



AFSTUDEERSCRIPTIE PLANTVEILIGHEID



Brand uitbreidingsrisico van groene gevels

HOOFDRAPPORT:

Auteurs:

F. Verbrugge	:Student- 634178
M. Diks	:Student- 617365

Begeleiding

E. Rutgers	:HAN Begeleiding
L. Clijsen	:HAN Begeleiding
R.A.P. van Herpen	:Peutz Begeleiding

09-01-2023



Informatiepagina

Onderzoek

Document:	Bachelor scriptie Hoofdrapport
Versie:	1.0
Datum:	09-01-2023
Opdrachtgever:	Peutz B.V.
Bedrijfsbegeleider:	Ruud van Herpen
Schoolbegeleiders:	Ellen Rutgers & Lienke Clijsen
Auteurs:	Fiona Verbrugge & Maaïke Diks
Gecontroleerd door:	R. A. P. Herpen; D.P. Coljee; J.S. Diks; C. Diks; P.A. Bakker; M. Walgemoet



Hogeschool

Hogeschool van Arnhem en Nijmegen
HBO Bouwkunde
Ruitenberglaan 26, 6826 CC Arnhem | Academie Built Environment
<https://www.han.nl/>



Afstudeerbedrijf

Peutz bv
Peutz Mook
Lindenlaan 41, 6584 AC Molenhoek
<https://www.peutz.nl/>





Voorwoord

Voor u ligt de bachelor scriptie “Plantfysica: het brand uitbreidingsrisico van groene gevels”. Deze scriptie is geschreven als afstudeeronderzoek voor de opleiding HBO Bouwkunde aan de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen, te Arnhem. Van september 2022 tot en met januari 2023 hebben wij, Fiona Verbrugge (23) en Maaïke Diks (22), onderzoek gedaan naar het brandgedrag van groene gevels en hebben wij deze scriptie geschreven.

Gedurende onze opleiding op de HAN was het verduurzamen van de bouw een groot onderdeel in eigenlijk alle lesstof. Groene gevels waren bij de meeste studenten erg in trek, als het ging om het ontwerp van een casusproject. Hierin werden door docenten vooral de voordelen benadrukt, denk hierbij aan de esthetische waarde en de voordelen voor het milieu. Soms werden de nadelen ook wel besproken maar verder dan de financiële belangen kwam dit vaak niet. De bouwfysische gevolgen die groene gevels hebben en vooral de brandveiligheid kwam hierbij nooit echt aan bod. Dit heeft ons geïnspireerd om toch eens kritisch te gaan kijken naar groene gevels en specifiek of deze wel veilig zijn met oog op brand en branduitbreiding.

Tijdens ons afstuderen zijn er veel mensen geweest die ons hebben geholpen en die wij graag zouden willen bedanken. Allereerst onze bedrijfsbegeleider Ruud van Herpen, bedankt voor alle kennis die je met ons hebt willen delen en bedankt voor alle interessante gesprekken. Naast Ruud willen we ook onze andere collega's van Peutz bedanken, die ons geholpen en ondersteund hebben in het Laboratorium van Brandveiligheid. Onze begeleiders vanuit de hogeschool Ellen Rutgers en Lienke Clijsen, willen wij bedanken voor hun enthousiasme en hun begeleiding in het onderzoeksproces. Jullie wisten ons telkens weer te motiveren om nog meer uit het onderzoek te halen en onze ambities voor dit onderzoek om te zetten in werkelijkheid. Naast onze begeleiders willen wij ook Melvin Simonis in het bijzonder bedanken voor zijn medewerking. Bedankt voor het beschikbaar stellen van het laboratorium op de HAN en het meedenken toen we het zelf even niet meer wisten. Uiteraard willen wij ook de leverancier bedanken voor het beschikbaar stellen van gevelsystemen die wij mochten gebruiken voor onze praktijkonderzoeken.

Tot slot willen wij natuurlijk onze familie en vrienden bedanken voor alle steun die zij ons hebben gegeven afgelopen jaar.

Wij wensen u veel leesplezier!

Fiona Verbrugge en Maaïke Diks

Mook, 9 januari 2023



*Figuur 1 Fiona Verbrugge (L) en Maaïke Diks (R)
Foto: (Gerard Burger, Tech Gelderland)*

Samenvattingen

Samenvatting (NL)

De bouw ontwikkelt en verduurzaamt zich in een hoog tempo en een van de vele innovaties zijn groene gevels. Groene gevels worden bij opdrachtgevers steeds populairder maar het blijkt dat weinig informatie bekend is omtrent de brandveiligheid van groene gevels en dit brengt risico's met zich mee.

Het doel van dit onderzoek is om mensen bewust te maken van de risico's die groene gevels met zich meebrengen met het oog op branduitbreiding en hierover het gesprek te openen in de bouwwereld. Verder is het doel om de experts op het gebied van brandveiligheid te mobiliseren om de wet- en regelgeving inclusief de bijbehorende testmethodes aan te passen om zo de ontwikkeling van veiliger (groene) gevels mogelijk te maken. Daarom staat in dit onderzoek de volgende vraag centraal:

“Welke aspecten hebben invloed op het brand uitbreidingsrisico van een groene gevel naar een ander brandcompartiment?”

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden is gebruik gemaakt van veel deskresearch en zijn er twee praktijkonderzoeken uitgevoerd. Uit de diverse onderzoeken is gebleken dat de volgende aspecten veel invloed hebben op het brand uitbreidingsrisico:

- 1) Het type groene gevelsysteem: denk hierbij aan de gebruikte materialen die per gevelsysteem kunnen verschillen en het soort irrigatiesysteem.
- 2) De gebrekkige regelgeving: er is veel ruimte voor vrije interpretatie wat ervoor zorgt dat leveranciers de meest ideale situatie kunnen testen, wat gunstigere testresultaten tot gevolg kan hebben. In een dergelijke situatie wordt er geen worstcasescenario getest en kan het geteste brandgedrag erg afwijken van het werkelijke brandgedrag.
- 3) De manier van testen: in Europa wordt er volgens een uniforme manier op brandgedrag getest, dit wordt gedaan met de kleinschalige SBI-test. Diverse landen gebruiken verschillende middelen of grote schaal testen welke ieder eigen voor- en nadelen hebben. Opvallend is dat uit de analyse bleek dat veel testmethodes incompleet zijn qua test- en beoordelingscriteria, waardoor een gevel een hoger brand uitbreidingsrisico kan hebben dan van tevoren is voorspeld. Voor heel Europa zou een aanvulling op de normen dan ook zinvol zijn.
- 4) Vochtgehalte van de beplanting en het substraat: uit de praktijkonderzoeken is gebleken dat ook het vochtgehalte van de gevel en de beplanting veel invloed hebben op het brandgedrag van de groene gevelsystemen. Wanneer de beplanting droog is, is er een grotere kans op een snelle horizontale branduitbreiding dan bij goed gehydrateerde planten.

Uit deze resultaten kan geconcludeerd worden dat er veel aspecten zijn die invloed hebben op het brand uitbreidingsrisico van gevelgebonden groene gevels. De meeste aspecten die een negatieve invloed hebben op het brand uitbreidingsrisico zouden verholpen kunnen worden door het aanscherpen van de wet- en regelgeving. Hierbij moet men denken aan strengere eisen voor de conditionering van de producten, een testmethode die beter past bij de werkelijkheid en eisen voor het geldigheidsgebied van het brandklasse certificaat.

Omwille van de beperkte onderzoeksmogelijkheden zijn er een aantal onderwerpen afgebakend (zoals diverse gebouwtypen en de kosten). Aanbevelingen voor vervolgstudies naar het brand uitbreidingsrisico zijn: verschillende typen groene gevelsystemen, het effect van het vochtgehalte van het substraat en de beplanting, het effect van verschillende plantensoorten, het effect van de achterliggende constructie en de mogelijkheden om firestops toe te passen in een groene gevel.



Summary (EN)

Construction is developing and becoming more sustainable each day, one of the many innovations being green facades. Green facades are growing more popular with clients. However, it turns out little information is known about the fire safety of living wall systems and this entails risks.

This research aims to make people aware of the risks that green facades entail for the expansion of fire and to initiate the conversation about these risks in the construction sector. Furthermore, the goal is to mobilize experts of the fire safety to adjust the laws and regulations, including the associated test methods, to make the development of safer (green) facades possible. For this reason, the following question is central to this research:

"Which aspects influence the fire expansion risk from a façade-related green façade to another fire compartment?"

In order to answer this question, extensive desk research was carried out, as well as two practical studies. The studies have shown that the following aspects influence the fire expansion risk: 1) The type of green façade system: think of the materials used that can differ per façade system and the type of irrigation system. 2) The flawed regulation: there is a lot of room for free interpretation. As a result, suppliers could test the most ideal situation in order to generate more favourable test results. In said situation, no worst-case scenario has been tested, which may indicate that the tested fire behaviour can be very different from the actual fire behaviour. 3) The way of testing: in Europe, various test methods are used, each with its advantages and disadvantages. It is striking that the analysis showed that many test methods are incomplete in terms of test and assessment criteria, which means that a façade can have a higher fire expansion risk than predicted in advance. Throughout Europe, an addition to the standards would therefore be necessary. 4) Moisture content planting; practical studies have shown that the moisture content of the façade and the planting also has a significant influence on the fire behaviour of the green façade systems. When the plants are dry, there is a greater chance of a rapid horizontal fire spread than with well-hydrated plants. These results lead to the conclusion that many aspects influence the fire expansion risk of façade-related green facades. Most features that have a negative impact on the fire spread risk could be remedied by tightening the laws and regulations. This includes stricter requirements for the conditioning of the products, and a test method that better suits reality including requirements for the area of validity of the fire class certificate.

Due to the limited research possibilities, several topics have been demarcated (such as various building types and costs). Recommendations for follow-up studies on the fire expansion risk may be: different types of green façade systems, the effect of the moisture content, the consequences of diverse plant species, the influence of the underlying construction, and the possibilities to apply firestops in a green façade.



Inhoudsopgave

Informatiepagina	3
Voorwoord.....	5
Samenvattingen.....	6
Samenvatting (NL)	6
Summary (EN).....	7
Inhoudsopgave	8
Afkortingen en begrippen.....	9
Afkortingenlijst	9
Begrippenlijst.....	10
1 Inleiding	12
1.1 Aanleiding	12
1.2 Probleemstelling.....	12
1.3 Doelstelling	13
1.4 Hypothese.....	13
1.5 Leeswijzer	13
2 Onderzoeksopzet.....	14
3 Theoretisch kader	15
3.1 Afbakening.....	15
3.2 Groene gevels	16
3.3 Het brandgedrag van groene gevelsystemen	18
3.4 De brandveiligheid van gevels	21
3.5 Het brand uitbreidingsrisico bepalen.....	23
3.6 Restrisico's van de voorschriften en testmethoden.....	25
4 Praktijkonderzoek.....	27
4.1 Praktijkonderzoek op de HAN	27
4.2 Onderzoeksresultaten SBI-testen bij Peutz.....	29
5 Conclusie.....	31
6 Discussie	32
7 Aanbeveling	33
8 Literatuur	35
8.1 Tabellenlijst.....	35
8.2 Figurenlijst	35
8.3 Bibliografie.....	36
9 Bijlagen	40



Afkortingen en begrippen

Afkortingenlijst

Tabel 1 Afkortingenlijst

Afkorting	Betekenis
F(A)	Frequentie per jaar van een potentieel ernstige initiële brand in het brandcompartiment [1/jaar] (Normencommissie 351007 Brandveiligheid van Bouwwerken, 2016, p. 17)
$F_{\text{norm}}(A)$	Normatieve (aanvaardbare) overschrijdingsfrequentie per jaar voor de gebruiksoppervlakte A van het brandcompartiment door brand [1/jaar] (Normencommissie 351007 Brandveiligheid van Bouwwerken, 2016, p. 17)
NEN-norm	NEN staat voor Nederlandse Norm, NEN is ook de naam van het samenwerkingsverband tussen het Nederlands Normalisatie-instituut en de Stichting NEC. (ARBO centrum, 2022)
NEN-EN norm	NEN-EN staat voor de Eurocode dat een bepaalde norm niet alleen in Nederland geldt maar in geheel Europa. (ARBO centrum, 2022)
P	De uiteindelijke faalkans, in dit onderzoek verkregen door: $P_1 * P_2 * P_3$ (Normencommissie 351007 Brandveiligheid van Bouwwerken, 2016, p. 17)
P_1	De kans, gegeven ontsteking, dat een initiële brand in het brandcompartiment die potentieel ernstig is, zich daadwerkelijk ontwikkelt tot een lokale brand [-] (Normencommissie 351007 Brandveiligheid van Bouwwerken, 2016, p. 17)
P_2	De kans, gegeven een lokale brand in het brandcompartiment, dat deze doorgroeit tot een volledig ontwikkelde compartimentsbrand [-] (Normencommissie 351007 Brandveiligheid van Bouwwerken, 2016, p. 17)
P_3	De kans, gegeven een ontwikkelde compartimentsbrand in het brandcompartiment, op het falen van ten minste één brandscheidingsconstructie [-] (Normencommissie 351007 Brandveiligheid van Bouwwerken, 2016, p. 17)
$P_{\text{norm}}(A)$	De maximale toegestane faalkans (Normencommissie 351007 Brandveiligheid van Bouwwerken, 2016, p. 17)
SBI-test	Single Burning Item test, dit is een van de testmethoden die in Nederland gebruikt wordt om de brandklasse te bepalen. (Rockpanel, 2022)



Begrippenlijst

Tabel 2 Begrippenlijst

Begrip	Betekenis
Biodiversiteit	Biodiversiteit of biologische diversiteit is een graad van verscheidenheid aan levensvormen binnen een gegeven ecosysteem. (Wikipedia, 2022)
Brandcompartiment	Een brandcompartiment is een deel van een gebouw dat bij brand als zelfstandige eenheid beschouwd kan worden. De brandcompartimenten moeten ervoor zorgen dat gedurende een bepaalde tijd van minimaal 20 minuten het vuur en de rook tegengehouden kunnen worden, zodat er een veilige vrije vluchtroute gecreëerd kan worden. (Wikipedia, 2022)
Brandgedrag	Onder het brandgedrag worden, naast de echte brandbaarheid, ook de rookontwikkeling en de druppelvorming bij brand begrepen. (Vree, brandklasse, brandgedrag, 2022)
Brandklasse	De brandklasse is het gedrag van een materiaal bij brand, eenvoudig gesteld de brandbaarheid ervan. (Vree, brandklasse, brandgedrag, 2022)
Brandoverslag	Brandoverslag is de uitbreiding van een brand van de ene ruimte naar een andere ruimte, uitsluitend via de buitenlucht. Door warmtestraling kan een brand zich via de lucht uitbreiden. (Brandveiliggebouw.nu, 2019)
Brand uitbreidingsrisico	De kans dat een potentieel bedreigende brand zich uitbreidt naar buiten het acceptabele uitbreidingsgebied. In dit onderzoek is dat branduitbreiding naar een ander brandcompartiment. (Herpen, Voortgangsbespreking 1, 2022)
Brandvermogen	De hoeveelheid energie die per tijdseenheid vrijkomt bij een brand, uitgedrukt in kW of MW. (Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid, 2019)
Capillaire werking	Water/vocht wat omhoog kruipt in een smalle buis of stof tegen de zwaartekracht in. (Wikipedia, 2022)
Cavity barrier	Cavity barriers zijn een soort van firestops in de spouw en gaan vooral het warmtetransport doormiddel van convectie tegen. (Herpen, Feedback, 2022)
Conditioneren	Het in evenwicht brengen van de relatieve vochtigheid en temperatuur van een materiaal en omgeving ten behoeve van eenduidige testresultaten. (Dechering, 2022) (Encyclo.NL, 2022)
Firestop	Een firestop is een passieve vorm van brandwerendheid die wordt gebruikt om openingen/ aansluitingen tussen verschillende brandscheidingen (denk aan de aansluiting tussen wanden en vloeren) te sluiten. Firestops zijn ontworpen om de brandwerend scheiding dicht te maken en zo de verspreiding van brand en rook tegen te gaan. (Wikipedia, 2022)
Geldigheidsgebied	Het geheel van voorwaarden waaronder een brandklasse mag worden toegepast. (Encyclo.NL, 2022)
Gevel gebonden groene gevels	Bij een gevelgebonden groene gevel wordt een systeem aan de muur gemonteerd waarin de planten worden geplaatst. Deze systemen kunnen samengesteld worden uit modules, plantenbakken of zakken met geschikte planten. (ZNSTD, 2022)
Gevolgklasse	Klasse waarin een constructie wordt ingedeeld volgens NEN-EN 1990, waarbij de ernst van de gevolgen van bezwijken van de constructie maatgevend is voor de bepaling van de klasse. (Vree, Gevolgklasse, 2022)
Groene gevel	Een groene gevel is een met planten begroeide muur. In dit onderzoek wordt er vooral uitgegaan van gevelgebonden groene gevels. (Amsterdam Rainproof, 2022)



Grondgebonden groene gevels	De meest voorkomende groene gevels zijn grondgebonden en komen voort uit een geveltuin. De klimplant wordt aan de voet van de gevel in de grond geplaatst en groeit omhoog, al dan niet met of zonder klimhulp. (ZNSTD, 2022)
Hechtwortels	Hechtwortels zijn wortels, die zich in de lucht ontwikkelen en die bij klimplanten en epifyten de vasthechting van de stengels aan een substraat teweegbrengen. In ons klimaat zijn zij alleen bij de klimop bekend, in de tropen komen zij daarentegen veel voor. (Argrarische encyclopedie, 1954)
Maatgevend effect	Dit is een gebeurtenis die kan ontstaan en alles bepalend is voor je risicoanalyse, in dit onderzoek gaat het om een gebeurtenis die je ten alle tijden wilt voorkomen. (Wikipedia, 2022)
Ontstekingsfrequentie	De frequentie per jaar dat een potentieel ernstige brand zich in een brandcompartiment voordoet [1/jr.]. (Normencommissie 351007 Brandveiligheid van Bouwwerken, 2016)
Overschrijdings-frequentie	Gemiddeld aantal keren dat in een bepaalde tijd een verschijnsel een zekere waarde bereikt en overschrijdt (Betekenisdefinitie, 2022)
Schoorsteeneffect	Het schoorsteeneffect is de opwaartse beweging van de binnen lucht in een gebouw of een koker, doordat deze lucht warmer is en dus lichter dan de buitenlucht. Die beweging zorgt voor aanzuiging van verse lucht onderaan in het gebouw of de koker en stuwt de warme lucht aan de bovenkant naar buiten. (Gids Duurzame Gebouwen, 2016)
Uitslaande vlam	De vlam die tijdens een volledig ontwikkelde compartimentbrand via een gevelopening naar buiten komt. (Herpen, Voortgangsbespreking 1, 2022)
Verstekwaarden	Een vooraf bepaalde (standaard) waarde die kan worden gebruikt als de gebruiker geen situatie specifieke waarde kan leveren. (Normencommissie 351007 Brandveiligheid van Bouwwerken, 2016)
Vuurlast	De vuurlast staat voor de totale verbrandingswaarde (bij volledige verbranding) van alle brandbare materialen in, op en aan een gebouw. (Brandpreventie Twente, 2022)



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

We komen steeds meer groene gevels tegen, in dorpen maar ook in drukbevolkte gebieden zoals steden. Mensen vinden het fijn om omringd te zijn met natuur en groen, groene gevels zorgen voor extra groen op plekken waar dat anders niet mogelijk is en brengen diverse voordelen met zich mee. Deze voordelen zijn onder andere het verbeteren van de gezondheid van mensen, de biodiversiteit, thermische- & geluidsisolatie van gebouw en omgeving (hier is meer over te vinden in bijlage 3). De genoemde voordelen zijn er alleen als de gevel goed onderhouden wordt en er niet uit komt te zien zoals de gevel in figuur 2. We vroegen ons af of er meer nadelen aan slecht onderhouden groene gevels zit dan alleen het uiterlijk en het verslechteren van de onderzochte aspecten. Nu vragen wij ons af of (droge) planten in een gevel extra risico's met zich meebrengen op het gebied van brandveiligheid.



Figuur 2 Vervallen groene gevel door slecht onderhoud (Hendriks, 2017)

Bij een parkeergarage in Zoetermeer, waar het systeem Sempergreen wall outdoor was gemonteerd aan de gevel, is er een poging gedaan tot brandstichting. Deze ontdekking is gedaan bij een onderhoudsronde van de gevel. Dit gevel type is (in gezonde toestand) getoetst aan de gestelde eisen en voldoet aan brandklasse B, wat alleen verkregen kan worden als het materiaal moeilijk brandbaar en zelfdovend is. In figuur 3 is goed te zien dat dit inderdaad het geval is, toch wekt het wel de vraag op wat er zou gebeuren als de planten niet goed onderhouden en uitgedroogd zouden zijn. Dit is dan ook de reden dat we het volgende willen onderzoeken:



Figuur 3 Door brandstichting beschadigde groene gevel (Sempergreen)

“Welke aspecten hebben invloed op het brand uitbreidingsrisico van een groene gevel naar een ander brandcompartiment?”

Om deze vraag te beantwoorden is het nodig aanvullend onderzoek uit te voeren. Hiervoor zal onderzoek gedaan worden naar de volgende vragen: Wat is een groene gevel? Wat is het brandgedrag van de materialen die toegepast zijn bij groene gevels? Hoe wordt er nu omgegaan met de kans op branduitbreiding via (groene) gevels? Hoe kan het brand uitbreidingsrisico naar andere brandcompartimenten via de gevel worden bepaald? Wat zijn de risico's van de huidige testmethodes voor het brandgedrag van (groene) gevels? Wat is het effect van (gedroogde) beplanting en het substraat op het brandgedrag van groene gevels?

1.2 Probleemstelling

Tijdens het onderzoek is onderzoek gedaan naar de omissies van de diverse (N)EN-normen en bijbehorende testmethodes die van toepassing zijn op de brandveiligheid, maar er is ook kritisch gekeken naar het huidige Bouwbesluit van 2012 zelf. Zo wordt er structureel geen onderscheid gemaakt in groene gevels, terwijl dit niet als een “standaard” gevel kan worden beschouwd. Een groene gevel is een levende gevel waarin aspecten zoals klimaat, seizoenen en onderhoud een veel grotere rol spelen dan bij bijvoorbeeld een houten, gestuukte of bakstenen gevelafwerking. Een levende gevel kent zoveel variabelen dat deze niet te vatten zijn binnen de huidige regelgeving. Het gebrek aan wettelijke kaders voor het geldigheidsgebied en de beperkingen van de testmethode creëren mogelijkheden voor het maken van goedkopere (en minder veilige) oplossingen. Zo zou men kunnen zeggen dat levend groen niet als (extra) vuurlast wordt gezien, wat een bedreiging kan vormen voor de brandveiligheid van een gevel en daarmee het gehele gebouw. Het volledige rapport is te vinden in bijlage 4.



1.3 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is om anderen (zoals bouwkundigen, branddeskundige, groene gevel leveranciers en derden) te informeren over en bewust te maken van de risico's met betrekking tot de brandveiligheid wanneer men een groene gevel toepast. Daarnaast is het doel om de discussie in de bouwwereld te openen over de risico's van groene gevels en dat een groene gevel veel meer inhoudt dan alleen een aspect van duurzaamheid en esthetica. Tot slot is het de bedoeling om mensen die zich specifiek bezighouden met brandveiligheid te motiveren om de wet- en regelgeving met de daarbij behorende testmethodes aan te passen, zodat ook groene gevels op een goede en veilige manier toegepast kunnen worden.

1.4 Hypothese

Onze verwachting is dat groene gevels een grote invloed kunnen hebben op het brand uitbreidingsrisico. Wij denken dat wanneer de gevel slecht onderhouden is (en er meer dorre en dode planten in de gevel zitten) de kans op branduitbreiding via de gevel verhoogd wordt. Wanneer er sprake is van een gezonde en goed gehydrateerde gevel, verwachten wij dat er weinig kans is op branduitbreiding via het groen in de gevel aangezien de planten te vochtig zullen zijn om meteen te kunnen verbranden. Verder denken wij dat onduidelijke en/of incomplete regelgeving voor groene gevels een negatieve invloed heeft op het brand uitbreidingsrisico.

1.5 Leeswijzer

Het hoofdrapport start in hoofdstuk 2 met een overzicht van de onderzoeksopzet en de doorlopen stappen. In hoofdstuk 3 zal de theoretische benadering van de te onderzoeken onderwerpen aan bod komen, te beginnen met de afbakening van het onderzoek (§3.1) wat groene gevels precies zijn (§3.2) en het brandgedrag van deze systemen (§3.3). Daarna volgt de huidige omgang met de kans op branduitbreiding via gevels (§3.4) en hoe het brand uitbreidingsrisico bepaald kan worden (§3.5). Het laatste theoretische aspect zal gaan over de diverse testmethodes die in Europa gehanteerd worden (§3.6). Na de theorie zullen de twee uitgevoerde praktijkonderzoeken aan bod komen in hoofdstuk 4. Hierna zal in hoofdstuk 5 antwoord worden gegeven op de hoofdvraag middels de conclusie. In hoofdstuk 6 vindt men de discussie waarin de gebreken van het onderzoek worden toegelicht. Hoofdstuk 7 bevat aanbevelingen voor vervolg onderzoeken die uit deze studie voortkomen. De gebruikte literatuur zal in hoofdstuk 8 aan bod komen en tot slot is in hoofdstuk 9 een overzicht van de bijlagen behorende bij dit onderzoek toegevoegd.



2 Onderzoeksopzet

Gedurende het onderzoek is er gebruik gemaakt van de onderstaande onderzoeksopzet (figuur 4). Dit stappenplan geeft globaal weer wat de werkvolgorde is geweest. Zo bestond de start van het onderzoek uit het opstellen van een plan van aanpak waarin werd omschreven wat er precies onderzocht zou worden. Vervolgens is er een literatuurstudie gedaan ter onderbouwing van de aanleiding van het onderzoek. Hierna zijn er diverse deskresearch gedaan om informatie te verzamelen over groene gevels en hun brandgedrag en over de wet- en regelgeving omtrent brandveiligheid. Om het onderzoek verder te onderbouwen is ervoor gekozen om twee praktijkonderzoeken te doen. Ter voorbereiding op de experimenten is een plan van aanpak geschreven. De resultaten die voortkwamen uit dit onderzoek zijn vervolgens verzameld en geanalyseerd waarna het hoofdrapport geschreven kon worden. Dit hoofdrapport vormt tevens de basis voor het schrijven van het concept artikel voor brandveilig.com. Tot slot zal de scriptie verdediging plaats vinden, waarin het onderzoek zal worden gepresenteerd.



Figuur 4 Overzicht onderzoeksopzet (Diks, Overzicht onderzoeksopzet, 2022)



3 Theoretisch kader

3.1 Afbakening

In bijlage 2 is het plan van aanpak te vinden die een uitgebreidere uitleg van de afbakening bevat.

De te onderzoeken onderwerpen

- Groene gevels en de bijkomende onderdelen
- Brandgedrag van groene gevel materialen
- Wet- en regelgeving
- Risicoanalyse methode
- Testmethodes in Nederland en andere Europese landen en de bijkomende risico's

De afgebakende onderwerpen

- Brandveiligheid, met uitsluiting van:
 - o Horizontale brandscheiding: In het onderzoek wordt de focus gelegd op de verticale brandscheiding om het onderzoek haalbaar te maken.
 - o Rookvorming en verspreiding: er zijn geen wettelijke eisen gekoppeld aan de rookvorming en verspreiding buiten een gebouw
 - o Achterliggend gevelsysteem: tijdens het onderzoek wordt de focus gelegd op het brandgedrag van de schil die gevormd wordt door het toepassen van groene gevels. Tevens wordt er gebruik gemaakt van de SBI-testmethode deze is in verband met de maximale dikte niet in staat om de achterliggende constructie mee te nemen.
 - o Brandoverslag naar omliggende percelen: gedurende het onderzoek zal er gekeken worden naar het brand uitbreidingsrisico voor het gebouw waarop de groene gevel zich bevindt.
- Gebouwtypen, met uitsluiting van:
 - o Gebruiksfunctie die geen woonfunctie is: een gebouw met als hoofdfunctie 'wonen' zal relatief snel in aanmerking komen voor het toepassen van een groene gevel. Aangezien een woonfunctie ook te maken heeft met slaapgebruik zijn de eisen omtrent brandveiligheid hoger dan bij bijvoorbeeld een kantoorfunctie.
 - o Hoogbouw: bij gebouwen hoger dan 70m worden in Nederland extra eisen gesteld omtrent de brandveiligheid van het gebouw. Het is niet aannemelijk dat er groene gevels op deze hoogte worden toegepast, daardoor zal dit buiten beschouwing vallen.
- Groene gevels, met uitsluiting van:
 - o Gevelsystemen: Er zullen diverse gevelsystemen onderzocht worden, maar in verband met de vele variabelen die hierin mogelijk zijn zullen niet alle systemen onderzocht worden.
 - o Grondsoorten: In het onderzoek naar groene gevels zal alleen de meest voorkomende voedingsbodem voor planten onderzocht worden.
 - o Plantensoorten: De meeste groene gevelsystemen worden inclusief planten geleverd, de leveranciers hiervan hebben uitgebreid onderzoek gedaan naar plantensoorten en de bijkomstigheden van elk soort. Dit is de reden dat dit onderwerp kort aan bod komt en niet uitgebreid onderzocht zal worden. Daarnaast is de Duitse instelling Fire-Safe Green momenteel bezig met een uitgebreid onderzoek naar het brandgedrag van verschillende plantensoorten, wat in de nabije toekomst gepubliceerd zal worden.
- Kosten:
 - o De kosten van gevelsystemen, testmethodes en andere onderwerpen zullen niet meegenomen worden in dit onderzoek. Het belangrijkste onderdeel van brandveiligheid is de veiligheid en dit zou niet gelimiteerd moeten worden door bijkomende kosten.

(Herpen, Voortgangsbespreking 1, 2022)



3.2 Groene gevels

Om te beginnen is het voor dit onderzoek van belang om te weten wat een groene gevel precies is. Er bestaan twee typen als het gaat om groene gevels: grondgebonden groene gevels en gevelgebonden groene gevels. Het volledige rapport is te vinden in deel 1 van bijlage 5.

Grondgebonden groene gevels

Grondgebonden groene gevels zijn van oudsher op de wereld en zijn tot stand gekomen door de mens om de connectie met de natuur te behouden. Groene gevels ontstonden doordat klimplanten tegen gebouwen opgroeiden met behulp van hechtwortels of door de mens aangebracht klimhulp. Dit is de oudste vorm van groene gevels en wordt tot de dag van vandaag nog steeds toegepast.

Grondgebonden groene gevels zijn gevels waarbij de wortels van de plant in de grond zitten en niet in de gevel (figuur 5). Dit systeem bestaat voornamelijk uit klimplanten waarvan sommige soorten klimhulp nodig hebben. Klimplanten met hechtwortels kunnen zichzelf 'vastplakken' aan de gevel en hebben geen klimhulp nodig. De overige klimplanten kunnen verdeeld worden in rankende planten, wurgende planten, planten met luchtwortels en omhoog groeiers. Deze planten hebben klimhulp nodig om als groene gevel te kunnen fungeren. Klimhulp kan gemaakt of gekocht worden en bestaat voornamelijk uit hout, staal of kokostouw. Van deze materialen kunnen hekwerken gemaakt worden, pergola's of andere vormen, het belangrijkste is dat de plant begeleid worden en genoeg ruimte heeft om te groeien.

(Jan, 2020)



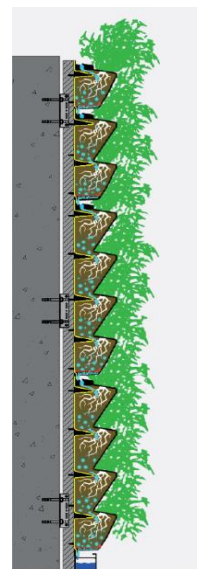
Figuur 5 Grondgebonden groen gevel met zelf hechtende klimplanten (Groenblauw, 2019)

Gevelgebonden groene gevels

Gevelgebonden groene gevels worden ook wel 'living wall systems' genoemd (figuur 6 en 7). Patrick Blanc heeft tussen 1970 en 1975 het eerste 'living wall system' ontworpen en op de markt gebracht met een basis van vilt waar mos op kan groeien. Sindsdien zijn er door diverse innovatieve bedrijven variaties op dit systeem ontwikkeld en op de markt gebracht.

Gevelgebonden groene gevelsystemen bestaan in verschillende soorten en maten, toch bestaan de meeste systemen uit de volgende 4 onderdelen: beplanting, een montagesysteem, substraat en een irrigatiesysteem. Bij sommige typen komt hier nog een substraathouder bij om het substraat op zijn plek te houden en te ondersteunen. Gevelgebonden groene gevels kunnen een organisch of anorganisch substraat bevatten.

Organische substraten worden gemaakt van natuurlijke producten en hebben vaak veengrond als hoofdbestanddeel. Hier kunnen diverse stoffen en materialen aan toegevoegd worden om een ideale zuurtegraad te creëren, voldoende voedingsstoffen te bevatten en genoeg vochtvasthoudend vermogen te hebben. Organische substraten worden voornamelijk toegepast bij een bakjessysteem, hierbij bestaat de gevel vaak uit modulaire plantenbakken waarbij de beplanting over het systeem heen kan groeien (zie figuur 6).



Figuur 6 Gevelgebonden groene gevel met substraathouders (nature, 2018)

Anorganische substraten (zie figuur 7) kunnen bestaan uit isolatiematerialen (bijvoorbeeld steenwol), schuim of vilt. Hier worden kleine 'holtes' in gemaakt waar de beplanting uit kan groeien. De voedingsstoffen die bij organisch substraat uit de voedingsbodem gehaald worden, wordt bij een anorganisch substraat via het irrigatiesysteem toegediend aan de planten. Wanneer er minerale wol of een ander anorganisch substraat wordt gebruikt, zal deze vaak in combinatie met een afwerkingsfolie of stalen korf toegepast worden. Het irrigatiesysteem kan bestaan uit een druppelsysteem of een geotextiel systeem. Een druppelsysteem heeft horizontale leidingen door de groene gevel lopen, waar water uit druppelt. Bij geotextiel zijn er doeken aan de achterzijde van het systeem bevestigd die, doormiddel van de capillaire werking, het water uit een gootje opnemen tot de hele doek vochtig is. Het substraat (veelal potgrond) zit tegen de doek aan en neemt het water van de doek op. De wortels groeien richting de vochtige doek en zullen zo altijd genoeg water hebben. Het gootje wordt doormiddel van een overstroom principe, continu bijgevoerd met water. De beplantingskeuze voor gevelgebonden groene gevels is erg breed en wordt veelal bepaald door de leverancier van het systeem. Vaak hebben leveranciers een assortiment met daarin de planten die volgens hen het beste zijn voor het systeem, mens, dier en milieu. (Fytocell, 2020) (Dobbels, 2018) (Canna, 2018) (Bertels, 2018)



Figuur 7 Gevelgebonden groene gevel met anorganische substraat (Groenblauw, 2019)

Toepassing en risico's

Door de vraag van opdrachtgevers en architecten worden er steeds vaker gevelgebonden groene gevels toegepast in bestaande bouw en nieuwbouwprojecten. Bij de aanvraag van een omgevingsvergunning die nodig is voor het (ver)bouwen van een gebouw, zal er onder andere aangetoond moeten worden dat een gebouw brandveilig zal zijn. Hiervoor zullen materialen zoals groene gevels getest moeten worden op brandveiligheid. Grondgebonden groene gevels kunnen tegen de gevel groeien maar worden niet gezien als bouw materiaal omdat deze geen bouwkundige functie hebben. Gevelgebonden groene gevels worden wel gezien als gevelmateriaal en bouwkundig onderdeel, waardoor het interessanter is om de brandveiligheid en het brandgedrag hiervan te onderzoeken.

In de volgende hoofdstukken zullen groene gevels onderzocht worden, hierbij zal in alle gevallen uitgegaan worden van een gevelgebonden groene gevel. De benaming wordt ingekort zodat de tekst prettiger te lezen is.



3.3 Het brandgedrag van groene gevelsystemen

Om erachter te komen wat het brandgedrag is van diverse gevelgebonden groene gevelsystemen zal eerst achterhaald moeten worden hoe het brandgedrag getoetst en geclassificeerd wordt. Daarna zullen de materialen van een aantal groene gevelsystemen onderzocht worden om een beeld te vormen over de bijdrage die ze leveren tijdens een brand. De volledige analyse is te vinden in deel 2 van bijlage 5.

Brandklasse bepalen

Het brandgedrag van een materiaal kan bepaald worden aan de hand van een SBI-test (Single Burning Item test), dit is een kleinschalige test waarbij een materiaal 20 minuten wordt blootgesteld aan een hoekbrander met een vermogen van 30,7kW (zie figuur 8). Boven de testopstelling van de SBI is een afzuiging geplaatst, waar alle rookgassen in afgezogen worden. Daarnaast bevat de afzuiging ook meetapparatuur die bepaalde waarden (zoals vlamverspreiding, rookproductie en warmteafgifte) kan meten. Deze waarden worden gebruikt om de test te beoordelen waarna de classificatie volgt. In tabel 3 zijn de brandklassen te zien die een materiaal kan krijgen na een test: deze lopen van A1 (onbrandbaar) tot F (zeer brandbaar). De brandklasse wordt bepaald aan de hand van de vlamverspreiding en warmteafgifte; wanneer deze aan bepaalde eisen voldoet kan de brandklasse bepaald worden. Vanuit de gemeten rookproductie kan de rookklasse toegekend worden: dit gebeurt aan de hand van de s-klasse (smoke). Als laatste zal het materiaal een druppelklasse (d-klasse) waardering krijgen. Tijdens de test wordt er gekeken of er druppels ontstaan en of deze branden. De brand-, rook- en druppelklasse zullen in een certificaat samengevoegd worden, hierdoor kan er de volgende klasse ontstaan: B-s2,d0. (DGMR Bouw B.V., 2021) (Efectis, 2020) (Smith, 2018) (Dijk, 2021)



Figuur 8 SBI-testopstelling (Smith, 2018)

Tabel 3 Brandklasse, rookklasse en druppelklasse

Overzicht brand-, rook- en druppelklasse					
Brandklasse		Rookklasse		Druppelklasse	
A1/ A2	Onbrandbaar	s1	(Bijna) geen rook	d0	Geen druppelvorming
B	Moeilijk brandbaar	s2	Weinig rook	d1	Brand <10 seconden
C	Draagt bij aan de brand	s3	Veel rook	d2	Brand >10 seconden
D	Brand zelfstandig				
E	Zeer brandbaar				
F	Uiterst brandgevaarlijk				

Brandgedrag groene gevelsystemen

De vele verschillende materialen die toegepast worden in de bouw kennen allemaal hun eigen brandgedrag en specificaties. Om in te zien hoe een groene gevel zich gedraagt bij brand, is er onderzoek gedaan naar het brandgedrag van de materialen die samen de groene gevel vormen. Vijf groene gevelsystemen zijn onderzocht (zie tabel 4), waarvan drie bakjessystemen en twee isolatiemateriaal systemen (zie paragraaf 3.2 voor verdere uitleg van de systeemsoorten). Hierbij is er voornamelijk gekeken naar het montagesysteem, het substraat, de substraathouder en de beplanting. In bijlagen 5 is het volledige rapport van het onderzoek naar het brandgedrag van groene gevelsysteem materialen te vinden.

Tabel 4 Materialisering van de onderzochte groene gevel systemen.

Systeemtype	Brandklasse	Montage	Substraat	Substraathouder
Wallflore	B-s1,d0	Magnelis staal (A1)	Steenwol (A1)	Gegalvaniseerd staaldraad (A1)
Sempergreen wall	B/A2-s2,d0	Aluminium (A1)	Minerale wol (A1)	TPO folie (onbekend of dit met brandvertrager is)
Modulogreen	-	Aluminium (A1)	Lava, klei, bims en humus	Polypropyleen versterkte met glasvezel.
Mobipanel	B-s2,d0	Magnelis staal (A1)	Potgrond	(Geëxpandeerd) polypropyleen met brandvertrager
Virtoria	-	Metalen U en L-profielen	Hangt af van de planten	ASA-kunststof met brandvertrager

(Wallflore, 2019) (Sempergreenwall, 2014) (Mobilane, 2019) (Virtoria gevelgroen technische details, 2019) (Marle & Agricola, 2021)

Montagesysteem

De montagesystemen van de vijf onderzochte groene gevelsystemen worden gemaakt van aluminium of Magnelis staal profielen. Magnelis is een coating om de corrosie weerstand van een materiaal te verbeteren en bestaat uit zink (93,5%), aluminium (3,5%) en magnesium (3%). Wanneer een metaalsoort met Magnelis gecoat is en deze in de lijst met materialen van Magnelis staat zal deze automatisch een brandklasse A1 ontvangen zonder een brandklasse test uit te hoeven voeren. Aluminium heeft een lagere smelttemperatuur dan staal, maar voldoet ondanks dat aan dezelfde brandklasse. Hierdoor zal aluminium bij een grote brand smelten terwijl staal meer weerstand biedt voordat deze bezwijkt.

(Richard & Arora, 2016) (Wallflore, 2019) (Sempergreenwall, 2014) (Mobilane, 2019) (Virtoria gevelgroen technische details, 2019) (Marle & Agricola, 2021)

Substraat

De organische substraten kunnen gemaakt worden van veengrond met additieven zoals kalk om de samenstelling te verbeteren voor de beplanting, dit wordt bij de Mobipanel met FR en het Virtoria systeem gedaan. Het Modulogreen systeem heeft een substraat dat samengesteld is uit lava, klei, bims en humus. Hiervan zijn een aantal grondstoffen zoals lava en klei redelijk onbrandbaar, terwijl bims en humus gemaakt worden van plantenresten die wel brandbaar kunnen zijn. De samenstelling van de organische voedingsbodem kan zo verschillen, dat het brandgedrag hiervan lastig te bepalen is. Tevens heeft het vochtgehalte effect op de brandbaarheid van de plantenresten: in vochtige omstandigheden zal dit een kleinere bijdrage leveren dan in een droge conditie.

Minerale wol wordt bij de isolatiemateriaal systemen toegepast als groeimedium voor de beplanting. Doordat steenwol en glaswol onbrandbare producten zijn en daardoor geclassificeerd zijn met een brandklasse A1, is dit een zeer veilige keuze om toe te passen in de gevel.

(Metadecor, 2012) (Wallflore, 2019) (Sempergreenwall, 2014) (Mobilane, 2019) (Virtoria gevelgroen technische details, 2019) (Marle & Agricola, 2021)



Substraathouder

De substraathouders van de bakjessystemen zijn bijna allemaal gemaakt van kunststof. Bij alle drie de onderzochte systemen is benoemd dat hier brandvertrager aan is toegevoegd om dit aardolieproduct minder brandbaar en daardoor veiliger te maken. Kunststof smelt bij relatief lage temperatuur. Door de toevoeging van brandvertrager zou het langer kunnen duren voordat het gaat smelten en/of mee branden. Door de samenstellingen van verschillende soorten kunststof en de onbekende effectieve werking van de diverse brandvertragers, is het lastig om de bijdrage aan branduitbreiding inzichtelijk te maken.

Bij de afwerklaag van een isolatiemateriaal systeem is ook kunststof toegepast waarbij niet expliciet is benoemd dat er brandvertrager is toegevoegd. Doordat het systeem een brandklasse B behaald heeft, is de kans groot dat er wel brandvertrager toegevoegd is. Om de beplanting en de minerale wol op zijn plaats te houden is er bij het Wallflore systeem een korf van gegalvaniseerd staal toegevoegd die tevens een brandklasse van A1 heeft.

(Metadecor, 2012) (Certilas, 2020) (Wallflore, 2019) (Sempergreenwall, 2014) (Mobilane, 2019) (Virtoria gevelgroen technische details, 2019) (Marle & Agricola, 2021)

Het irrigatiesysteem

Het irrigatiesysteem en de materiaalsamenstelling van de leidingen is bij heel veel systemen niet benoemd. De opvanggoot, die onderaan diverse systemen wordt geplaatst om het overtollige water bij regen op te vangen, is vaak van aluminium gemaakt die een brandklasse A1 heeft.

(Metadecor, 2012) (EBL, 2020) (Wallflore, 2019) (Sempergreenwall, 2014) (Mobilane, 2019) (Virtoria gevelgroen technische details, 2019) (Marle & Agricola, 2021)

Brandgedrag systemen.

Met de onderzochte materialen van de diverse systemen kan niet bepaald worden wat het brandgedrag is per systeem. Hier zullen testen voor uitgevoerd moeten worden, wat in sommige gevallen (zoals bij Mobipanel, Sempergreen wall en Wallflore) al gedaan is. De materialen hebben invloed op de brandbaarheid van het systeem, maar de vorm en afmetingen hebben ook een effect hierop. Doordat de brandklasse van de organische substraten en de diverse kunststoffen (met of zonder brandvertrager) geen specifieke brandklasse hebben, kan het brandgedrag niet bepaald worden. Tevens komen er risico's bij kijken wanneer brandklassen bij elkaar opgeteld worden. Brandklasse B + brandklasse B hoeft namelijk geen B klasse te zijn maar kan ook een C klasse zijn. (Wallflore, 2019) (Sempergreenwall, 2014) (Mobilane, 2019) (Virtoria gevelgroen technische details, 2019) (Marle & Agricola, 2021)

Aandachtspunten vanuit de classificatie

Nadat er naar de afzonderlijke materialen is gekeken, zijn de brandklasse certificaten van de systemen vergeleken om te achterhalen wat het totale brandgedrag is. Hierbij is ook gekeken naar de specificaties de testomstandigheden en de conditionering van de test. In geen van de rapporten wordt er benoemd dat er geconditioneerd is bij aanvang van de test, terwijl dit bij een niet levende gevel wel van toepassing is. Wat opvallend is, is dat er twee systemen zijn waarbij de beplanting niet benoemd wordt in het rapport. Bij één van deze systemen is er zonder beplanting getest, bij het andere systeem is het officiële rapport niet openbaar waardoor het niet duidelijk is of er wel of geen planten getoetst zijn. De beplanting zou effect kunnen hebben op het brandgedrag van de gevel, hoeveel effect de beplanting heeft is niet op te maken uit de geteste systemen.

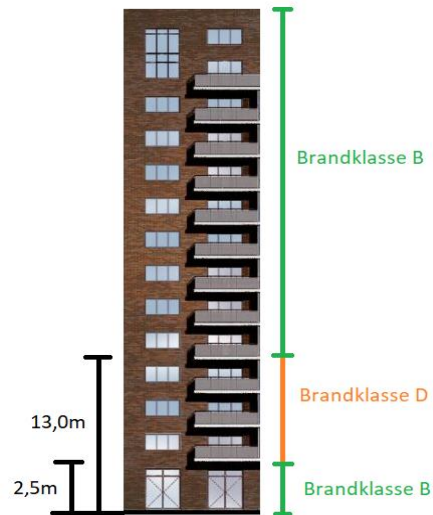


3.4 De brandveiligheid van gevels

Om te weten hoe het risico op branduitbreiding via de gevel kan worden verminderd zal eerst bekend moeten zijn hoe er nu wordt omgegaan met de kans op branduitbreiding via gevels. Om dit goed te beschouwen zal gekeken worden naar de twee hoofdstromen: de theoretische omgang met branduitbreiding via gevels en de manier waarop men in de praktijk hiermee omgaat. Het volledige onderzoek is te vinden in bijlage 6.

Theorie

In de Nederlandse wetgeving wordt er geen onderscheid gemaakt tussen levende en niet-levende gevels. Dit betekent dat er alleen de standaard brandeisen voor gevels van toepassing zijn. Dit houdt in dat een gevel moet voldoen aan brandklasse D, tenzij er een vloer boven de 5 meter ligt dan is de onderste 2,5 meter brandklasse B en alle geveldelen boven de 13 meter moeten ook voldoen aan brandklasse B (figuur 9). Dit heeft te maken met de kans op brandstichting bij de eerste 2,5 meter waarbij dit deel van de gevel een verhoogde ontstekingskans heeft. Door een hogere brandklasse eis aan te houden is de kans op ontsteking van de gevel vele malen kleiner. De reden dat de geveldelen boven de 13 meter ook moeten voldoen aan brandklasse B heeft niks te maken met de kans op ontsteking. Deze eis is opgesteld om de kans op brand(uitbreiding) naar de hoger gelegen verdiepingen te beperken omdat de gebouwgebruikers op deze verdiepingen een veel langere vluchtweg hebben en daardoor meer tijd nodig hebben om het gebouw veilig te kunnen verlaten. Op deze regeling zijn enkele uitzonderingssituaties van toepassing welke worden toegelicht in bijlage 6, uit de praktijk blijkt dat voor een gevel met daglichtopeningen al gauw een brandklasse B eis geldt.



Figuur 9 Schematische weergave brandklasse verdeling in de gevel (Diks, Brandklasse verdeling in de gevel, 2022)

In het buitenland worden er naast de brandklasse ook vaak eisen gesteld aan de vorming van vallende brandende deeltjes (de d-klasse). Deze vallende druppels hoeven niet per se te branden om een gevaar te vormen. Wanneer de temperatuur van deze (al dan niet brandende) vallende druppels hoog genoeg is kunnen deze in staat zijn om elders een brand te starten wanneer deze een nieuwe brandbare ondergrond hebben gevonden.

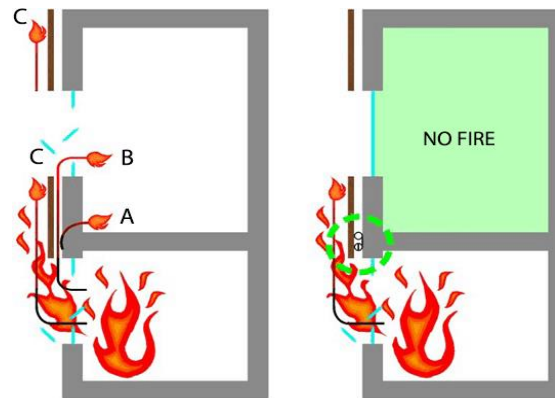
(Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninklijke relaties, 2022) (Rossum, 2021) (DGMR Bouw B.V., 2021) (Normcommissie 353084, 2019) (Normcommissie 351007, 2020) (DGMR Bouw B.V., 2021) (Rockwool)



Praktijk

In de praktijk blijkt vaak dat slechts het minimale wordt gedaan om de geëiste brandklasse te behalen, in sommige gevallen lijkt het zelfs alsof er gezocht wordt naar mazen in de wet. Het gebrek aan een realistische bepalingmethode (zie [paragraaf 3.6](#)) zorgt ervoor dat men van de meest gunstige situatie uit kan gaan tijdens het testen, waardoor er een hogere brandklasse verkregen kan worden. Doordat er geen duidelijke wettelijke kaders zijn die het geldigheidsgebied voor de brandtesten aan tonen, kan in de praktijk de geteste gevelbekleding anders toegepast worden, bijvoorbeeld met andere afmetingen. Dit is vooral bij levende gevels een probleem door de vele variabelen die groen met zich meebrengt.

In het buitenland wordt er niet alleen naar de brandklasse gekeken van de gevel, maar wordt er ook gekeken naar eventuele oplossingen om de verspreiding van brand via de gevel verder te beperken. Deze oplossingen kunnen bedoeld zijn om te voorkomen dat de gevel überhaupt wordt aangestoken (denk hierbij aan raamsprinkler installaties die de kans op een uitslaande vlam verminderen). Een andere methode is om fysieke barrières op te werpen zodat de vlammen belemmerd worden in de uitbreiding via de gevelafwerking (overstekken in de gevel) of via de spouw (cavity barriers en firestops, zie figuur 10 voor de werking van deze maatregelen).



Figuur 10 Schematische weergave werking firestop / cavity barrier (Advantages of the FB Cavity Barrier "Open State Fire Rated Resistant", 2022)

(Efectis, 2020) (Leverancier 2, 2022) (Team McCoy Mart, 2022) (Broeke, Sprinkler als alternatief voor brandwerend glas, 2016) (DGMR Bouw B.V., 2021) (WFM Media, 2022) (Fire Risk Assessment Network, sd) (NHBC, 2022) (Herpen, Voortgangsbespreking 5, 2022)

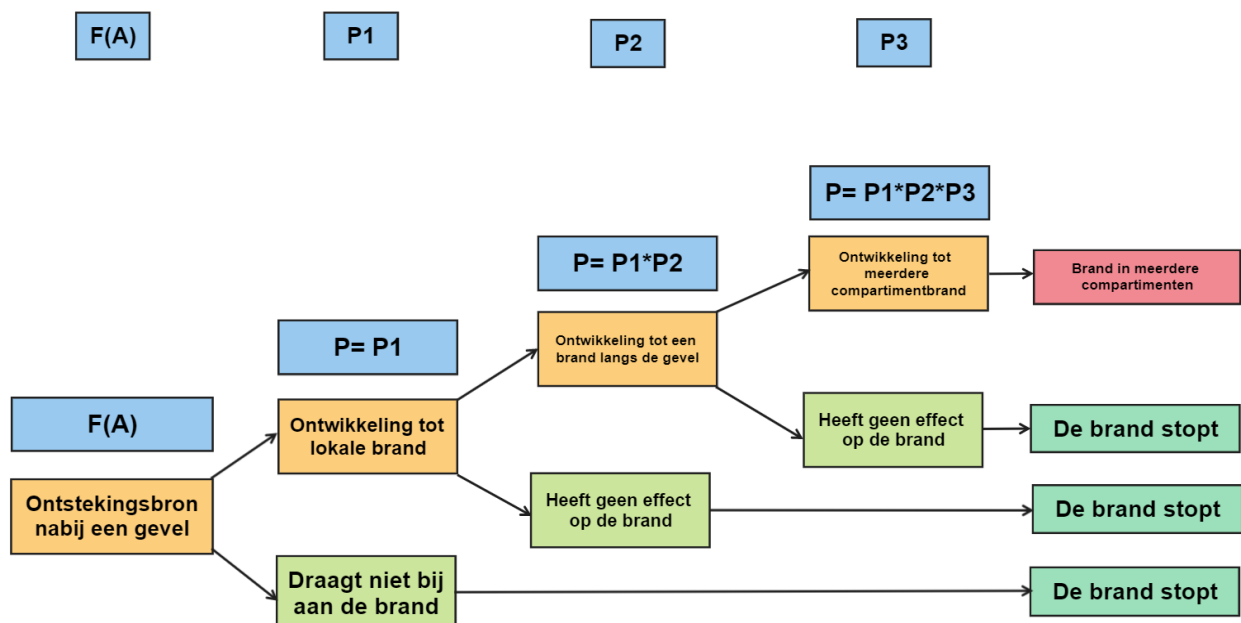
3.5 Het brand uitbreidingsrisico bepalen

Om het risico op branduitbreiding via de gevel te verminderen moet men niet alleen weten wat de huidige risico's zijn maar is het ook van belang om te weten hoe een risico bepaling voor de branduitbreiding tot stand komt. De bepalingsmethode die hiervoor in aanmerking komt, is de risicoanalyse methode. Hierbij wordt het risico opgedeeld in de kans dat een (ongunstige) situatie voor komt en het effect die de situatie met zich meebrengt. Het volledige rapport is te vinden in bijlage 7.

Het bepalen van de kans op het ontstaan van een brand nabij de gevel en de mate van ontwikkeling van de brand kan worden bepaald aan de hand van een cascademodel. In figuur 11 ziet men het cascademodel behorende bij een brand langs de gevel (extern). Indien de brand zich van buiten het gebouw naar binnen weet te dringen, zal men een ander cascademodel moeten hanteren passende bij een interne compartimentbrand. De onderstaande bepalingsmethode werkt met 4 fasen:

- F(A) De ontstekingsfrequentie van de brand deze bevindt zich nabij de gevel en kan zowel een interne als een externe brand betreffen. In figuur 11 wordt er uitgegaan van een externe brand.
- P₁) De directe omgeving rondom een ontstekingsbron, wanneer deze een hoge vuurlast heeft is de kans groot dat de ontstekingsbron zich ontwikkelt tot een lokale brand, is de vuurlast laag dan kan het zijn dat het slechts bij een ontsteking blijft en de brand zichzelf dooft.
- P₂) De kans dat een lokale brand zich ontwikkelt tot een grote gevel brand, dit is afhankelijk van de brandklasse en het brandgedrag van de gevel(elementen).
- P₃) De kans op het falen van de brandcompartiment scheidingen die moeten zorgen dat slechts één brandcompartiment wordt bedreigd door de brand in plaats van het gehele gebouw. Hieronder valt ook de gevel met daarin de eventuele toepassing van firestops en cavity barriers.

De waarden die bij al deze fasen horen zijn project afhankelijk, om aan deze waarden te komen zal er een project specifieke bepaling gedaan worden of er kan gebruik gemaakt worden van diverse verstekwaarden. (Normencommissie 351007 | Brandveiligheid van Bouwwerken, 2016) (Herpen, Risicogebaseerde brandveiligheid van draagconstructies, 2014) (Herpen ; Fellow Fire engineering (TU/e), 2022) (Normcommissie 351007, 2020)



Figuur 11 Cascademodel van de stappen die plaats vinden tijdens het ontwikkelen van een brand nabij de gevel (Diks, Cascademodel brandontwikkeling ontstekingsbron nabij de gevel, 2022).



Wanneer alle kansen met elkaar vermenigvuldigd worden, kan de uiteindelijke faalkans getoetst worden aan de norm (N.B. bij nieuwbouw gebouwen met een woonfunctie ligt de maximale toelaatbare faalkans voor brandscheidingen vaak rond de 0,3 en de 0,4). Wanneer de uiteindelijke faalkans (P) onder de maximale toelaatbare faalkans ($P_{norm}(A)$) blijft, zal deze voldoen aan de eis. Als de uiteindelijke faalkans vermenigvuldigd wordt met de frequentie $F(A)$, krijgt men de overschrijdingsfrequentie. Blijft deze overschrijdingsfrequentie onder de maximale toelaatbare overschrijdingsfrequentie ($F_{norm}(A)$) dan voldoet deze ook aan de gestelde eis. De eisen vanuit de norm, vooral de eis voor ($F_{norm}(A)$), zijn sterk afhankelijk van het oppervlak van het te toetsen brandcompartiment.

Om het maatgevende effect (in dit geval de branduitbreiding naar andere brandcompartimenten via de gevel) te bepalen, wordt er vooral gekeken naar de kans dat dit gebeurt. Hierbij geldt de eis dat de kans op branduitbreiding via de gevel naar een ander brandcompartiment niet groter mag zijn dan de kans dat de brand zich via een interne brandscheiding naar een ander brandcompartiment uitbreidt.

Indien men uitgaat van de situatie waarin de ontstekingsbron zich buiten en nabij de gevel bevindt, zijn er veel gegevens nodig over hoe de gevel is samengesteld en uit welke materialen deze is opgebouwd (denk aan de brandklasse, het brandgedrag en eventuele firestops). Groene gevel systemen bevatten veel onderdelen en doordat de systemen redelijk nieuw zijn, is er een aantal benodigde gegevens nog niet bekend. Dit heeft vooral betrekking op het brandgedrag van groene gevelsystemen en in hoeverre het substraat en de beplanting hier effect op hebben. Doordat er nog veel informatie over groene gevelsystemen ontbreekt en de gegevens per gevelsysteem anders zijn, is het lastig om verstekwaardes op te stellen voor groene gevels. Hiervoor zijn dan ook meer praktijkonderzoeken naar het brand uitbreidingsrisico van groene gevels nodig zodat hier verstekwaarden voor opgesteld te kunnen worden. Tot die tijd zal de risicobepaling met project specifieke waardes uitgevoerd moeten worden.

(Herpen, Fire resilience van woningbouw in CLT, 2021, p. 7) (Rossum, 2021) (Herpen, Voortgangsbespreking 6, 2022) (Herpen ; Fellow Fire engineering (TU/e), 2022) (Normencommissie 351007 | Brandveiligheid van Bouwwerken, 2016) (Normcommissie 400179, 2019) (Herpen, Fire Safety Engineering, 2022) (Herpen, Risicogebaseerde brandveiligheid van draagconstructies, 2014)

3.6 Restriscio's van de voorschriften en testmethoden

Om op den duur verstekwaarden op te kunnen stellen zal men meer praktijkonderzoeken naar het brandgedrag van groene gevels moeten doen. Door heel Europa worden er verschillende testmethodes en -opstellingen gebruikt om het brandgedrag van gevels te onderzoeken. Iedere testmethode kent haar eigen test- en beoordelingscriteria, welke diverse voor- en nadelen met zich meebrengen. Er zijn negen verschillende testmethodes onderzocht, in tabel 5 zijn de normen en criteria hiervan te vinden, het volledige onderzoek is terug te vinden in bijlage 8.

Tabel 5 Overzicht onderzochte testmethodes. (Mierlo, 2022)

Testmethode gevels	Criteria testresultaten	Land
NEN-EN 13823: 2020 (SBI-test)	NEN-EN 13501-1:2019	EU
BS 8414-1:2020 en -2:2020	BR 135:2013	UK
DIN4102-20:2017	DIN 4102-20:2010*/ DIBT-Zulassungen	DE
LEPIR 2 + Arrêté 25/05/2010 - IT 249 + Protocol LEPIR-2	LEPIR 2 + Arrêté 25/05/2010 - IT 249 + Protocol LEPIR-2	FR
ISO 13785-1:2002	- geen -	EU
ISO 13785-2:2002	- geen -	EU
SP Fire 105:1994	SP AR 1992:64	SE
ÖNORM B 3800-5:2013	OIB Richtlijn 2:2011	AU
Nieuwe Europese grootschalige test	(In de ontwikkelingsfase)	EU

Restriscio's van de testmethoden en voorschriften

De testmethoden zouden een zo realistisch en ongunstig mogelijk situatie moeten nabootsen van branduitbreiding via de gevel. Wanneer de norm geen duidelijke specificaties bevat, geen realistische afmetingen en brandvermogen heeft of de beoordelingscriteria niet volledig zijn, zal de uitkomst van een test geen goed beeld geven van een werkelijke branduitbreiding. Hierdoor zal een gevelafwerking of een hele gevelopbouw een brandklasse kunnen krijgen die niet overeenkomt met het werkelijke brandgedrag. Wanneer een product wordt toegepast met een foutieve brandklasse en er een brand ontstaat waarbij deze zich uitbreidt via de gevel, zal dit nare gevolgen kunnen hebben. Om dit te voorkomen zijn er een aantal specificaties en criteria opgesteld, die de betrouwbaarheid, herhaalbaarheid en de overeenkomst met de werkelijkheid kunnen beïnvloeden. Hierdoor zullen de testmethoden meer risico's opvangen en blijven er minder restriscio's over.

De risico's die de testmethodes met zich meebrengen zijn ontstaan vanuit de voorbereiding van de test, de testopstelling zelf en de beoordeling van de testresultaten. Om duidelijk te maken wat de oorzaken zijn en welke gevolgen deze met zich meebrengen zullen deze hieronder worden benoemd en uitgelegd.

Voordat er een test plaatsvindt zal deze voorbereid moeten worden. Het proefstuk kan geconditioneerd worden zodat dit haar evenwichtsvochtgehalte bereikt, hierdoor zal elk materiaal onder dezelfde omstandigheden getest worden. Wanneer dit niet gebeurt kan een materiaal bijvoorbeeld extra vochtig gemaakt worden waardoor het langer duurt voordat een materiaal gaat branden. Er zijn geen expliciete eisen opgenomen voor het conditioneren van groene gevelsystemen, waardoor deze onder de ideale gezonde omstandigheden getest kunnen worden. Hierdoor wordt niet de meest ongunstige situatie getest en zal deze eerder voldoen aan de eisen.

Diverse geveltesten mogen vanuit de norm buiten uitgevoerd worden, sommige methodes specificeren de luchtsnelheid, temperatuur, luchtvochtigheid en neerslag niet of minimaal, waardoor de test niet weersafhankelijk wordt uitgevoerd. Deze omstandigheden hebben effect op de ontwikkeling van de brand waardoor de temperatuur niet hoog genoeg kan worden om een materiaal te laten branden, terwijl dit mogelijk wel het geval zou zijn wanneer er weersafhankelijk getest zou worden.

De testopstelling zou bepaalde (fysieke) specificaties moeten hebben, waardoor het proefstuk aan een realistische brand blootgesteld zal worden tijdens een test. Wanneer de brander een te laag brandvermogen heeft, de testopstelling te kleine afmetingen heeft en niet L-vormig is, zal het brandgedrag tijdens een werkelijke brand anders kunnen zijn dan de geteste situatie. Deze specificaties vormen samen de meest ongunstige situatie waarin het schoorsteeneffect zou moeten optreden, het materiaal hoge temperaturen zou moeten doorstaan en de branduitbreiding naar een bovenliggend brandcompartiment meetbaar zou moeten zijn. Dit zijn allemaal situaties die in de werkelijkheid kunnen plaatsvinden en die risico's vormen voor de brandveiligheid van gebouwen.

Tijdens een test kunnen er, met behulp van diverse apparatuur, metingen uitgevoerd worden. Aan deze metingen kunnen criteria verbonden worden om de resultaten te beoordelen en het product te classificeren. Sommige testmethodes hebben weinig tot geen meetapparatuur, waardoor de resultaten beoordeeld worden op basis van waarnemingen. Wanneer er geen richtlijnen zijn opgesteld voor het beoordelen kunnen de bevindingen naar eigen mening opgevat worden, waardoor de testresultaten niet onafhankelijk zijn. Het geldigheidsgebied geeft aan in welke maten en toepassingen het geteste materiaal aan de vergeven brandklasse voldoet. Als hier geen specifieke eisen voor zijn opgesteld, kan er beweerd worden dat een materiaal wordt toegepast op een onveilige manier.

De onderzochte testmethoden bevatten onvolledigheden en beschouwen vanuit de norm niet alle risico's. Door zoveel mogelijke risico's inzichtelijk te maken tijdens een test, kan voorkomen worden dat het materiaal zich anders zal gedragen in de werkelijkheid. Het is onmogelijk om alle risico's te testen, waardoor er in alle situaties restrisico's overblijven. Door de voorschriften omtrent testmethodes te actualiseren/ normaliseren zouden de restrisico's verminderd kunnen worden waardoor er veiligere gevels ontwikkeld kunnen worden. Daarnaast zal een grootschalige testmethoden noodzakelijk zijn, zodat de branduitbreiding naar een ander brandcompartiment getest, beoordeeld en voorkomen kan worden.

(Mierlo, 2022) (Efectis, 2020) (DGMR Bouw B.V., 2021) (Efectis, 2020) (Smith, 2018) (Anderson J. , 2020) (Anderson, et al., 2022) (Brandveilig.com, 2018)



4 Praktijkonderzoek

Naast de theoretische onderzoeken zijn er ook twee praktijkproeven uitgevoerd, om de theorie in de praktijk te testen. Het eerste onderzoek is een kleinschalige test om het effect van verschillende plantensoorten en het vochtgehalte te kunnen bepalen. Dit is gedaan ter voorbereiding op het tweede praktijkonderzoek, de SBI-test ter bepaling van de brandklasse, om zo een goed onderbouwde hypothese te kunnen op stellen. De rapportage van deze onderzoeken zijn te vinden in bijlage 9 en 10.

4.1 Praktijkonderzoek op de HAN

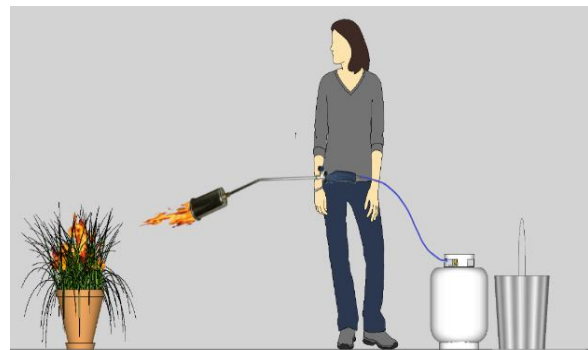
Om het effect van de verschillende plantensoorten en vochtgehaltes op het brandgedrag van groene gevels te kunnen bepalen, is er een kleinschalig praktijkonderzoek uitgevoerd (zie figuur 12). In dit onderzoek zijn er drie verschillende plantensoorten getest waarbij er twee situaties zijn nagebootst. De eerste situatie is de gezonde staat van de planten waarbij ze goed gehydrateerd zijn. In de tweede situatie zijn de planten uitgedroogd en dood waardoor er veel minder vocht in de plant zit. De plantensoorten die getest zijn inclusief beredenering waarom hiervoor gekozen is, zijn:

Zilverblad (relatief droge plant), Kalanchoë (vochtvasthoudende plant) en Herfstaster (gemiddelde vochtvasthoudende plant). Het uitgebreide plan van aanpak en de resultaten uit dit experiment zijn te vinden in bijlage 9.

Na dit onderzoek zal antwoord gegeven worden op de volgende onderzoeksvraag: “Wat is het effect van het vochtgehalte in combinatie met de plantensoort op het brandgedrag van de planten?”

Het antwoord wat hier op gegeven kan worden is dat gedroogde planten sneller en meer branden dan gehydrateerde planten. Na de analyse van het brandgedrag van de drie verschillende gedroogde plantensoorten, moet geconcludeerd worden dat er tussen de plantensoorten geen grote verschillen in het brandgedrag zichtbaar waren. Het enige noemenswaardige verschil was de brandduur van de planten wat te verklaren was door de diverse afmetingen van de plantensoorten. Hoe groter de plant, hoe langer de brandduur.

Bij de gezonde en goed gehydrateerde planten bleek, dat de planten geen van allen echt gingen branden en als ze wel zelfstandig konden branden was het vuur binnen enkele seconden gedoofd. Hieruit is op te maken dat hoe hoger het vochtpercentage is, hoe minder goed een plant brandt. Ook bleek dat planten met dikke en vochtige bladeren, in dit onderzoek de Kalanchoë, eerst het vocht uit de bladeren moest verdampen/ zweten voordat de plant ook maar een beetje kon verbranden, laat staan vlam kon vatten (figuur 13). Dit zou inhouden dat planten die veel vocht vasthouden (zoals vetplanten) een goede keuze zouden kunnen zijn voor een groene gevel. Een deel van het brandvermogen is immers benodigd om het vocht te kunnen verdampen, nader onderzoek zou uitkunnen wijzen of extreem vochtvasthoudende planten de brand mogelijk zelfs kunnen vertragen.



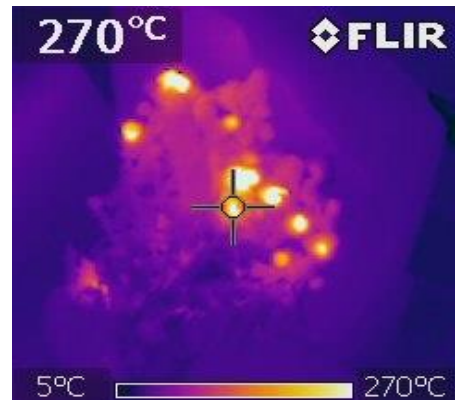
Figuur 12 Testopstelling (Verbrugge, Testopstelling HAN experiment, 2022)



Figuur 13 Kalanchoë is na de blootstelling aan de brander gaan zweten (Verbrugge, Foto's HAN experiment, 2022).



Uit het experiment met de Herfstaster viel op dat met name de uitgebloeide bloemen van de plant bleven nagloeien en langer warm bleven dan de overige delen van de plant (zie figuur 14). Dit zou kunnen betekenen dat niet zozeer de bladeren van de planten een risico vormen voor de brandveiligheid van een gevel, maar eerder de uitgebloeide bloemen. Om hier zeker van te zijn zal er meer onderzoek gedaan moeten worden naar het brandgedrag van verschillende plantensoorten¹ waarin ook het onderscheid tussen bloeiende bloemen en uitgebloeide bloemen wordt meegenomen.



Figuur 14 Warmtebeeld van de Herfstaster (Verbrugge, Foto's HAN experiment, 2022).

Hypothese SBI-testen

De resultaten van het hierboven genoemde onderzoek dienen als voorbereiding op de SBI-testen. Op basis van de gevonden testresultaten is er een hypothese opgesteld voor de volgende onderzoeksvraag: *“Wat is het effect van (gedroogde) beplanting en het substraat op het brandgedrag van groene gevels?”*

De verwachting is dat de beplanting en het substraat een positief effect zullen hebben op het brandgedrag van de te testen prototype groene gevelsystemen. De reden hiervoor is dat het levende groen en substraat vocht bevat wat energie onttrekt tijdens een brand. De verwachting is ook dat de gedroogde beplanting zal bijdragen in de eerste brandontwikkeling, maar al snel zal doven door gebrek aan brandstof. Het gevelsysteem met gezonde beplanting zal minder ver verbranden en zal brandvertragend werken ten opzichte van het gevelsysteem met gedroogde beplanting. Uit het vooronderzoek (bijlage 9) is gebleken dat het kunststof systeem (prototype) smelt en brandbaar is bij hoge temperaturen, hierdoor zal de beplanting uit de modules vallen. Bij de laatste test, waarbij enkel de lege modules getest zullen worden, zullen de modules zelfstandig branden waarbij het mogelijk zou kunnen zijn dat de test eerder afgebroken en geblust moet worden uit veiligheidsoverwegingen.

¹ Momenteel wordt er een uitgebreid onderzoek gedaan naar het brandgedrag van verschillende plantensoorten. Dit onderzoek wordt onder andere uitgevoerd door de Duitse instelling Fire-Safe Green en zal in de nabije toekomst worden gepubliceerd.



4.2 Onderzoekresultaten SBI-testen bij Peutz

Het tweede praktijkonderzoek betrof de 3 SBI-testen die in het Laboratorium voor Brandveiligheid bij Peutz zijn uitgevoerd. Tijdens deze testen is op een grotere schaal onderzoek gedaan naar het effect van de beplanting, het substraat en het vochtpercentage op de brandveiligheid van een groene gevelsysteem. Hierbij is getest met 9 modules van een prototype groen gevelsysteem die van de kunststoffen: EPP (geëxpandeerd polypropyleen) en PP (polypropyleen) gemaakt is zonder brandvertrager, waardoor deze zal bijdragen aan de brandbaarheid van de gevel. Bij het beoordelen van de resultaten zal hier rekening mee gehouden moeten worden. De voorbereiding van de test en de uiteindelijke testresultaten zijn in bijlage 10 te vinden. De gemeten waarden uit de SBI-testen zijn te vinden in tabel 6 op de volgende pagina.

De eerste testopstelling bestond uit modules gevuld met vochtig substraat en goed gehydrateerde beplanting (figuur 15). Gedurende de SBI-test verspreidden de vlammen zich snel naar boven, maar vond er nauwelijks een horizontale branduitbreiding plaats. Het brandvermogen tijdens de test lag hoog genoeg om de modules van het gevelsysteem aan te steken waarna deze bijdroegen aan de brand- en rookontwikkeling. Het gevelsysteem is niet alleen gaan branden maar ook gaan smelten, de vervorming was zo hevig dat het systeem uiteindelijk is losgekomen van de montagebeugels. Nadat meer dan 50% van de brander was bedekt door gevallen onderdelen was het noodzakelijk om de SBI-test voortijdig af te breken.²



Figuur 15 SBI-test met beplanten modules (Diks, Foto's SBI, 2022).

De 2^e SBI-test is uitgevoerd met substraat en plantenresten gevulde modules. Tijdens de test was er een duidelijk verschil te zien met de vorige test. Zo ontstond er minder rook maar lag het brandvermogen veel hoger, waardoor er veel meer modules zijn bezweken door het vuur en loskwamen van de montagebeugels. Naast deze verschillen was er een duidelijk schoorsteeneffect zichtbaar in de hoekaansluiting tussen de modules. Dit schoorsteeneffect was bij de eerste testopstelling minder zichtbaar doordat de beplanting dit effect deels afschermd. De modules die ten gevolge van het hoge brandvermogen naar beneden zijn gevallen, stapelden zich boven op de brander, waardoor ook deze test eerder afgebroken moest worden. De stapel met brandend kunststof bleek lastig te blussen, dit kwam mogelijk doordat de bron van het vuur lastig te bereiken was met het bluswater.

² Na de eerste test is besloten om de tweede SBI-test anders uit te voeren dan gepland, in de modules zijn de bladeren afgeknipt zodat alleen het substraat en de plantenresten overbleven. Hierdoor kon het brandgedrag van het substraat met een hoog vochtgehalte getest worden.



De modules met gedroogde beplanting zijn als laatste getest. Gedurende het drogen was er een gewichtsverlies van gemiddeld 14% wat vooral werd veroorzaakt door de vochtafname. Opvallend was dat er niet alleen een sterke verticale branduitbreiding waarneembaar was maar ook een duidelijke horizontale branduitbreiding (figuur 16). Met behulp van de waarnemingen uit de twee voorgaande testen kan men dan ook vaststellen, dat deze horizontale branduitbreiding vooral veroorzaakt werd door de droge beplanting. De beplanting droeg niet alleen bij aan de branduitbreiding maar ook aan de verdere brandontwikkeling. Zo bleek het brandvermogen bij deze test al snel drie keer zo hoog te zijn dan bij de test met goed gehydrateerde planten. Het vermogen lag op een gegeven moment zo hoog dat de SBI-test eerder gestopt moest worden om de apparatuur te beschermen.³



Figuur 16 SBI-test met gedroogde planten in de modules (Diks, Foto's SBI,

Tabel 6 Resultaten SBI-test⁴

Type	Vlamverspreiding [W/s]	Rookproductie [m ² /s ²]	Druppelklasse
Modules met beplanting	1895 → geen klasse	157 → s2	Brand > 10s → d2
Modules met substraat	2697 → geen klasse	39,6 → s2	Brand > 10s → d2
Modules met droge beplanting	6151 → geen klasse	696 → s3	Brand > 10s → d2

Met behulp van de onderzoeksresultaten van de SBI (tabel 6) kan men concluderen dat beplanting zeker een effect heeft op het brandgedrag van een groene gevel. Dit effect kan zowel positief als negatief zijn. Zo zullen goed gehydrateerde planten de brandontwikkeling belemmeren doordat er veel brandvermogen verloren gaat aan het verdampen van het vocht in de plant. Dit effect was bij de uitgevoerde SBI-testen duidelijk zichtbaar (door het ongewenste brandgedrag van het prototype gevelsysteem), of dit effect nog steeds zo duidelijk is bij een ander groene gevelsysteem is nog de vraag. Wanneer het irrigatiesysteem faalt en de planten uitdrogen zal de droge beplanting juist voor een extra risico zorgen. Droge planten ontbranden eenvoudig en dragen bij aan een snelle ontwikkeling van de brand, dit zorgt ervoor dat de vlammen zich sneller horizontaal over de gevel kunnen verspreiden.

³ De 4^e test, waarbij alleen de lege modules getest zouden worden, is wegens veiligheidsoverwegingen niet uitgevoerd.

⁴ Tabel 6 (de testresultaten van de SBI-test) bevat zeer hoge waarden, dit komt vooral door het prototype gevelsysteem.



5 Conclusie

In dit onderzoek is gezocht naar een antwoord op de volgende vraag: *“Welke aspecten hebben invloed op het brand uitbreidingsrisico van een groene gevel naar een ander brandcompartiment?”*

Vanuit de hypothese wordt de verwachting gesteld dat de gebreken in de regelgeving, en slecht onderhoud van groene gevels een negatief effect zal hebben op het brand uitbreidingsrisico.

Uit het onderzoek naar het brandgedrag van groene gevels is gebleken dat gevelgebonden groene gevels opgebouwd zijn uit veel verschillende onderdelen, die ieder een eigen brandgedrag vertonen. Dit brandgedrag is niet altijd bekend. Deze onwetendheid kan gevaarlijke situaties tot gevolg hebben, omdat de brandklassen van verschillende materialen niet zomaar opgeteld mogen worden. Daarnaast bevatten levende gevels veel variabelen die beïnvloed worden door de seizoenen, de weersomstandigheden en het onderhoud. Om grip te krijgen op deze wisselende aspecten zouden er specifieke eisen moeten zijn voor groene gevels om het risico op branduitbreiding via de gevel in toom te houden. Uit onderzoek naar de regelgeving is echter gebleken dat er te weinig voorschriften zijn die betrekking hebben op groene gevels. Dit wordt mede veroorzaakt door de regelgeving, welke niet up-to-date is met de innovaties in de bouw. Omdat groene gevels verhoudingsgewijs een vrij nieuwe geveltoepassing zijn en duidelijke regels aan de toetsing van het brandgedrag voor levende gevels ontbreken, zijn hier nog te weinig gegevens van bekend. Door het gebrek aan praktijkgegevens is het niet mogelijk om verstekwaarden voor groene gevels op te stellen. Dit heeft tot gevolg dat er geen goede en snelle theoretische bepaling voor het brand uitbreidingsrisico van groene gevels gedaan kan worden.

Om meer gegevens over het brandgedrag van groene gevels te verzamelen is het noodzakelijk om meer praktijkonderzoeken uit te voeren. De testmethodes die toegepast worden om gevels te classificeren op het brandgedrag, bevatten onzuiverheden in de test- en beoordelingscriteria, waardoor een groene gevel onder de ideale omstandigheden kan worden getest. Tijdens een test is het van belang dat de meest ongunstige situatie getoetst wordt, waarbij een gevel blootgesteld wordt aan een brand die overeenkomt met de werkelijkheid. Daarnaast kan met de huidige testmethode, niet getest worden of de brand zich kan uitbreiden naar een ander brandcompartiment.

Om de theorie in de praktijk te toetsen zijn de brandproeven gedaan met gezonde en gedroogde beplanting. Hieruit is gebleken dat wanneer planten met weinig tot geen vocht blootgesteld worden aan een brand, deze de horizontale branduitbreiding versterken. De bladeren steken elkaar gemakkelijk aan waardoor het vuur zich in een korte tijd ver kan verspreiden. Wanneer de beplanting in gezonde staat getest wordt, draagt de beplanting weinig bij aan de brandontwikkeling. Dit komt doordat het hoge vochtpercentage ervoor zorgt dat de planten niet meteen kunnen gaan branden omdat eerst een deel van het vocht verdampt moet worden. Dit verdampingsproces vergt veel vermogen waardoor het brandvermogen verhoudingsgewijs laag blijft.

De gestelde hypothese komt redelijk goed overeen met de bevindingen in het onderzoek. Vanuit de onderzoeksresultaten is te concluderen dat het brand uitbreidingsrisico van groene gevels het meest wordt beïnvloed door: 1) de regelgeving omtrent de testcondities van levende gevels; 2) de schaal en de onvolledigheden van de testmethodes en de voorschriften; 3) het vochtgehalte van de beplanting en het substraat. Door deze aspecten aan te scherpen en te verbeteren zal de kans op branduitbreiding via een groene gevel naar een volgend brandcompartiment verkleind kunnen worden.



6 Discussie

Testrapporten van gevelsystemen met een brandklasse certificaat niet openbaar

In het onderzoek naar het brandgedrag van de diverse groene gevelsystemen (bijlage 5) bleek een deel van de informatie niet openbaar te zijn. Dit heeft tot gevolg gehad dat de onderdelen van de gevelsystemen vergeleken moesten worden met vergelijkbare materialen om zo tot een indicatieve brandklasse te komen. De gevelsystemen die een brandklasse certificaat hebben, hebben dit veelal online staan. Het testrapport waarin de specifieke gegevens omtrent het uitvoeren van de test staan (denk aan de beplanting, het substraat en eventuele conditionering) was echter niet openbaar. Ondanks het benaderen van de leveranciers was het niet mogelijk om de testrapporten in te zien. Dit heeft tot gevolg dat het onderzoek naar het brandgedrag van deze systemen minder gedetailleerd is.

Buitenlandse normen niet vrij toegankelijk

Voor het onderzoek naar de verschillende testmethodes (bijlage 8) is veel onderzoek gedaan naar de bijbehorende regelgevingen. Tijdens dit onderzoek is gebleken dat een deel van de buitenlandse regelgevingen niet vrij toegankelijk is, waardoor de informatie voornamelijk uit 1 document komt. Doordat het niet mogelijk was om alle informatie in te zien, kan het zijn dat een testmethode niet volledig beoordeeld is en daardoor anders uit de analyse komt dan wanneer alle gegevens bekend waren.

Te weinig voorkennis voor een accurate theoretische benadering

Uit het vooronderzoek is gebleken dat er weinig bekend is over het brandgedrag van groene gevels. Het gebrek aan deze kennis zorgde ervoor dat het niet mogelijk was om een realistische brand langs een groene gevel te simuleren, om zo het brandgedrag te kunnen bepalen. In het onderzoek naar het bepalen van het brand uitbreidingsrisico (bijlage 7) bleek ook dat er te weinig harde data zijn om verstekwaarden op te stellen waardoor men niet de uiteindelijke faalkans kan berekenen.

Prototype

Voor het praktijkonderzoek is gebruik gemaakt van slechts één gevelsysteem type. Dit maakt het onderzoek en de resultaten eenzijdig. Daarnaast was dit prototype gevelsysteem nog niet op brandgedrag getest. Uit het praktijkonderzoek bleek dat dit prototype een ongewenst brandgedrag vertoonde⁵. De toepassing van (vochtige) planten in dit gevelsysteem zou het brandgedrag gegarandeerd verbeteren en zo het brand uitbreidingsrisico verminderen. Men kan echter niet met zekerheid zeggen dat de beplanting altijd het risico op branduitbreiding vermindert. Wanneer uitgegaan wordt van een systeem met een goede brandklasse, kan het zo zijn dat de beplanting zorgt voor een verhoogd brand uitbreidingsrisico, met een slechtere brandklasse tot gevolg.

Test mogelijkheden

In verband met de beschikbare tijd in het Laboratorium van Brandveiligheid en het beschermen van de apparatuur was het mogelijk om drie SBI-testen uit te voeren. Deze testen gaven inzicht in het brandgedrag van groene gevels en wat de risico's zijn voor de branduitbreiding naar een ander brandcompartiment. Alle drie de testen zijn slechts één keer uitgevoerd, elk met een andere gevelopbouw, wat betekent dat er geen herhaling is geweest om de resultaten te verifiëren. Dit zorgt ervoor dat de testresultaten vele malen minder betrouwbaar zijn dan wanneer iedere gevelopbouw meerdere keren was getoetst. Met deze testen zijn dan ook onvoldoende data verzameld om een gedegen antwoord te geven op de onderzoeksvragen. Tevens is alleen gebruikt gemaakt van een SBI-test, welke diverse beperkingen met zich meebrengt deze zijn terug te vinden in bijlage 8.

⁵ Na het gesprek met de leverancier over de testresultaten, hebben zij besloten om dit prototype niet op de markt te brengen.



7 Aanbeveling

In het vorige hoofdstuk is benoemd wat de beperkingen zijn geweest voor dit onderzoek en hoe deze de uitkomst van het onderzoek hebben kunnen beïnvloeden. Dit onderzoek kan uitgebreid worden met vervolgstudies. Hierbij zouden de volgende onderzoeksvragen en onderwerpen onderzocht kunnen worden:

1. *Heeft het type groene gevelsysteem invloed op het brandgedrag van de groene gevel?*

In dit onderzoek is er getest met een prototype van een groene gevelsysteem dat uiterst brandbaar bleek te zijn, dit extreme brandgedrag beïnvloedt het brandgedrag van de beplanting. Om een beter beeld te krijgen van het brandgedrag van groene gevels zouden er veel meer verschillende groene gevelsystemen getest moeten worden. Op den duur zouden er dan ook verstekwaarden voor groene gevels gecreëerd kunnen worden waardoor ook groene gevels in een theoretische brandbepaling kunnen worden meegenomen.

2. *Wat is de invloed van het vochtpercentage op het brandgedrag van groene gevels?*

Tijdens dit onderzoek is er rekening gehouden met twee verschillende vochtpercentages, dit waren twee extreme gevallen. Het advies is om hier meer onderzoek naar te doen met veel meer verschillende waarden, zodat er grenswaarden voor het vochtpercentage opgesteld kunnen worden.

3. *Wat is de invloed van de verschillende plantensoorten op het brandgedrag van groene gevels?*

Het effect van de verschillende plantensoorten is in dit onderzoek nauwelijks meegenomen. Uit het eerste praktijkonderzoek (paragraaf 4.1) bleek dat verschillende plantensoorten totaal ander brandgedrag vertonen wanneer deze planten goed gehydrateerd zijn. Aangezien in paragraaf 4.2 duidelijk is geworden dat de beplanting veel effect heeft op het brandgedrag van een groene gevel kan het de moeite waard zijn om een onderzoek te doen naar het brandgedrag van verschillende plantensoorten.

4. *Hoe moeten barrières in de gevel gedetailleerd en uitgevoerd worden om toegepast te kunnen worden in een groene gevel?*

In een gevel kunnen barrières geplaatst worden om zo de branduitbreiding naar een ander brandcompartiment tegen te gaan. Deze barrières kunnen op verschillende manieren worden toegepast. De vraag is of de barrières ook nog werken wanneer men met een groene gevel werkt. Groene gevels vormen immers niet alleen een brandbare schil, maar veranderen met de tijd ook (ze groeien, bewegen in de wind en sterven af). Mogelijk is een groene gevel te variabel om een standaard firestop te laten werken, in dat geval zou er een speciale firestop voor groene gevels ontworpen moeten worden. Men zou ook kunnen onderzoeken of een uitkraging in de gevel voldoende weerstand biedt en hoe groot deze uitkraging dan moet zijn. Om de werking van een brandbarrière in een gevel te kunnen testen zal er voor een andere testmethode dan een SBI-test gekozen moeten worden.

5. *Achterliggende constructie*

In het onderzoek naar het brandgedrag van groene gevelsystemen paragraaf 3.3 werd al aangegeven dat het niet mogelijk is om de brandklasse van verschillende materialen bij elkaar op te tellen. Om toch een goed beeld te krijgen van het brandgedrag van groene gevels en de invloed van de achterliggende constructie hierop, zullen deze beide meegenomen moeten worden in de onderzoeken. Hierbij moet gedacht worden aan diverse brandbare en onbrandbare achterliggende constructies. Om dit in de praktijk te kunnen toetsen zal er voor een andere testmethode dan de SBI-test gekozen moeten worden in verband met de maximale dikte van de testopstelling.

6. *Branduitbraak*

Tijdens dit onderzoek is er voor het maatgevende effect uitgegaan van branduitbreiding naar een ander brandcompartiment en niet van brandoverslag naar buurpercelen (branduitbraak). Dit is gedaan omdat er niet gewerkt is met een casusproject en de spiegelsymmetrie methode, die anders gebruikt hoort te worden, niet relevant leek te zijn. Vanuit de regelgeving wordt echter de branduitbreiding naar omliggende percelen gezien als het maatgevend effect. Hier zou in de toekomst verder onderzoek naar moeten worden gedaan.

7. *Zorgfunctie*

Tijdens dit onderzoek is er uitgegaan van een gebouw met een woonfunctie omdat deze strengere eisen kent dan een kantoorfunctie. Gebouwen met een zorgfunctie daarentegen kennen strengere eisen. Deze gebouwen hebben wel dezelfde eisen voor de brandklasse in de gevel maar hebben strengere eisen op het gebied van brandwerendheid en brandcompartimentering. Om duidelijk te krijgen of groene gevels ook op een verantwoorde manier bij gebouwen met een zorgfunctie toegepast kunnen worden, zal er meer onderzoek naar de brandwerendheid van groene gevels moeten komen.

8. *Hoogbouw*

Hoogbouw is in deze studie uitgesloten omdat deze gebouwen strengere eisen hebben voor de brandveiligheid, zo ook voor de gevels. Omdat het niet vaak voorkomt dat gebouwen die hoger dan 70m zijn een groene gevel krijgen, is dit afgebakend. Gezien de vraag naar hoogbouw, die ontstaat doordat Nederland een klein land is met veel mensen, zou dit een interessant vervolgonderzoek kunnen zijn.

9. *Kosten*

Om het onderzoek zo onafhankelijk mogelijk te maken is tijdens deze studie geen rekening gehouden met het financiële spectrum. Om met realistische oplossingen voor het verminderen van het brand uitbreidingsrisico te komen zal men de kosten wel mee moeten nemen.

10. *Aanpassen testmethode en regelgeving*

Uit dit onderzoek is gebleken dat veel aspecten die (een negatieve) invloed hebben op het brand uitbreidingsrisico van groene gevels veroorzaakt worden door gebreken in de testmethode en/of regelgeving. Dit zou opgelost kunnen worden door een onderzoek te doen naar de wet- en regelgeving omtrent groene gevels en hier nieuwe eisen voor op te stellen. Deze eisen zouden niet alleen geschikt moeten zijn voor groene gevels, maar er zouden ook striktere eisen aan het geldigheidsgebied van de brandklasse moeten komen. Wanneer men deze eisen aanscherpt zou er ook een advies voor een geschiktere testmethode moeten komen.

11. *Brandklasse B is veilig genoeg*

Sinds de brand in de Grenfell Tower in Londen (2017) wordt er in heel Europa gekeken naar de huidige regelgevingen omtrent de brandveiligheid van gebouwen. Veel landen (zo ook Nederland) overwegen het verhogen van de brandklasse eis naar een brandklasse A2 of hebben dit al gedaan. Voor een brandklasse A2 geldt dat de gevel onbrandbaar moet zijn. Met een groene gevel is dit niet haalbaar doordat de beplanting voor een te hoge brandbare massa zorgt. Hierdoor zouden op den duur geen groene gevels meer toegepast kunnen worden, wat een achteruitgang in de vergroening van de bouwsector en de stad zou betekenen. Een uitgebreid onderzoek naar de brandveiligheid van levende gevels zou wellicht kunnen aantonen dat hiervoor een brandklasse A2 niet noodzakelijk is maar een brandklasse B (vanwege het hoge vochtgehalte in de gevel) eveneens voldoet.



8 Literatuur

8.1 Tabellenlijst

Tabel 1 Afkortingenlijst	9
Tabel 2 Begrippenlijst	10
Tabel 3 Brandklasse, rookklasse en druppelklasse.....	18
Tabel 4 Materialisering van de onderzochte groene gevel systemen.....	19
Tabel 5 Overzicht onderzochte testmethodes. (Mierlo, 2022)	25
Tabel 6 Resultaten SBI-test	30

8.2 Figurenlijst

Figuur 1 Fiona Verbrugge (L) en Maaike Diks (R) Foto: (Gerard Burger, Tech Gelderland).....	5
Figuur 2 Vervallen groene gevel door slecht onderhoud (Hendriks, 2017)	12
Figuur 3 Door brandstichting beschadigde groene gevel (Sempergreen).....	12
Figuur 4 Overzicht onderzoeksopzet (Diks, Overzicht onderzoeksopzet, 2022)	14
Figuur 5 Grondgebonden groen gevel met zelf hechtende klimplanten (Groenblauw, 2019)	16
Figuur 6 Gevelgebonden groene gevel met substraathouders (nature, 2018)	16
Figuur 7 Gevelgebonden groene gevel met anorganische substraat (Groenblauw, 2019).....	17
Figuur 8 SBI-testopstelling (Smith, 2018).....	18
Figuur 9 Schematische weergave brandklasse verdeling in de gevel (Diks, Brandklasse verdeling in de gevel, 2022)	21
Figuur 10 Schematische weergave werking firestop / cavity barrier (Advantages of the FB Cavity Barrier "Open State Fire Rated Resistant", 2022)	22
Figuur 11 Cascademodel van de stappen die plaats vinden tijdens het ontwikkelen van een brand nabij de gevel (Diks, Cascademodel brandontwikkeling ontstekingsbron nabij de gevel, 2022).....	23
Figuur 12 Testopstelling (Verbrugge, Testopstelling HAN experiment, 2022)	27
Figuur 13 Kalanchoë is na de blootstelling aan de brander gaan zweten (Verbrugge, Foto's HAN experiment, 2022).	27
Figuur 14 Warmtebeeld van de Herfstaster (Verbrugge, Foto's HAN experiment, 2022).	28
Figuur 15 SBI-test met beplanten modules (Diks, Foto's SBI, 2022).	29
Figuur 16 SBI-test met gedroogde planten in de modules (Diks, Foto's SBI, 2022).	30



8.3 Bibliografie

- (2022). Advantages of the FB Cavity Barrier "Open State Fire Rated Resistant". *Advantages of the FB Cavity Barrier*. Securo. Opgehaald van <https://securonorway.com/advantages-of-the-firebreather-cavity-barrier/>
- Amsterdam Rainproof. (2022). *Groene gevel*. Opgehaald van Amsterdam Rainproof elke druppel telt: <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/groene-gevel>
- Anderson, J. (2020, 3 12). *Finalisation of the european approach to asses the fire performance of facades*. Opgehaald van Ri.se: <https://www.ri.se/en/what-we-do/projects/finalisation-of-the-european-approach-to-assess-the-fire-performance-of-facades>
- Anderson, J., Boström, L., Chiva, R., Dumont, F., Hofmann, A., & Lalu, O. (2022, 5). *ASSESSMENT OF FIRE PERFORMANCE OF FACADES USING LARGE FIRE EXPOSURE*. Opgehaald van Ri.se: <https://www.ri.se/sites/default/files/2022-11/Assessment%20method%20Large%20exposure%20draft%206%2020221118.pdf>
- ARBO centrum. (2022). *Wat zijn NEN normen en wat houden NEN normen in?* Opgehaald van ARBO centrum compleet veilig: <https://www.arbocentrum.nl/kennisbank/wat-zijn-nen-normen-en-wat-houden-nen-normen-in/#:~:text=NEN%20staat%20voor%20Nederlandse%20Norm,wereldwijd%20beschreven%20normen%2C%20genaamd%20ISO.>
- Argrarische encyclopedie. (1954). *Wat is de betekenis van Hechtwortels?* Opgehaald van Ensie: <https://www.ensie.nl/betekenis/hechtwortels#:~:text=Hechtwortels%20zijn%20wortels%2C%20die%20zich,komen%20zij%20daarentegen%20veel%20voor.>
- Bertels, J. (2018). *Eindwerk Jef Bertels*. Opgehaald van Scriptiebank.be: <https://www.scriptiebank.be/sites/default/files/thesis/2018-09/eindwerk-Jef-Bertels-R0576613%5B2074%5D.pdf>
- Betekenisdefinitie. (2022). *Betekenis overschrijdingsfrequentie*. Opgehaald van Betekenisdefinitie: <https://www.betekenis-definitie.nl/overschrijdingsfrequentie>
- Blanc, P. (2022). *Bibliographie*. Opgehaald van Verticalgardenpatrickblanc: <https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/patrick-blanc/bibliographie>
- Brandpreventie Twente. (2022). *Vuurlastberekening en brandoverslagberekening*. Opgehaald van Brandpreventie Twente | Advies | Brandveiligheid: <https://www.brandpreventietwente.nl/vuurlast-en-brandoverslagberekening/>
- Brandveilig.com. (2018, 6 26). *Elke gevel vooraf op brandveiligheid testen in laboratorium*. Opgehaald van Brandveilig.com: <https://www.brandveilig.com/nieuws/elke-gevel-vooraf-op-brandveiligheid-testen-in-laboratorium-54930>
- Brandveiliggebouw.nu. (2019). *Wat wordt bedoeld met 'het risico op brandoverslag' en hoe wordt dit berekend?* Opgehaald van brandveiliggebouw.nu: <https://brandveiliggebouw.nu/vragen/item/wat-wordt-bedoeld-met-het-risico-op-brandoverslag-en-hoe-wordt-dit-berekend#:~:text=Brandoverslag%20is%20de%20uitbreiding%20van,zich%20via%20de%20lucht%20uitbreiden.>
- Broeke, A. t. (2016, september 4). *Sprinkler als alternatief voor brandwerend glas*. Opgehaald van Brandveilig.com: <https://www.brandveilig.com/artikel/sprinkler-alternatief-brandwerend-glas-47058>
- Broeke, A. t. (2016, oktober 27). *Sprinkler is alternatief voor brandwerend glas*. Opgehaald van Platform voor securityprofessionals | Security management: <https://www.securitymanagement.nl/sprinkler-is-alternatief-brandwerend-glas/>
- Burger, G. (sd). Tech Gelderland. *Artikel voor Tech Gelderland*. Tech Gelderland, Arnhem.



- Canna. (2018). *Algemene informatie over inerte substraten*. Opgehaald van Canna: <https://www.canna.nl/algemene-informatie-inerte-substraten>
- Certilas. (2020). *metalen en legeringen*. Opgehaald van Certilas: <https://certilas.nl/nl/content/metalen-en-legeringen>
- Dechering, D. (2022, September). Uitleg SBI. (F. Verbrugge, & M. Diks, Interviewers)
- DGMR Bouw B.V. (2021). *Risico's van gevels met brandklasse B*. Den Haag: DGMR.
- Dijk, N. v. (2021, 11 1). *bepaling en beoordeling brandgedrag bouwmaterialen*. Opgehaald van brandveilig.com: <https://www.brandveilig.com/artikel/bepaling-en-beoordeling-brandgedrag-bouwmaterialen-is-complexe-materie-70087>
- Diks, M. (2022). *Brandklasse verdeling in de gevel*.
- Diks, M. (2022). *Cascademodel brandontwikkeling ontstekingsbron nabij de gevel*.
- Diks, M. (2022). *Foto's SBI*. Haps.
- Diks, M. (2022). *Overzicht onderzoeksopzet*.
- Dobbels, F. (2018, 6 5). *Groene wanden*. Opgehaald van Gevelgroen: https://www.gevelgroen.be/wp-content/uploads/2020/03/Infosessie-NAV_Groene-wanden_WTCB_FDobbels_2018.05.02.pdf
- EBL. (2020, 12 4). *Efix-e-example*. Opgehaald van Wallflore: <https://wallflore.nl/wp-content/uploads/2020/12/EFIX-e-Example-1.pdf>
- Efectis. (2020, juni 2). *Brandveilige gevels*. Opgehaald van Efectis: <https://efectis.com/nl/brandveilige-gevels/>
- Efectis. (2020). *Declaration of test results | 2020-Efectis-R001808-D[Rev.1]*. Efectis.
- Encyclo.NL. (2022). *CONDITIONEREN DEFINITIES*. Opgehaald van ENCYCLO.NL NEDERLANDSE ENCYCLOPEDIA: <https://www.encyclo.nl/begrip/conditioneren>
- Encyclo.NL. (2022). *Geldigheidsgebied Definitie*. Opgehaald van ENCYCLO.NL NEDERLANDSE ENCYCLOPEDIA: <https://www.encyclo.nl/begrip/geldigheidsgebied>
- Fire Risk Assessment Network. (sd). *What Is a Fire Cavity Barrier?* Opgehaald van Fire Risk Assessment Network: <https://fire-risk-assessment-network.com/blog/cavity-barriers/>
- FOJTÍČKOVÁ, M. (2021, 02 14). *history of green walls*. Opgehaald van floraurbanica: <https://floraurbanica.com/en/history-of-green-walls/#:~:text=In%20the%201930s%2C%20Stanley%20Hart,the%20name%20%E2%80%9CBotanical%20Bricks%E2%80%9D>
- Fytocell. (2020). *Fytocell brochure resins argo version*. Opgehaald van resinsargo: <https://resinsagro.com/wp-content/uploads/sites/5/2020/03/Fytocell-brochure-resins-agro-version-2020.pdf>
- Gemeente Rotterdam. (sd). *Samen werken aan meer biodiversiteit*. Opgehaald van Gemeente Rotterdam: <https://www.rotterdam.nl/apps/rotterdam.nl/wonen-leven/biodiversiteit/>
- Gids Duurzame Gebouwen. (2016, januari 29). *Luchtbeweging aan de basis van ventilatieluchtdebieten*. Opgehaald van GIDS DUURZAME GEBOUWEN.brussels: <https://www.gidsduurzamegebouwen.brussels/free-cooling/luchtbeweging-basis-ventilatieluchtdebieten>
- Groenblauw, A. (2019). *Groene gevel. Rainproof*. Opgehaald van <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/groene-gevel>
- Hendriks, N. (sd). *Groene gevel Paleis plaatselijk in verval. Groene gevel Paleis plaatselijk in verval*. Bouwwereld.
- Herpen ; Fellow Fire engineering (TU/e). (2022). *PHBO Fiere Safety Engineering | Blok 5 | Doelgerichte brandveiligheid - integrale benadering*. Utrecht.
- Herpen, R. v. (2014). *Risicogebaseerde brandveiligheid van draagconstructies*. Zwolle: Nieman.
- Herpen, R. v. (2021, januari). *Fire resilience van woningbouw in CLT*. *Brandveilig.com*, p. 7.
- Herpen, R. v. (2022). *Feedback*. (M. Diks, Interviewer)



- Herpen, R. v. (2022, oktober 18). Fire Safety Engineering. *An introduction in FSE*. Eindhoven: TU/e.
- Herpen, R. v. (2022, september 5). Voortgangsbespreking 1. (F. Verbrugge, & M. Diks, Interviewers)
- Herpen, R. v. (2022, Oktober 12). Voortgangsbespreking 5. (F. Verbrugge, & M. Diks, Interviewers)
- Herpen, R. v. (2022, november 7). Voortgangsbespreking 6. (F. Verbrugge, & M. Diks, Interviewers)
- InsulationGO. (2022). Reaction to Fire Classes. *Fire ratings*. Opgehaald van <https://insulationgo.co.uk/fire-ratings/>
- Jan, A. (2020, januari 16). *Verschillende type klimplanten*. Opgehaald van Groene passies: <https://groenepassies.nl/bloemen-en-planten/verschillende-typen-klimplanten/>
- Leverancier 2. (2022, September 27). Groene gevelsysteem met brandklasse A2. *Mail contact*.
- Marle, M. v., & Agricola, H. J. (2021, 4 9). *Verrijking Klimaat-effectatlas natuurbrandgevoeligheid*. Opgehaald van Klimaat-effectatlas: https://www.klimaat-effectatlas.nl/l/nl/library/download/urn:uuid:6c339a3d-4adf-4626-a50b-975d811026dc/technische+toelichting+natuurbrandgevoeligheid.pdf?format=save_to_disk
- Metadecor. (2012). *brandveilige gevels*. Opgehaald van Metadecor: <https://www.metadecor.nl/brandveiligheid-gevels/>
- Mierlo, R. v. (2022). *DGMR rapport - Analyse geveltestmethoden*. Den Haag: DGMR.
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninklijke relaties. (2022, augustus 01). *BouwBesluit Online 2012*. Opgehaald van BouwBesluit 2012: <https://rijksoverheid.bouwbesluit.com/Inhoud/docs/wet/bb2012>
- Mobilane. (2019). *Voordelen groene gevel*. Opgehaald van Mobilane building green: <https://mobilane.com/nl/nieuws/voordelen-van-een-groene-gevel/>
- Nature, B. (2018). *modulo green livings wall*. bynaturedesigns. Opgehaald van <https://bynaturedesign.ca/products/living-products/modulogreen-living-walls/>
- Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid. (2019). *Wat is de betekenis van Brandvermogen?* Opgehaald van Ensie: <https://www.ensie.nl/betekenis/brandvermogen#:~:text=De%20hoeveelheid%20energie%20die%20per,uitgedrukt%20in%20kW%20of%20MW.>
- NHBC. (2022, April). *Requirements for cavity barriers*. Opgehaald van https://www.nhbc.co.uk/binaries/content/assets/nhbc/tech-zone/nhbc-standards/tech-guidance/6.1/requirements_for_cavity_barriers.pdf
- Normcommissie 351007. (2020). *NEN 6068*. NEN Connect.
- Normcommissie 353084. (2019). *NEN-EN 13501-1*. NEN Connect.
- Normcommissie 400179. (2019, oktober). *NEN-ISO 31000+C11 (nl)*. Opgehaald van NEN Connect: <https://connect.nen.nl/Standard/Detail/3621156?compId=11254&collectionId=0>
- Normencommissie 351007 | Brandveiligheid van Bouwwerken. (2016, juni). *NEN 6079+C1*. Opgehaald van NEN Connect: <https://connect.nen.nl/standard/openpdf/?artfile=579402&RNR=220344&token=1ffe8e72-d297-47c4-9dd2-a96d872309c0&type=pdf#pagemode=bookmarks>
- Peters, B. (2011). *groene gevels*. Opgehaald van homepage.tudelft.nl: http://homepage.tudelft.nl/x4x4j/sadbtreports/0910nj/Afstudeerverslag_BAPeters_januari2011.pdf
- Richard, J., & Arora, S. (2016, 10 26). *Declaration concerning the classification of fire reaction of Magnelis steel product under the construction product regulation*. Opgehaald van FCE arcelormittal: https://fce.arcelormittal.com/repository2/fce/transfer/Firecert_Magnelis.pdf?flipbook=0
- Rockpanel. (2022). *Waarom is de SBI-test de toonaangevende test voor brandveiligheid?* Opgehaald van Rockpanel: <https://www.rockpanel.nl/toepassingen/technisch-advies/brandveiligheid/sbi-test/#:~:text=Wat%20is%20een%20SBI%20test,tijdens%20de%20test%20zijn%20gemeten.>



- Rockpanel. (2022). *Waarom is de SBI-test de toonaangevende test voor brandveiligheid?* Opgehaald van Rockpanel: <https://www.rockpanel.nl/toepassingen/technisch-advies/brandveiligheid/sbi-test/>
- Rockwool. (sd). *European Reaction to Fire Classification System*. Opgehaald van Rockwool.com: <https://www.dbfacades.com/wp-content/uploads/2017/07/European-Fire-Classification-System-Explanation.pdf>
- Rossum, E. v. (2021). *Handboek Brandveiligheid*. Utrecht, Utrecht, Nederland: Brandpreventie Academy.
- SemperGreen. (2022). Groene gevel beschadigd door brandstichting. *Groene gevel beschadigd door brandstichting*. SemperGreen, Zoetermeer.
- Sempergreenwall. (2014). *Technische bepalingen en werkbeschrijving sempergreenwall outdoor*. Odijk: Sempergreen vertical systems b.v.
- Smith, J. (2018). *Single burning item (SBI) test apparatus*. Opgehaald van Concept equipment: <https://www.concept-e.co.uk/products/single-burning-item-test-apparatus/>
- Team McCoy Mart. (2022, september 26). *Restricting The Spread Of Fire And Smoke*. Opgehaald van McCoy Mart: <https://mccoymart.com/post/restricting-the-spread-of-fire-and-smoke/>
- Verbrugge, F. (2022). *Foto's HAN experiment*. Arnhem.
- Verbrugge, F. (2022). *Testopstelling HAN experiment*.
- Virtoria gevelgroen technische details. (2019). Opgehaald van virtoria: <https://virtoria.spankracht-acceptatie.nl/wp-content/uploads/2021/02/Virtoria-GevelGroen-technische-details.pdf>
- Vree, J. d. (2022). *brandklasse, brandgedrag*. Opgehaald van Joos te Vree: <https://www.joostdevree.nl/shtmls/brandklasse.shtml#:~:text=brandklasse%2C%20brandgedrag&text=De%20brandklasse%20is%20het%20gedrag,de%20druppelvorming%20bij%20brand%20begrepen.>
- Vree, J. d. (2022). *Gevolgklasse*. Opgehaald van Joost de Vree: <https://www.joostdevree.nl/shtmls/gevolgklasse.shtml#:~:text=Kennisportaal%20Constructieve%20Veiligheid%20geeft%20als,de%20bepaling%20van%20de%20klasse.%22>
- Wallflore. (2019). *wallflore outdoor efix*. Opgehaald van Wallflore: <https://wallflore.nl/techniek/buiten/wallflore-efix-e/>
- WFM Media. (2022). *The fire safe design will lead to less reduced risks of fires to spreading*. Opgehaald van WFM Media: <https://wfmmedia.com/fire-safety-design-to-reduce-the-risk-of-fire-spreading/#:~:text=Also%20putting%20fire%20breaks%20or,prevent%20the%20spread%20of%20fire>
- Wikipedia. (2022, december 17). *Biodiversiteit*. Opgehaald van Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Biodiversiteit>
- Wikipedia. (2022, januari 19). *Brandcompartiment*. Opgehaald van Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Brandcompartiment>
- Wikipedia. (2022, november 18). *Capillariteit*. Opgehaald van Wikipedia: [https://nl.wikipedia.org/wiki/Capillariteit#:~:text=Capillariteit%20\(of%20capillaire%20werking\)%20is,worden%20haarbuisjes%20of%20capillairen%20genoemd.](https://nl.wikipedia.org/wiki/Capillariteit#:~:text=Capillariteit%20(of%20capillaire%20werking)%20is,worden%20haarbuisjes%20of%20capillairen%20genoemd.)
- Wikipedia. (2022, Juni 16). *Firestop*. Opgehaald van Wikipedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Firestop>
- Wikipedia. (2022, november 17). *Micro-organisme*. Opgehaald van Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Micro-organisme#:~:text=Men%20spreekt%20van%20'microbieel'%20als,wordt%20door%2C%20micro%20organismen.>
- ZNSTD. (2022). *Groene gevel*. Opgehaald van ZNSTD: <https://buitengewoon.zaanstad.nl/groen/groene-gevel>



9 Bijlagen

- Bijlage 1: Afkortingen en begrippen
- Bijlage 2: Plan van aanpak
- Bijlage 3: Literatuurstudie
- Bijlage 4: Onderbouwing probleemstelling
- Bijlage 5: Deskresearch; Groene gevels en brandgedrag van groene gevelsystemen
- Bijlage 6: Deskresearch; Brandveiligheid van gevels
- Bijlage 7: Deskresearch; Bepaling brand uitbreidingsrisico
- Bijlage 8: Deskresearch; Restricties testmethoden
- Bijlage 9: Rapport; HAN experiment
- Bijlage 10: Rapport; SBI-testen

