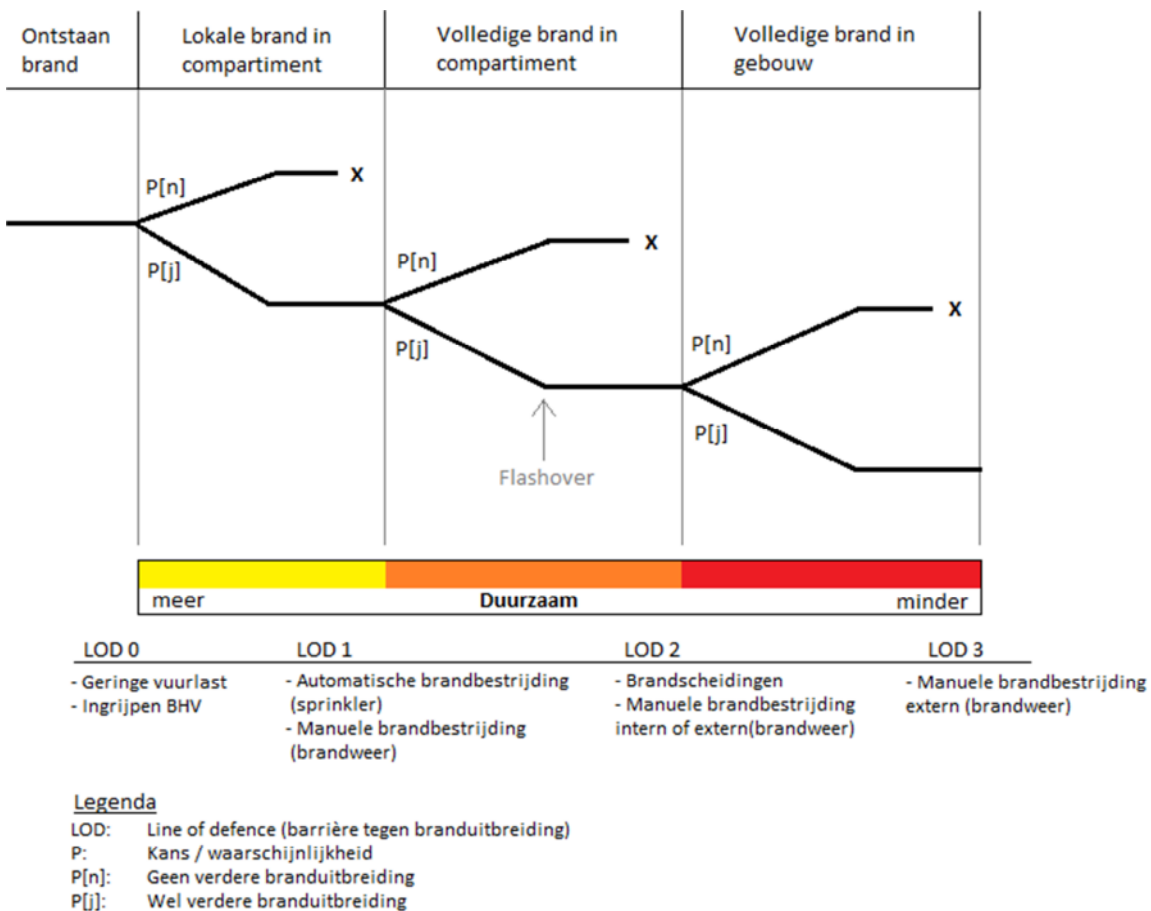
	Schaduwkosten per jaar per m² BVO
Bouwdeel	
Fundering	€ 0,22
Gevels	€ 0,16
Binnenwanden	€ 0,15
Vloeren	€ 0,02
Daken	€ 0,20
Installaties	€ 0,05
Inrichting	€ 0,01
Totaal	€ 0,81

Tabel 10. Schaduwkosten van een gebouw per jaar per m² BVO. ⁽¹⁴⁾

Aan de hand van het onderzoek in dit hoofdstuk zou er verder onderzoek gedaan worden naar welke invloed de beoordeling van de duurzaamheid heeft op de brandveiligheid. Er werd verwacht dat er concrete eigenschappen van materialen uit het onderzoek zouden komen, waardoor materialen duurzaam beoordeeld worden. De beoordeling van de duurzaamheid van materialen wordt echter bepaald door een materialentool. Het is daarom niet mogelijk om deelvraag 5 "*In hoeverre bedraagt die beoordeling van materialen op duurzaamheid toe aan de brandveiligheid van het gebouw?*" te beantwoorden. Wel is in het hoofdstuk theoretische achtergrond meer informatie te vinden over de beoordeling van de brandveiligheid van materialen.

6. Cascademodel en model “probabilistic building lifetime”

Brand en rookuitbreiding binnen een gebouw kan binnen een bepaalde tijdsduur verschillende fasen doorlopen. Het cascademodel houdt zich bezig met deze fasen binnen brand en rookuitbreiding. In het model wordt rekening gehouden met de kans dat de brand- en rookuitbreiding een bepaalde fase achter zich laat en overgaat in de volgende fase, of stopt aan het eind van een fase. Het ontstaan van brand begint altijd binnen een voorwerp (koffieapparaat, prullenbak etc), dit vormt de eerste fase van de brand. Het brandende voorwerp kan er voor zorgen dat branduitbreiding plaatsvindt naar andere voorwerpen, waardoor branduitbreiding plaatsvindt binnen een ruimte (fase 2). De derde fase binnen het cascademodel is de branduitbreiding binnen het volledige brandcompartiment. De laatste fase binnen het model is volledige branduitbreiding binnen het gebouw. Binnen elke fase bestaat de kans op verdere branduitbreiding (bijvoorbeeld van fase 2: brand in een ruimte, naar fase 3: brand in een compartiment) of de brand breidt zich niet verder uit en blijft dus binnen een fase. Elke brandbeveiligingsvoorziening vormt een barrière tegen de branduitbreiding, de zo genoemde Line Of Defences (LOD's). De LOD's kunnen bestaan uit bouwtechnische, installatietechnische en organisatorische maatregelen (BIO maatregelen), zie figuur 15. Binnen dit afstudeeronderzoek worden enkel de bouwtechnische maatregelen onderzocht. ^{(2) (24)}



Figuur 15. Het cascademodel. ⁽²⁾

Een brandbeveiligingsconcept bestaat dus uit verschillende maatregelen, die elk effect hebben op de uitbreiding van de brand. Het minimale doel dat deze maatregelen moeten behalen zijn de publieke doelen: Het veilig vluchten bij brand, het bepreken van het bezwijken van de draagstructuur en het beperken van de uitbreiding van brand naar buurpercelen.

Het is van belang om per maatregel rekening te houden met de betrouwbaarheid (faalkans) van de maatregel. Bijvoorbeeld: de betrouwbaarheid van een sprinklerinstallatie zal groter zijn dan het handmatig blussen door de

BHV tijdens een brand. Er kan dus 1 sterke, betrouwbare barrière gerealiseerd worden maar er kunnen ook meerdere minder betrouwbare barrières gerealiseerd worden om de publieke doelen te behalen. De publieke doelen staan het toe om een gebouw af te laten branden. Een afbrandscenario past niet bij een duurzaam gebouw. Er kunnen private doelstellingen gemaakt worden: de schade aan een gebouw zou beperkt moeten worden, er moet rekening gehouden worden met bedrijfscontinuïteit, flexibiliteit en toekomstbestendigheid. Dit betekent dat de laatste LOD (3) minder belangrijk wordt. Immers, wanneer een brand het gehele gebouw verwoest is de kans op bedrijfscontinuïteit en toekomstbestendigheid kleiner dan wanneer een brand binnen 1 compartiment blijft. Aan het cascademodel kan een maatlat voor duurzaamheid worden bijgevoegd, zie figuur 15. Het meest duurzaam zou zijn wanneer een brand bij ontstaan meteen wordt geblust. Het minst duurzaam is het afbranden van het gebouw. De betrouwbaarheid van de eerste 3 LOD's moet verhoogd worden, zodat de betrouwbaarheid van de laatste LOD verlaagd kan worden. Een stap in de goede richting is het verbeteren van de betrouwbaarheid van de bouwtechnische LOD's, namelijk de inwendige en uitwendige scheidingsconstructies. ⁽²⁾

Er is aan de hand van het cascademodel door Ruud van Herpen een model "Cascademodel – Probabilistic building lifetime" gemaakt. In het model wordt de verwachte levensduur van een gebouw vergeleken met de ontwerp levensduur van het gebouw. In het model wordt aan de hand van de volgende informatie de verwachte levensduur van het gebouw bepaald:

- De ontstaanskans van brand (afhankelijk van de gebruiksfunctie)
- De maximale compartimentsomvang;
- De gebouwsomvang;
- De faalkansen van de Lines of Defence (LOD 1 – 3), LOD 0 niet in het model verwerkt, deze is verwerkt in de ontstaanskans van brand;
- De ontstaanskans van een brand binnen een gebruiksfunctie. ⁽²⁾

De ontstaanskans van een brand kan gevonden worden in de National Fire Engineering Guidelines, zie tabel 11. ⁽²⁵⁾

Er is gekozen voor de kans op het ontstaan van brand binnen een opslag, aangezien het project waarop het onderzoek wordt toegepast een distributiecentrum op het gebied van koel en vriesproducten betreft. De eenheid van de ontstaanskans van brand is weergegeven in 1/m²jaar. In het model wordt de eenheid 1/m²/50 jaar gebruikt, om de kans op brand binnen een ontwerp levensduur van 50 jaar weer te geven.

De kans op brand binnen een opslagfunctie bedraagt $3,3 \times 10^{-5}$. De kans moet omgerekend worden naar m² over de ontwerp levensduur van 50 jaar, in plaats van de kans per m² per jaar.

Occupancy	Probability of fire starting Starts y ⁻¹ m ² floor area
Offices	1.2×10^{-5}
Storage	3.3×10^{-5}
Public assembly	9.7×10^{-5}

Tabel 11. De ontstaanskans van brand binnen een opslag.

Kans: $3,3 \times 10^{-5}$
Huidige eenheid: 1/m²jr
Kans*: ?
Gewenste eenheid: 1/m² (50 jaar levensduur)

$$(1 - \text{kans}^*) = (1 - \text{kans})^{50}$$

$$(1 - \text{kans}^*) = (1 - 3,3 \times 10^{-5})^{50}$$

$$\text{Kans}^* = 1 - (1 - 3,3 \times 10^{-5})^{50}$$

$$\text{Kans}^* = 1,65 \times 10^{-3}$$

In het model wordt LOD0 niet verwerkt. LOD0 heeft betrekking op 2 onderdelen:

- Een lokale brand dat uit zichzelf dooft door bijvoorbeeld een geringe vuurlast;
- Een lokale brand dat zeer vroegtijdig wordt gedoofd door gebruikers en/of hulpverleners.

LOD1 wordt verwerkt in de ontstaanskans van de brand. De ontstaanskans op brand wordt daarom nog keer 0,1 gedaan (bepaald door Ruud van Herpen).

De te gebruiken ontstaanskans van brand in het model “Cascademodel – Probabilistic building lifetime” wordt hierdoor: $1,65 \times 10^{-3} \times 0,1 = 1,65 \times 10^{-4}$.

De faalkansen van de LOD's worden vaak vastgesteld door experts. In het hoofdstuk faalkansen wordt dieper ingegaan op het bepalen van faalkansen van constructies. LOD2a in het model heeft betrekking op de faalkans van de scheidende functie, dus de betrouwbaarheid van de scheidingswand. LOD2b heeft betrekking op de faalkans van de aansluitingen en de kans op uitbreiding door de aansluitende constructieonderdelen.

In bijlage 10 staan 4 voorbeelden van kantoorgebouwen die zijn ingevoerd in het model “Cascademodel – Probabilistic building lifetime”. In het kader van dit afstudeeronderzoek is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, zie bijlage 11.

Het model reageert gevoelig op de verandering van de variabelen. Uit de voorbeelden van het model in bijlage 10 blijkt dat bij het falen van alle lines of defence, de verwachte levensduur van het gebouw van 40 jaar is (bij een ontwerplevensduur van 50 jaar). Wanneer geen van de lines of defence zou falen, is de verwachte levensduur van het gebouw 50 jaar (bij een ontwerplevensduur van 50 jaar). De bandbreedte van het model is dan 10 jaar, bij een ontstaanskans van brand van $2,0 \times 10^{-5}$. De bandbreedte van het model is erg afhankelijk van de ontstaanskans van brand. Wanneer de ontstaanskans van brand $1,65 \times 10^{-4}$ bedraagt, wordt de bandbreedte van het model 15 jaar (50 – 34,33 jaar). Wanneer een faalkans (0-1) van een LOD met 1 tiende wordt verhoogd of verlaagd kan dit 0,44 tot 0,8 jaar in de verwachte levensduur verschil maken. Het model geeft dan ook een grof beeld van de verwachte levensduur van het gebouw.

Projecttoepassing

Om te bepalen in welke mate de onderzoeksresultaten effect hebben op een project, worden de resultaten van het onderzoek toegepast op een gebouw. Het onderzoek heeft zich gericht op de verbetering van de brandscheidingen binnen een gebouw met een industriefunctie, waarbij rekening is gehouden met de meest voorkomende bouwsystemen. Voor de projecttoepassing wordt daarom gebruik gemaakt van een gebouw met een industriefunctie. Binnen de projecttoepassing wordt uitgegaan van een nieuw te bouwen gebouw. Met andere woorden: als het project nog een keer gebouwd zou worden: welke verbeteringen zouden gemaakt kunnen worden op het gebied van de brandscheidingen?

7.1 Het gebouw

Voor de projecttoepassing van dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van een gebouw van Kloosterboer. Kloosterboer is een bedrijf in de logistieke dienstverlening van temperatuur gecontroleerde voedselproducten. Het betreffende gebouw is gevestigd in Rotterdam op de Maasvlakte. Eind 2002, begin 2003 is het eerste gedeelte van het gebouw (gebouwdeel A) gerealiseerd. In 2012 is het tweede gedeelte van het gebouw gerealiseerd (gebouwdeel B), welke duurzaam gebouwd is en beschikt over een BREEAM certificering. Het gebouw staat weergegeven in figuur 16. Gebouwdeel A bestaat uit een 35 meter hoge industriehal met voornamelijk koel- en vriescellen en een kantoorgedeelte van 2 verdiepingen hoog. Gebouwdeel B is opgedeeld in een 11 resp. 17 meter hoge industriehal bestaande uit koel- en vriescellen en een expeditiehal en een 2 verdiepingen hoog kantoorgedeelte. Het onderzoek wordt toegepast op gebouwdeel B, rood gearceerd in figuur 16. De industriefunctie heeft een omvang van 8220 m², de kantoorfunctie van gedeelte B bedraagt 1698 m². In bijlage 12 zijn plattegronden van de begane grond en eerste verdiepingen bijgevoegd, waarin de functies van de gebouwdelen worden weergegeven. De toepassing van het onderzoek is uitgevoerd op gebouwdeel B.



Figuur 12. Het gebouw van Kloosterboer (Maasvlakte), met rood gearceerd gebouwdeel B.

7.2 Brandbeveiligingsconcept Kloosterboer

Binnen het afstudeeronderzoek is onderzoek gedaan naar de brandcompartimentering en de detaillering van scheidingsconstructies. Binnen de omschrijving van het brandbeveiligingsconcept van project Kloosterboer wordt daarom alleen de brandcompartimentering en de detaillering (aansluitingen en materiaalgebruik) van de brandwerende scheidingsconstructies behandeld.

Het gebouw is opgedeeld in 9 brandcompartimenten. De brandcompartimenten binnen de industriefunctie van het gebouw mogen een maximale omvang van 2500 m² bezitten, binnen de kantoorfunctie mogen de brandcompartimenten een maximaal gebruiksoppervlak van 1000 m² beslaan (Bouwbesluit 2012). In bijlage 13 is een overzicht van de indeling in brandcompartimenten en omvang van de brandcompartimenten weergegeven. De omvang van alle brandcompartimenten is voldoende klein.

Tussen de brandcompartimenten onderling is uitgegaan van een WBDBO-eis van 60 minuten. De inwendige scheidingsconstructies ter plaatse van de brandscheidingen zijn als 60 minuten brandwerende scheidingen aangegeven. De gevel tegenover het bestaande gebouwdeel A is 30 minuten brandwerend uitgevoerd, om brandoverslag naar het bestaande gebouwdeel (A) te voorkomen. Hiermee wordt voldaan aan de gestelde eisen uit Bouwbesluit 2012.

De gevels, wanden en het dak van het gebouw zijn gerealiseerd door het toepassen van sandwichpanelen gevuld met PIR of PUR. In de brandscheidingen en ter plaatse van de brandscheidingen is in het dak en de gevel gebruik gemaakt van PIR isolatie. In de overige wanden, gevels en daken is gebruik gemaakt van PUR isolatie in de sandwichpanelen. De brandscheidingswanden steken door het dak heen. In bijlage 14 zijn de bestaande detailtekeningen van de aansluitingen en het materiaalgebruik ter hoogte van brandscheidingen weergegeven.

7.3 Verbetering van het brandbeveiligingsconcept Kloosterboer

In hoofdstuk 3 zijn detailtekeningen opgesteld, waarna deze zijn beoordeeld door experts op hun faalkans in hoofdstuk 4. De details van de huidige brandscheidingen zijn meegenomen in de beoordeling van de experts, namelijk verticaal detail 1 (wand/dak aansluiting) en horizon detail 10 (wand/gevelaansluiting). In tabel 12 staan de faalkansen per detail nogmaals weergegeven. Detail 1 wordt beoordeeld met een faalkans van gemiddeld 0,3 (30%), detail 10 krijgt een gemiddelde beoordeling van 0,34 (34%).

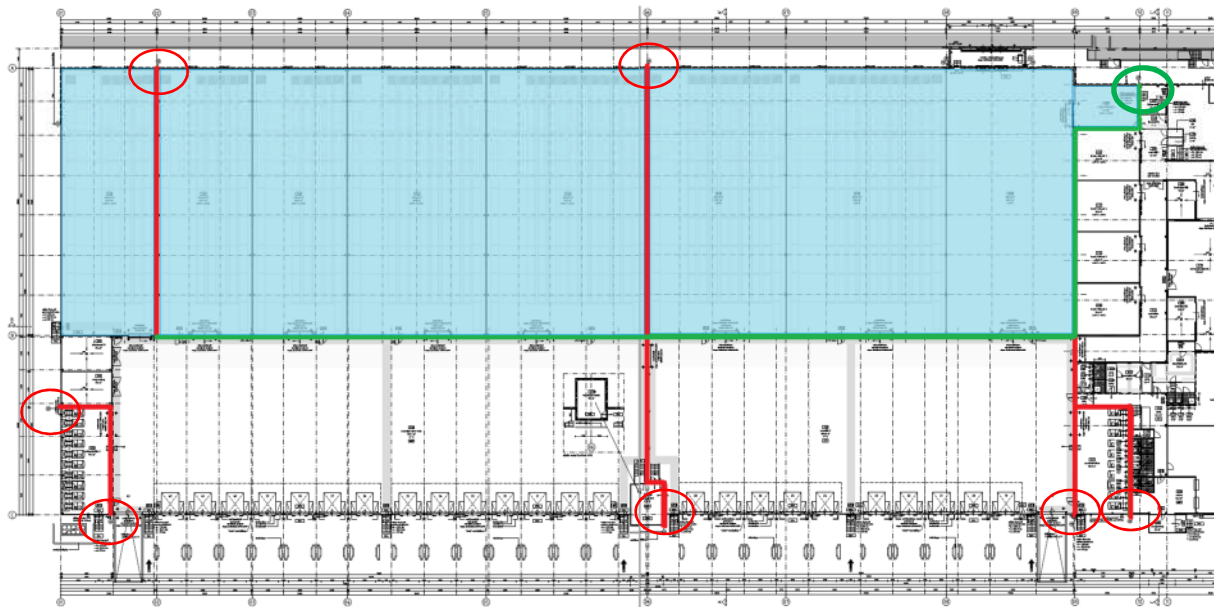
	Faalkans Scheidingswand	Faalkans aangr. constructieonderdelen	Faalkans Totaal	
1	0,32	0,29	0,30	Detail bestaand
2	0,28	0,28	0,28	
3	0,13	0,14	0,13	Nieuw detail
4	0,43	0,48	0,45	
5	0,37	0,43	0,40	
6	0,19	0,33	0,26	
7	0,36	0,36	0,36	
8	0,32	0,33	0,33	
9	0,14	0,21	0,18	
10	0,31	0,38	0,34	Detail bestaand
11	0,50	0,64	0,57	
12	0,28	0,28	0,28	
13	0,13	0,23	0,18	Nieuw detail

Tabel 12. Faalkansen per detail, waarbij detail 1 en 10 details zijn van de huidige brandscheidingen.

Detail 3 van de wand / dak aansluiting en detail 13 van de wand / gevel aansluiting worden het gunstigst beoordeeld op hun faalkans, en de experts zaten bij deze details het meest op 1 lijn wat betreft de beoordeling (zie bijlage 6 voor de details). In zowel het horizontale als het verticale detail wordt gebruik gemaakt van een 150 mm

cellenbeton brandwand. De scheidingswand steekt door het dak heen. Het dak en de gevel zijn ter plaatse van de brandscheiding hetzelfde gebleven als in het huidige brandbeveiligingsconcept, namelijk dak- en gevelpanelen met PIR isolatie.

Ter plaatse van de brandscheidingen in de koel- en vriescellen is het toepassen van enkel de cellenbeton brandwand niet voldoende, aangezien de Rc-waarde van de cellenbeton brandwand niet gelijk is aan de toegepaste Rc-waarde in het huidige brandbeveiligingsconcept. De scheiding tussen naast elkaar gelegen koel- en vriescellen vormt geen probleem: de naast elkaar gelegen ruimten zijn beide gekoeld. De wand van de vriescellen naar het kantoor en van de vriescellen naar de expeditieruimte wordt om deze reden wel uitgevoerd als een PIR sandwichpaneel. Ook de PIR sandwich paneel steekt door het dak heen. In figuur 17 staat weergegeven welke wanden als cellenbeton (rood), en welke wanden als sandwichpanelen met PIR isolatie (groen) worden uitgevoerd. De koel- en vriescellen zijn blauw gemarkeerd.



Figuur 17. Indeling van de brandcompartimenten, met rood de cellenbeton brandwanden en in groen de PIR sandwichpanelen. De cirkels worden behandeld in hoofdstuk 7.4

Om de branduitbreiding via overige gevel, dak en wanden te beperken, wordt in het nieuwe brandbeveiligingsconcept geen gebruik gemaakt van PUR in de sandwichpanelen. Alle sandwichpanelen worden gevuld met PIR isolatie.

In het bestaande concept waren alle brandscheidingen sandwichpanelen met PIR isolatie. In het huidige concept wordt een gedeelte van deze sandwichpanelen vervangen door cellenbeton brandwanden. Voor het gebruik van de modellen en rekentools in de projecttoepassing is het van belang om te weten wat de verhouding is van het aantal vierkante meters cellenbeton brandwand en de PIR sandwichpanelen ten opzichte van het origineel: 100% sandwichpanelen met PIR. De verhouding is als volgt bepaald: De totale lengte van de brandscheidingen is 307 m, dit is dus de 100%. In het bestaande concept was er 307 meter aan PIR sandwichpanelen. In het nieuwe concept bestaat 140 meter uit cellenbeton, en 167 meter uit PIR sandwichpanelen. In de nieuwe situatie bestaat 45% van de brandscheidingen uit cellenbeton en 55% uit PIR sandwichpanelen.

7.4 Verwachte levensduur

Om te bepalen welke invloed de verandering van het brandbeveiligingsconcept heeft op de verwachte levensduur van het gebouw wordt gebruik gemaakt van het model “Cascademodel – probabilistic building lifetime” van Ruud van Herpen. In het model worden de faalkansen van de verschillende lines of defence (LOD) ingevoerd. Om de verandering vast te kunnen stellen wordt het model ingevuld van zowel de bestaande situatie als van de nieuwe

situatie. De faalkansen zijn bepaald voor zowel de bestaande situatie, als voor de nieuwe gewenste situatie: met het gebruik van brandwanden.

In bijlage 15 is de verwachte levensduur van het bestaande brandbeveiligingsconcept bijgevoegd. De ingevulde ontstaanskans van brand is eerder al toegelicht in hoofdstuk 6. Bij de compartimentsgrootte is het grootste brandcompartiment met een oppervlak van 2305 m² ingevoerd. Aangezien er binnen deze scriptie alleen onderzoek is gedaan naar brandscheidingen binnen een industrie functie is voor het oppervlak van het gebouw enkel het oppervlak van het gebouw met industrie functie ingevoerd. Ook heeft de ontstaanskans van brand een andere waarde binnen een gebouw(deel) met een kantoorfunctie, de 2 gebruiksfuncties zijn daarom niet te combineren in 1 model. De faalkansen van de bestaande details zijn ingevuld bij LOD2a en LOD2b (detail 1 en 10, zie tabel 12). Bij LOD2a is de faalkans van 0,31 ingevuld. De faalkans is het gemiddelde van de faalkansen van detail 1 en 10, van het onderdeel scheidingswand. Bij LOD2b is een faalkans van 0,33 ingevoerd. De faalkans is het gemiddelde van de faalkansen van detail 1 en 10, van het onderdeel aangrenzende constructieonderdelen. De faalkansen van de 2 details worden gecombineerd omdat dan zowel een beeld wordt gegeven van het falen van de wand/ dak aansluiting, als van de wand / gevel aansluiting. Er wordt van uit gegaan dat het blussen van de brand door brandweer of BHV (LOD1) volledig faalt, aangezien er geen onderzoek is gedaan naar dit onderdeel.

De verwachte levensduur van het gebouw met het bestaande concept is 35,9 jaar.

In bijlage 16 is de verwachte levensduur met het nieuwe brandbeveiligingsconcept bijgevoegd. De uitgangspunten van de berekening zijn hetzelfde als bij het bestaande concept, alleen de faalkansen zijn anders. Aangezien in het nieuwe concept gebruik wordt gemaakt van zowel sandwichpanelen met PIR als van cellenbeton brandwanden, worden de faalkansen van de details van de PIR sandwichpaneel (detail 1 en 10) en de cellenbeton brandwand (detail 3 en 13) gecombineerd. De verhouding van het aantal vierkante meter cellenbeton brandwanden en de PIR sandwichpanelen is ongeveer half om half (45:55).

Er wordt wel weer onderscheid gemaakt tussen de faalkans van de scheidingswand en de aangrenzende constructieonderdelen:

- LOD2a heeft een faalkans van 0,22 gekregen:
$$\text{LOD2a} = 0,32 \text{ (detail 1)} + 0,13 \text{ (detail 3)} + 0,31 \text{ (detail 10)} + 0,13 \text{ (detail 13)} / 4 = 0,22$$
- De aansluiting van de wand met de gevel komt 1 keer voor in de variant wand PIR sandwichpaneel en 7 keer in de variant wand cellenbeton, zie de cirkels in figuur 14. De faalkans van LOD2b wordt daarom:
$$\text{LOD2b} = (1 \cdot (0,29 + 0,38) / 2) + (7 \cdot (0,14 + 0,23) / 2) / 8 = 0,20$$

De verwachte levensduur van het gebouw met het nieuwe concept is 38,9 jaar.

7.5 Duurzaamheid

De bestaande situatie van project Kloosterboer beschikt over een “very good” (***) BREEAM certificering.⁽³⁵⁾

Binnen de beoordeling zijn een aantal credits gehaald voor de toepassing van materialen. De BREEAM beoordeling is afgegeven in 2012. In 2012 werd er nog geen gebruik gemaakt van de materialentool zoals deze tegenwoordig wordt gebruikt voor de bepaling van het aantal credits voor MAT1, maar werd gebruik gemaakt van Greencalc+. De werking van Greencalc+ is hetzelfde als de nieuwe materialentool. Het is echter niet mogelijk om een gebouw dat ingevoerd is in Greencalc+ over te zetten in de materialentool. Aangezien het doel van dit hoofdstuk is om het verschil tussen de duurzaamheidsbeoordeling van het bestaande en het nieuwe concept weer te geven, wordt het nieuwe concept ook ingevoerd in Greencalc+. Dit om een zo reëel mogelijk beeld te krijgen van het verschil in duurzaamheidsbeoordeling van beide concepten.

De beoordeling van de duurzaamheid van de materialen in het bestaande gebouw is ingevoerd door een expert op het gebied van duurzaamheid en energie van Nieman Raadgevende ingenieurs. De invoer is om deze reden niet gecontroleerd. In bijlage 17 is een uitdraai van de Greencalc+ invoer toegevoegd. De schaduwprijs per vierkante meter BVO voor het bestaande concept bedraagt €0,95.

Voor de invoer van het nieuwe concept is de bestaande Greencalc+ berekening aangepast. De volgende onderdelen moeten aangepast worden in de bestaande berekening:

- Gevels: alle onderdelen met PUR isolatie vervangen door PIR isolatie
- Binnenwanden:
 - Alle brandscheidingen zijn in het bestaande concept ingevoerd als sandwichpanelen met PIR isolatie. In het nieuwe concept wordt 45% van deze PIR sandwichpanelen vervangen door cellenbeton met een dikte van 150 mm;
 - Alle wanden waar PUR isolatie is toegepast worden aangepast naar PIR isolatie;
- Daken: alle onderdelen met PUR isolatie vervangen door PIR isolatie

In bijlage 18 is de invoer in Greencalc+ van de materialen van het nieuwe concept weergegeven. De aan te passen onderdelen zijn zowel in de bestaande als in de nieuwe situatie geel gemarkeerd, om het verschil beter leesbaar te maken. De schaduwprijs per vierkante meter BVO voor het nieuwe concept bedraagt €0,97.

In tabel 13 wordt weergegeven hoeveel credits worden gegeven voor het onderdeel MAT1. De referentiewaarde voor utiliteitsbouw bedraagt €1,30 per m² BVO per jaar. Bij een verlaging van de referentieschaduwprijs per m² BVO per jaar van 20% (dus 80% van de referentieschaduwkosten) worden 4 credit gegeven, bij een verlaging van 30% (dus 70% van de referentieschaduwkosten) worden 5 credits gegeven. Aangezien de schaduwkosten 73 – 75% van de referentie schaduwkosten bedragen, worden er maximaal 4 credits verdient.

	Schaduwkosten per m2 BVO	Referentiewaarde	Percentage	Aantal credits
Bestaand concept	0,95	1,3	73%	4
Nieuw concept	0,97	1,3	75%	4

Tabel 13. Aantal credits voor het bestaande en het nieuwe concept.

De verandering van het brandbeveiligingsconcept heeft bij dit project geen effect gehad op de duurzaamheidsbeoordeling van BREEAM, aangezien het aantal credits nog gelijk is.

7.6 Conclusies projecttoepassing

In de projecttoepassing zijn de onderzoeksresultaten toegepast op een project. Het verbeteren van de brandscheidingen kan gevolgen hebben voor de verwachte levensduur en de BREEAM beoordeling. In tabel 14 zijn de verwachte levensduur en de BREEAM credits van het bestaande en het nieuwe concept naast elkaar weergegeven.

	Verwachte levensduur	BREEAM credits MAT1
Bestaand concept	35,9 jaar	4
Nieuw concept	38,9 jaar	4

Tabel 14. Overzicht verwachte levensduur gebouw en BREEAM credits MAT1.

De verbetering van de brandscheidingen heeft invloed gehad op de verwachte levensduur van het gebouw. Het nieuwe concept heeft een verwachte levensduur van 3 jaar langer ten opzichte van de verwachte levensduur van het bestaande concept. De BREEAM MAT1 beoordeling is hetzelfde voor beide concepten.

De verbetering van de brandscheidingen heeft bij het project Kloosterboer geen effect op de BREEAM duurzaamheidsbeoordeling. De verwachte levensduur van het gebouw is verbeterd bij het toepassen van het nieuwe concept.

8. Beperkingen van het onderzoek

Er zitten een aantal beperkingen in het afstudeeronderzoek. Onderstaand wordt per hoofdstuk, indien van toepassing, de beperkingen weergegeven.

Onderzoek naar tekorten door brandonderzoek:

- Het aantal geanalyseerde brandonderzoeken is beperkt tot 7 brandonderzoeksrapporten. Het verkrijgen van brandonderzoeksrapporten ging moeizaam. De verkregen informatie over de tekortkomingen in brandscheidingen binnen industriefuncties is daarom beperkt;
- Resultaten zijn sterk afhankelijk van de bouwtechnische kennis van de brandonderzoekers;
- Tekorten worden enkel gegeven over grote onderdelen van de brandscheiding, er is geen informatie beschikbaar over tekorten in bijvoorbeeld bevestiging.

Onderzoek naar tekorten door inspecties:

- Afstudeeronderzoek A.Y. Botma
 - Het aantal geïnspecteerde gebouwen binnen het RGD onderzoek is beperkt (27 gebouwen);
 - Resultaten zijn sterk afhankelijk van de kwaliteit en de expertise van de inspecteurs;
 - Veel gebouwen zijn niet uitgebreid geïnspecteerd, een deel van het gebouw is geïnspecteerd waardoor tekortkomingen over het hoofd gezien worden en het aantal tekortkomingen binnen een gebouw niet naar werkelijkheid is;
 - Het niveau waarop geïnspecteerd is verschilt sterk per inspectierapport: de minst gedetailleerde rapporten bepalen de standaard voor de diepgang en nauwkeurigheid van de analyse;
 - 28 verschillende groepen tekortkomingen zijn vastgesteld. De 28 groepen tekortkomingen zijn samengevoegd en ingedeeld binnen 8 groepen. Niet alle tekortkomingen binnen de 8 groepen hebben daardoor hetzelfde effect op het vroegtijdig falen van de scheidingsconstructie;
 - De prestaties van verschillende elementen kan niet vastgesteld worden binnen de inspectie en zijn daardoor onzeker;
 - Er is geen rekening gehouden met het effect van afwijkingen in de brandwerendheid van verschillende elementen die wel voldoen aan de regelgeving;
 - De faalcriteria die gebruikt zijn voor de classificatie komen vaak niet overeen met de faalcriteria in werkelijkheid. Elementen die niet voldoen aan de verplichte certificatie kunnen goed functioneren tegen branduitbreiding tijdens een brand of juist niet;
 - De geïnspecteerde gebouwen bestaan veelal uit gebouwen met meerdere gebruiksfuncties, voor de analyse is onderscheidt gemaakt tussen de verschillende gebruiksfuncties door uit te gaan van de hoofdgebruiksfunctie van het gebouw;
 - Er is aangenomen dat de aanwezigheid van verschillende tekortkomingen onafhankelijk is van elkaar, in werkelijkheid zou er een relatie tussen verschillende tekortkomingen kunnen zijn (bijv. gebrek aan onderhoud);
 - De diversiteit van de RGD gebouwen is beperkt, de gebouwen met een industriefunctie zijn voornamelijk archieven, depots en erfgoed. Er zijn dus geen productie- of fabrieksgebouwen onderzocht;
 - Er is alleen rekening gehouden met branduitbreiding binnen een gebouw, geen branduitbreiding naar andere panden buiten het perceel dan waar de brand ontstond;
 - De scheidingselementen zijn geïnspecteerd op componentniveau (per tekortkoming), terwijl in werkelijkheid een combinatie van tekortkomingen vaak zorgt voor een kritische situatie;
 - Er wordt geen rekening gehouden met de branduitbreiding en duur van de brand in het brandcompartiment binnen de analyse; ⁽¹¹⁾

- Ervaring inspecteurs Nieman
 - o Van de varianten van de aansluiting tussen wand en gevel zijn vrijwel geen voorbeelddetails of andere informatie beschikbaar.

Verbetering van de brandscheidingen:

- Omdat er weinig informatie beschikbaar is over de aansluiting tussen wand en gevel, is het aantal bedachte detailoplossingen ook beperkt. De details van de wand / gevel aansluiting zijn gemaakt vanuit de ervaring van inspecteurs bij Nieman.

Faalkansen:

- De faalkansen die bepaald zijn door de experts zijn een verwachting van de werkelijke faalkans. De werkelijke faalkans van een brandscheiding is niet met zekerheid vast te stellen omdat deze afhankelijk is van veel verschillende factoren;
- Het aantal experts dat de details beoordeeld hebben op hun faalkans is beperkt.

Cascademodel – Probabilistic building lifetime:

- Het model “probabilistic building lifetime” is een simpel model om de verwachte levensduur van een gebouw weer te geven;
- De bandbreedte van het model is sterk afhankelijk van de ontstaanskans van brand. Bij het invoeren van een hogere ontstaanskans van brand wordt de bandbreedte van het model groter;
- Zowel de ontstaanskans van brand, als de faalkansen van de verschillende LOD's zijn een verwachting van de werkelijkheid. Het aantal onzekere factoren in het model is daardoor erg hoog.

Projecttoepassing

- Het aantal projecten waar het onderzoek op toegepast is, is beperkt.

9. Conclusies

Het doel van het afstudeeronderzoek was om vast te stellen welke materialen en aansluitingen een positief effect hebben op de verbetering van de brandscheidingen binnen een gebouw met een industriefunctie en in hoeverre de verbetering van de brandscheidingen een effect heeft op de duurzaamheidsbeoordeling binnen BREEAM.

Voor de verbetering van de brandscheidingen binnen een gebouw met een industriefunctie is uit het onderzoek naar tekorten naar voren gekomen dat het materiaalgebruik in scheidingsconstructies een grote invloed hebben op de brandwerendheid van een scheiding en in de branduitbreiding binnen het gebouw. Wanneer gebruik wordt gemaakt van brandbare materialen of materialen met een ongunstige brandklasse is de kans op branduitbreiding groter dan wanneer er onbrandbare materialen of materialen met een gunstige brandklasse toegepast worden in brandscheidingen, gevels en daken.

Het verbeteren van de brandscheidingen kan ook door de wand/dak aansluiting en de wand/gevel aansluiting goed te detailleren en uit te laten voeren. Er bestaan verschillende varianten van de wand/dak en wand/gevel aansluiting. De uiteindelijke weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag van een brandscheiding wordt mede bepaald door de aanwezige aansluitingen op gevels en daken. Deze aansluitingen kunnen van grote invloed zijn op de prestatie van de brandwerende wand.

De verbetering van de brandscheidingen op de onderdelen materialen en aansluitingen is uitgewerkt in 13 detailopties. De detailopties zijn beoordeeld door experts op faalkans van de brandscheiding en de aangrenzende constructie. Het gebruik van de cellenbeton brandwand in combinatie met PIR dak- en gevelpanelen wordt het meest gunstig beoordeeld. De details van de wand/dak aansluiting waarbij de brandscheiding door liep door het dak werden gunstiger beoordeeld dan de details waarbij de wand tot de isolatie of de stalen dakplaten doorliep (ongeacht het gebruik van materialen).

Het onderzoek is toegepast op het project Kloosterboer. In de projecttoepassing is de verwachte levensduur en de BREEAM beoordeling op het onderdeel MAT 1 van de bestaande brandscheidingen vergeleken met de verwachte levensduur en de BREEAM beoordeling op het onderdeel MAT1 van de nieuw ontworpen brandscheidingen. Bij het nieuwe concept hoort een verwachte levensduur van 38,9 jaar. De verwachte levensduur van het bestaande concept is 35,9 jaar. Het verschil in verwachte levensjaren tussen beide concepten is 3 jaar. De beoordeling van beide concepten op het gebied van BREEAM MAT1 blijft vrijwel gelijk. Het verbeteren van de brandscheidingen heeft in het geval van Kloosterboer geen effect op de BREEAM score. Door het verbeteren van de brandscheidingen wordt de kans op bedrijfscontinuïteit na een brand vergroot en de schade door brand beperkt. Zonder rekening te houden met het “cascademode – probabilistic building lifetime” kan dus ook gezegd worden dat de duurzaamheid van project verhoogd wordt wanneer de brandscheidingen betrouwbaarder zijn.

10. Aanbevelingen

De aanbevelingen zijn onderverdeeld in verschillende onderwerpen. Een aantal aanbevelingen worden herhaald.

Materialen

- **Isolatiematerialen:** Er wordt geadviseerd zoveel mogelijk gebruik te maken van steenwol isolatie of PIR isolatie, ten minste ter plaatse van de brandscheiding. Pas de isolatie niet alleen in de brandscheiding, maar ook in de aangrenzende constructieonderdelen (dak en gevel). Geef in het detail goed het verschil aan tussen de verschillende isolatiematerialen door bijvoorbeeld een andere arcering. Gebruik voor het afdichten van de aansluiting tussen verschillende constructieonderdelen steenwol;
- **Brandwand:** Overweeg bij het maken van keuzes over materialen en producten het toepassen van een cellenbeton brandwand als scheidingswand.

Aansluiting

- Er wordt aanbevolen om de aansluiting tussen scheidingswand en dak op 1 van de volgende manieren aan te sluiten:
 - Variant 1: De scheidingswand voert door het dak heen en is zichtbaar buiten het gebouw;
 - Variant 2: Haaks op de scheidingswand wordt brandwerende beplatingen bevestigd, zowel de cannelures boven de scheidingswand als de ruimte tussen de brandwerende beplating en de cannelures zijn gevuld met onbrandbare isolatie. De dakisolatie wordt ook onderbroken door onbrandbare isolatie. Ter plaatse van de onbrandbare isolatie wordt op het dak grind of betontegels toegepast;
 - Variant 3: Over een bepaalde breedte ter hoogte van de scheiding wordt de normale (meestal brandbare) isolatie onderbroken door onbrandbare isolatie en er worden tegels of grind toegepast op de waterdichte laag van het dak, ter breedte van de onbrandbare isolatie. Hierbij wordt het staaldak onderbroken t.p.v. de brandscheiding. Door deze aanvulling wordt voorkomen dat de straling bij een uit het dak slaande brand de dakbedekking van naastgelegen compartiment direct wordt aangestraald;
- **Dubbele staalconstructie:** Er wordt geadviseerd ter plaatse van de brandscheiding een dubbele staalconstructie toe te passen met bevestiging aan de brandscheiding door middel van smeltankers.

Gebruikers, beheerders en eigenaren

- **Cursus gebouwbeheerders:** Er wordt geadviseerd om de kennis en het bewustzijn van minimaal de gebouwbeheerders te verhogen door het volgen van een cursus. De cursus moet het belang van de brandscheiding aangegeven, het herkennen van brandscheidingen en het liefst ook de eisen van het Bouwbesluit en de realisatie van brandscheidingen behandelen. Door de gebouwbeheerder bewust te maken van het belang van brandscheidingen, kan deze de kwaliteit van de brandscheidingen in de gaten houden tijdens onderhoudswerkzaamheden. Ook kan hij de uitvoerende partij van het onderhoud of een verbouwing bewust maken van de brandscheidingen;
- **Borgingsmethodiek:** Een goede borgingsmethodiek is van belang voor een goed overzicht in de taken van gebouw-eigenaren, beheerders en gebruikers: leg vast wie verantwoordelijk is voor welke taken. Leg hierbij ook vast hoe en in welke frequentie de taken uitgevoerd moeten worden.

Ontwerpfase

- **Expert brandveiligheid in het projectteam:** Veel van de fouten in de brandscheidingen kunnen voorkomen worden door een expert op het gebied van brandveiligheid vanaf de ontwerpfase te betrekken bij het project. De expert kan advies geven over brandveiligheid binnen het gebouw op het gebied van indeling en detaillering, kan mee beslissen over de toepassing van brandwerende onderdelen als deuren en beglazing, kan testrapporten lezen om de toepassingsmogelijkheden vast te stellen (zoals brandwerend glas toepassen in een houten, aluminium of kunststof kozijn) en de expert kan advies geven bij het aannemen van een aannemer die verstand en ervaring heeft in het realiseren van brandscheidingen.

In de realisatiefase kan de expert kwaliteitscontroles uitvoeren op het gebied van de realisatie van brandscheidingen, tijdens de kwaliteitscontrole worden tips gegeven aan de aannemer en opmerkingen gemaakt over de realisatie van de brandwerendheid van brandscheidingen;

- **Brandscheidingen aangeven in bestek en installatietechnische tekeningen:** Er wordt geadviseerd om in de installatietechnische tekeningen aan te geven waar de brandscheidingen gesitueerd zijn, zodat de installateur weet dat de doorvoeringen van installaties brandwerend uitgevoerd moeten worden. Ook is het handig deze informatie te geven in het bestek.

Verder onderzoek

Verder onderzoek op het gebied van duurzaamheid en brandveiligheid is wenselijk. Onderzoek kan gedaan worden naar de volgende onderwerpen:

- De tekortkomingen van scheidingsconstructies binnen gebouwen met een ander gebruiksfunctie dan industriefunctie (bijvoorbeeld kantoor of bijeenkomst);
- De aansluiting van wand/gevel voor gebouwen met een industriefunctie;
- De toepassing van het huidige onderzoek op meerdere andere projecten met een industriefunctie om te controleren welke invloed de verbetering van de brandscheidingen op de BREEAM beoordeling van die projecten heeft;
- Hoe de tekorten door doorvoeringen, deuren en beglazing voorkomen of beperkt kunnen worden;

11. Bronnenlijst

- (1) Rijksoverheid. (z.d.). *Wat is duurzaam bouwen en verbouwen?* Geraadpleegd op 3 maart 2015, van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzaam-bouwen-en-verbouwen/vraag-en-antwoord/wat-is-duurzaam-bouwen-en-verbouwen>
- (2) Herpen, R. van. (2015). *Duurzaam brandveilige gebouwen: robuuste brandveiligheid gaat verder dan publieke eisen*. Referentie: Nz090360akA1.rhe. Zwolle: Nieman Raadgevende Ingenieurs.
- (3) Nivre. (2011-2014). *Miljoenenbranden*. Geraadpleegd op 9 maart 2015, van <http://www.nivre.nl/Over-het-NIVRE/Publicaties/Miljoenenbranden.aspx>
- (4) Rockwool RHE. (2014) *Database miljoenenbranden*. Verzameling informatie miljoenenbranden Nivre. Roermond: Rockwool B.V.
- (5) Scherjon, K. (2010). *Rapport brandonderzoek Vensterschool Gravenburg Groningen*. Apeldoorn: Veiligheidsregio Noord- en Oost Gelderland.
- (6) Werkhoven, R. van. (2012). *Onderzoeksrapport brand Caïrostraat 2-4 Rotterdam*. Rotterdam: Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond.
- (7) Remco. (2012). *Zeer grote brand bij Vodafone aan de Cairostraat* (online afbeelding). Geraadpleegd op 4 september 2015, van <http://district8.net/wp-content/foto113.jpg>
- (8) Stolk – van Tricht, P., Kobes, M., Haring, M., Boom, A. van de., Dikkenberg, R.P. van den. (2014) *Evaluatierapport zeer grote brand GRIP 2, Zomerdijk IJsselstein 22 juni 2013*. Utrecht: Veiligheidsregio Utrecht.
- (9) Stoks, d., Werf, H. van de. (2013) *Brandonderzoek rapport compagniebrand Hedel*. Lent: Veiligheidsregio Gelderland-Zuid.
- (10) Ebus, J. (2012) *Brandonderzoek binnenbrand groothandel kweekbenodigdheden* (concept). Velp: Veiligheidsregio Gelderland-Midden.
- (11) Botma, A.Y. (2013). *Research to the performance and adequacy of fire compartmentation* (Masterscriptie). Bouwkunde, Technische Universiteit Delft.
- (12) Dutch Green Building Council. (2014). *Beoordelingsrichtlijn BREEAM-NL voor nieuwbouw en renovatie*. Geraadpleegd op 16 maart 2015, van https://www.breeam.nl/sites/breeam.nl/files/bijlagen/20140930_Beoordelingsrichtlijn_BREEAM-NL_nieuwbouw_en_renovatie_2014_v1.01_webweb_0.pdf
- (13) Stichting Bouwkwiteit. (2014). *Bepalingsmethode Milieuprestatie gebouwen en GWW-werken*. Geraadpleegd op 13 februari 2015, van https://www.milieudatabase.nl/imgcms/20141125_SBK_Bepalingsmethode_versie_2_0_definitief.pdf
- (14) Nieman Raadgevende Ingenieurs. (2012). *MAT 1 berekening Kloosterboer Delta Terminal* (versie 2011). Zwolle: Nieman Raadgevende Ingenieurs.
- (15) Brandex Nederland B.V. (z.d.). *Brandwerende bekleding en brandwerende spuitpleisters*. Geraadpleegd op 24 november 2014, van <https://plus.google.com/116738939806923156863/about?pid=5935029163675471250&oid=116738939806923156863>
- (16) Brandveilig.com. (z.d.). *Brandwerende coating*. Geraadpleegd op 24 november 2014, van <http://www.brandveilig.com/wp-content/uploads/2011/01/brandwerende-coating.jpg>
- (17) Beton Lexicon. (z.d.). *Afspatten*. Geraadpleegd op 24 november 2014, van <http://betonlexicon.nl/A/Afspatten/media/Afspatten.jpg>
- (18) Kachelbouwer.nl. (z.d.). *Hout & vuur*. Geraadpleegd op 25 november 2014, van http://www.kachelbouwer.nl/?page_id=31
- (19) Tromp, A.J., Mierlo, R.J.M. van. (2014) *Fire safety engineering: handboek voor de bouw*. Delft: Eburon.
- (20) Efectis Nederland. (2014) *Cursus brandveilig gebouwbeheer en gebruik*. Cursusmateriaal. Bleiswijk: Efectis Nederland
- (21) Robijns, S. (2014). *Dictaat brandveiligheid*. Utrecht: Hogeschool Utrecht.

- (22) Vink, J.E., Weges, J. (2014) *Materialen en brandveiligheid*. Arnhem: Infopunt brandveiligheid van het instituut fysieke veiligheid
- (23) Weges, J.M. (2006) *Uitvoering brandveiligheid dakconstructies van stalen damwandprofiel*. Arnhem: Nederlands Instituut voor Brandweer en Rampenbestrijding (NIBRA).
- (24) Dikkenberg, R. van den, Post, J., Schaaf, J. van der, Tonnaer, C. (2012) *Verbeteren brandveiligheid: Proof of concept Cascademodel 2.0*. Arnhem: Nederlands instituut Fysieke Veiligheid (NIFV).
- (25) National Research Council of Canada (NRC), International Code Council USA (ICC), Department of Building and Housing New Zealand (DBH), Australian Building Codes Board (ABCB). (2005) *International Fire engineering guidelines*. Canberra: Department of Building and Housing (ABCB).
- (26) Janse, E.W., Kersten, B. (2009). *Brandwerende details*. Zwijndrecht: DeckersSnoeck.
- (27) Herpen, R. van. (z.d.) *Strategiedocument faalkans scheidingen brandruimte kernpunten*. Zwolle: Nieman Raadgevende Ingenieurs.
- (28) Xella Nederland BV. (z.d.) Veilig compartimenteren met brandwanden. Geraadpleegd op 20 augustus 2015, van http://www.xella.nl/nl/docs/XEL40132_Hebel_Brandwndn_LR.pdf
- (29) Isolatie.net. (z.d.) *PIR Isolatie*. Geraadpleegd op 6 oktober 2015, van <http://www.isolatie.net/pir-isolatie/>
- (30) Deskundig-isoleren.nl. (z.d.) *PIR of Polyisocyaanate isolatieplaat*. Geraadpleegd op 6 oktober, van <http://www.deskundig-isoleren.be/pir.html>
- (31) Deskundig-isoleren.nl. (z.d.) *Isoleren met rotswol*. Geraadpleegd op 6 oktober, van <http://www.deskundig-isoleren.be/rotswol.html>
- (32) Robijns, S. (2014) *Voortgangsverslag 1 (stage Effectis Nederland)*. Bleiswijk: Effectis Nederland / Hogeschool Utrecht
- (33) BREEAM. (z.d.) *MAT 1 – Bouwmaterialen*. Geraadpleegd op 7 oktober 2015, van <https://www.breeam.nl/hulp/nieuwbouw/materialen/17362/Mat%201%20-%20Bouwmaterialen>
- (34) Cellenbeton.nl. (z.d.) *Het thermisch isolerend vermogen van cellenbeton*. Geraadpleegd op 10 oktober 2015, van <http://www.cellenbeton.nl/isolerend.htm>
- (35) BREEAM.nl (z.d.) *Nieuwbouw expeditiehal*. Geraadpleegd op 23 februari 2015, van <https://www.breeam.nl/projecten/nieuwbouw-expeditiehal-0>