

# Cascademodel 3.0



Nederlands Instituut Publieke Veiligheid  
Postbus 7010  
6801 HA Arnhem  
Kemperbergerweg 783, Arnhem  
[www.nipv.nl](http://www.nipv.nl)  
[info@nipv.nl](mailto:info@nipv.nl)  
026 355 24 00

## Colofon

© Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV), 2022

Auteur(s): M. Bertels (VRBN), T. Hessels  
Contactpersoon: T. Hessels

Datum: 16 mei 2022

Wij hechten veel belang aan kennisdeling. Delen uit deze publicatie mogen dan ook worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding.

Het Nederlands Instituut Publieke Veiligheid is bij wet vastgelegd onder de naam Instituut Fysieke Veiligheid.

# Inhoud

	<b>Inleiding</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Impact</b>	<b>7</b>
1.1	Warmte en rook	7
1.2	Uitbereiding van brand	10
1.3	Vluchtmogelijkheden en overlevingskansen	12
1.4	Kwalificatie van impact op gezondheid en belemmering van vluchten	14
1.5	Schade en onderbreking van de normale gang van zaken	15
<b>2</b>	<b>Ruimtelijke omvang</b>	<b>17</b>
2.1	Thema's	17
2.2	Basis-cascades en alternatieven	18
<b>3</b>	<b>Cascademodel</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>Maatwerk-cascademodel</b>	<b>23</b>
4.1	Woning	23
4.2	Industriehal	23
4.3	Parkeergarage	24
4.4	Elektriciteit Opslag Systeem (EOS)	25
4.5	Branden met een zeer groot oppervlak	25
<b>5</b>	<b>Brandweezorg</b>	<b>26</b>
5.1	Definities	26
5.2	Interventiemogelijkheden	29
5.3	Restrisico	32
5.4	Productencatalogus	32
5.5	Brandvermogen	32
<b>6</b>	<b>Incidenten anders dan brand</b>	<b>35</b>
	<b>Literatuurlijst</b>	<b>36</b>
	<b>Bijlage 1 Warmtehuishouding</b>	<b>37</b>

# Inleiding

## Aanleiding

In 2012 verscheen de publicatie *Proof of concept: Cascademodel 2.0* (Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid, 2012). Het Cascademodel 2.0 is in 2019 door Michaël Bertels en Tom Hessels op persoonlijk initiatief doorontwikkeld naar het Cascademodel 3.0. Daarmee was het document niet af: er bleven (en blijven) verbeteringen aan het cascademodel en het bijbehorend denkkader mogelijk. Deze voorliggende publicatie is een nadere doorontwikkeling van het Cascademodel en kan dan ook worden gezien als een herziene versie.

In deze herziene versie is onder meer de impact van een brand verder gespecificeerd. Zo is onder meer rook meegenomen hierin. Ook zijn er een groot aantal verbeteringen doorgevoerd. De publicatie van dit document vindt ditmaal plaats onder vlag van NIPV en niet meer op persoonlijke titel.

## Redenen voor doorontwikkeling van het cascademodel

Bij het toepassen van het Cascademodel 2.0 in de praktijk wordt tegen een aantal problemen opgelopen. Zo is de generieke keuze voor de cascades niet van toepassing op alle gebouwen. Een woning kan bijvoorbeeld wel geen verdieping hebben, of de ruimte is gelijk aan de woning. Ook is ondervonden dat het model zich niet eenvoudig laat digitaliseren, waardoor de toetsing aan de hand van data en het toepassen als onderligger voor 'business intelligence' niet eenvoudig is. Verder zijn de activiteiten of voorzieningen die samenhangen met de 'kraantjes' (zie onderstaand kader) nog niet helder uitgewerkt, en leent het model zich nog onvoldoende om keuzes te maken voor een bepaald restrisico (impact) afgezet tegen het niveau van brandweezorg.

Het cascademodel 2.0 gaat niet in de op de gevolgen van brand, anders dan de branduitbreiding zelf.

### Terugblik: Cascademodel 2.0

Het Cascademodel 2.0 gaat uit van elkaar opvolgende ruimtelijke fasen van brand. Als een brand zich heeft ontwikkeld tot een bepaalde ruimtelijke fase zijn er twee mogelijkheden: de brand blijft beperkt tot deze huidige ruimtelijke fase óf de brand ontwikkelt zich naar de volgende fase. Omstandigheden bepalen welke van de twee mogelijkheden plaatsvindt. Het Cascademodel 2.0 begint bij 'voorwerp in brand'. Daarnaast zijn er kraantjes getekend tussen de ruimtelijke grootheden. Het kraantje geeft aan dat de branduitbreiding op dat punt kan stoppen. In het Cascademodel 2.0 wordt gesproken over de 'trigger' waardoor de brand (in het voorwerp) ontstaat.

## Cascademodel 3.0

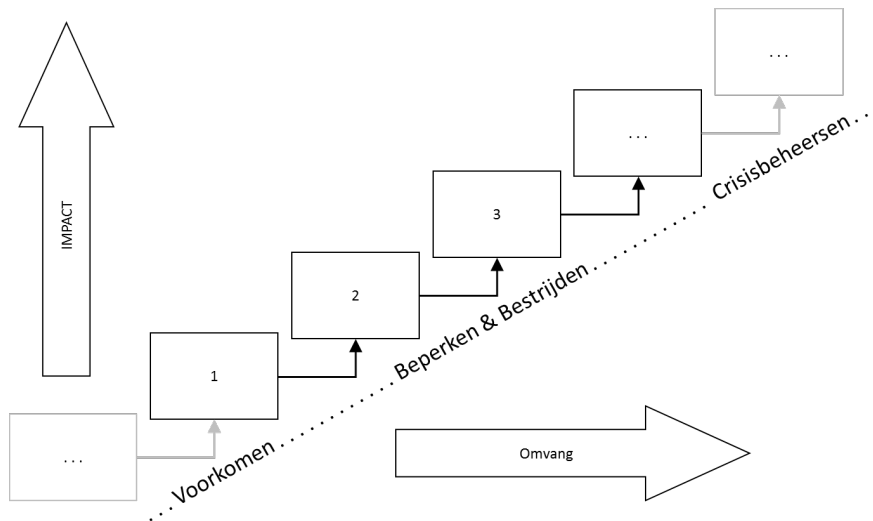
Het cascademodel 3.0 bouwt verder op cascademodel 2.0 waarbij tegelijkertijd de beperkingen van 2.0 worden opgelost. Het model richt zich op de breedste betekenis van 'brandweezorg' en de wijze waarop verschillende vormen van brandweezorg samenhangen.

Brandweezorg is gericht op

- 1) het voorkómen dat brand überhaupt ontstaat,
- 2) het beperken van de gevolgen van brand en
- 3) het bestrijden van brand.

Daarnaast is de brandweer:

- 4) een van de partners bij crisis- en rampenbestrijding.



**Figuur I.1 Cascademodel 3.0 in hoofdlijnen**

Met het cascademodel 3.0 kan een afweging gemaakt worden in welke vorm van brandweezorg het beste geïnvesteerd kan worden. Tegelijkertijd kan geanalyseerd worden wat de faalkans is van de verschillende vormen van brandweezorg en welk restrisico zich daarbij manifesteert.

## Leeswijzer

In dit document wordt als eerste in hoofdstuk 1 ingegaan op de verticale as 'impact' en de wijze waarop de verbrandingsreactie de nadelige impact van brand kan veroorzaken. In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de horizontale as van het cascademodel: de ruimtelijk omvang. In hoofdstuk 3 wordt het generieke cascademodel gepresenteerd op basis van de elementen uit hoofdstukken 1 en 2. In het vierde hoofdstuk wordt gepresenteerd hoe het mogelijk is afhankelijk van de gebruiksfunctie maatwerk-cascademodellen toe te passen. In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op hoe brandweezorg zich verhoudt tot het cascademodel. Daarmee worden verschillende toepassingen van het cascademodel beschouwd. Hoofdstuk 6 geeft voorbeelden van toepassing van het cascademodel voor incidenten anders dan brand.

# 1 Impact

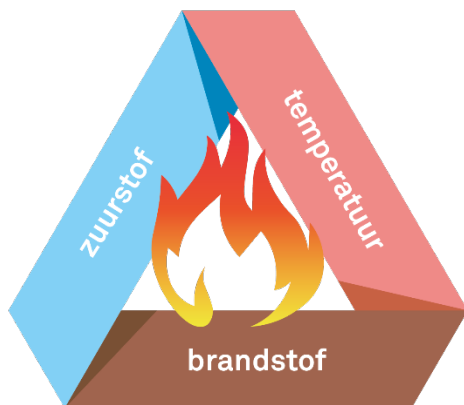
Brand is meer dan alleen een verbrandingsreactie. Brand gaat ook over de impact. Deze impact manifesteert zich ook op andere plekken dan waar de verbrandingsreactie plaatsvindt. Het cascademodel leent zich bij uitstek om de relatie te onderzoeken tussen de cascade waar de verbrandingsreactie zich bevindt en de cascades waar de impact optreedt.

In dit hoofdstuk wordt onderzocht welke rol warmte en rook spelen bij het veroorzaken van impact en welke vormen van impact er zijn.

## 1.1 Warmte en rook

### 1.1.1 Verbrandingsreactie

De klassieke 'branddriehoek' beschrijft wat nodig is voor de verbrandingsreactie: brandstof, zuurstof en ontbrandingstemperatuur. Zonder een van deze elementen (of zijden) is er geen verbranding.



**Figuur 1.1 Branddriehoek<sup>1</sup>**

De branddriehoek is gericht op de verbrandingsreactie maar beschrijft niet de gevolgen of de impact van brand.

<sup>1</sup> In deze publicatie wordt het begrip 'warmte' gebruikt zoals dat gebruikelijk is in de thermodynamica. In lesstof over de branddriehoek wordt echter altijd het begrip 'temperatuur' gebruikt.



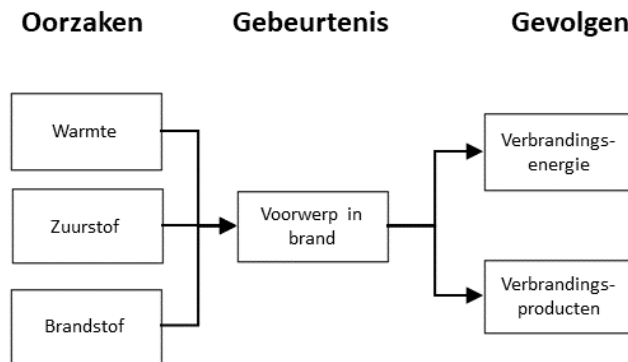
### Temperatuur, warmte en hitte

In de branddriehoek wordt het begrip 'temperatuur' gebruikt om aan te geven dat er een bepaalde temperatuur nodig is voor ontbranding. In het cascademodel wordt het begrip 'warmte' gebruikt omdat dat ook gebruikelijk is in de thermodynamica. Verbrandingsenergie wordt overgedragen in de vorm van warmte, niet in de vorm van 'temperatuur'. Het woord 'hitte' wordt gebruikt om te beschrijven wat slachtoffers ervaren als ze hinder ondervinden van warmte.

### 1.1.2 Gebeurtenissenboom

De branddriehoek kan nader worden uitgewerkt in de gebeurtenissenboom die staat weergegeven in figuur 1.2. Aan de linkerkant van die boom staan de noodzakelijke voorwaarden om tot een voorwerp in brand te komen: ontstekingswarmte, zuurstof en brandstof. De gevolgen van een brand zijn verbrandingswarmte en verbrandingsproducten.

In het midden staat de 'onomkeerbare gebeurtenis', namelijk dat de verbrandingsreactie plaatsvindt.



**Figuur 1.2 gebeurtenissenboom**

De impact van brand wordt veroorzaakt door de verbrandingsenergie (warmte) en de verbrandingsproducten.

### 1.1.3 Rook

Verbrandingsproducten of -resten hebben vele verschijningsvormen. Afhankelijk van de verschijningsvorm blijven deze producten achter in de cascade van de brand of verspreiden zich over de naastgelegen cascades.

Voor zover de verbrandingsproducten zich, in de vorm van gas of aerosol, verplaatsen naar een naastgelegen cascade kan gesproken worden over rook. Rook kan zich verspreiden en verdunnen met omgevingslucht. Zolang de eigenschappen van rook merkbaar zijn wordt het nog steeds "rook" genoemd! Rook heeft daarom de bijzondere eigenschap dat het toeneemt in volume en afneemt in concentratie. Dit ruimtelijke verschijnsel laat zich bij uitstek beschrijven met het cascademodel.

In het cascademodel 3.0 wordt geen definitie gehanteerd voor 'rook'. In plaats daarvan worden de effecten van de verspreiding van verbrandingsproducten beschouwd.



#### **1.1.4 Rook verandert van temperatuur en samenstelling**

Nadat de rook uit de cascade van de brand is getreden kan het verschillende processen ondergaan. Rook zal zich mengen met lucht en daarna verdunnen en afkoelen. Ook is het mogelijk dat de rook verbrand. De temperatuur van de rook neemt dan juist toe, en de samenstelling van de rook zal sterk veranderen.

Met de afkoeling kunnen componenten condenseren en aerosolen kunnen neerslaan. De concentratie van componenten in de rook neemt dan sterk af. Zware componenten in rook volgen een andere route dan vluchtige componenten.

Op enige afstand van de cascade van de brand is er alleen nog maar sprake van lineaire verdunning en afkoeling.

#### **1.1.5 Impact door warmte en rook**

In de volgende drie paragrafen wordt beschreven op welke wijze warmte en rook van brand kunnen leiden tot impact van deze brand:

1. Uitbereiding van brand, met de impact die dat vervolgens heeft.
2. Nadelige gevolgen voor de vluchtmogelijkheden en overlevingskansen, met als impact doden en gewonden.
3. Verspreiding van gevaarlijke stoffen, het verteren, buiten werking stellen, of tijdelijk niet beschikbaar zijn van middelen, gebouwen, terreinen en infrastructuur met als impact schade en overlast.

## 1.2 Uitbereiding van brand

### 1.2.1 Verspreiding van warmte

De warmte die ontstaat bij de verbrandingsreactie verspreidt zich door onder andere geleiding en straling. Beide leiden tot opwarming en dus het bereiken van een zekere temperatuur van objecten in de directe omgeving van de brand. Zo wordt 'temperatuur' bedoeld in de branddriehoek. De verhoogde temperatuur kan een uitbreiding van brand binnen de cascade en naar de naastgelegen cascade tot gevolg hebben. En het kan er toe leiden dat slachtoffers hitte ervaren in de onmiddellijke nabijheid van de brand.

Warmte verspreidt zich ook door convectie. Convectie bevordert de aanvoer van verse lucht met zuurstof naar de brand en kan zo de brand bevorderen. Bij de convectie kan ook omgevingslucht betrokken zijn die niet aan de verbranding deelneemt. In de praktijk is het lastig om onderscheid te maken tussen de lucht die wel of niet aan de verbranding deelneemt. Daarom wordt dit onderscheid niet gemaakt in het cascademodel.

Brand kan zich daarnaast uitbreiden naar een bredere omgeving door de verspreiding van brandbare verbrandingsproducten, die elders ontbranden. Afhankelijk van de temperatuur en samenstelling kan de ontbranding spontaan plaatsvinden bij opmenging met verse lucht. Anders er is een ontstekingsbron nodig om het mengsel te ontsteken.

### 1.2.2 Energiehuishouding

Een brand houdt zich in stand doordat alle zijden van de branddriehoek aanwezig zijn: brandstof, zuurstof en warmte. Er is een kritische relatie tussen brandstof en warmte. Er is namelijk warmte nodig om vaste brandstof (die veel voorkomt in materialen die in bouw en interieur gebruikt worden) om te zetten in pyrolysegassen die kunnen deelnemen aan de verbrandingsreactie.

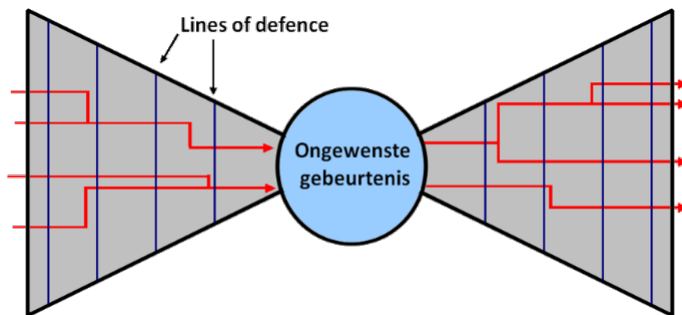
Als onvoldoende warmte ten gunste komt aan de pyrolysereactie, wordt de aanvoer van pyrolysegassen beperkt en neemt het vermogen van de brand steeds meer af. Als veel warmte ten gunste komt van de pyrolysereactie, kan de brand juist in vermogen toenemen. Deze relatie wordt kortweg 'de energiehuishouding' genoemd. De oppervlakte van de brandstof speelt een belangrijke rol in de energiehuishouding. De oppervlakte ontvangt namelijk de warmte van de verbrandingsreactie en vaak is de pyrolyse beperkt tot de oppervlakte van de vaste brandstof, zie Bijlage 1 Warmtehuishouding. In de fase dat de energiehuishouding limiterend is voor de brand zou je kunnen spreken over een 'warmtegelimiteerde brand'.

Indien de pyrolyse gassen onvolledig verbranden in de cascade van brand kunnen zij buiten de cascade verbranden en zo ook een bijdrage leveren aan de uitbreiding van brand.

Een brand heeft impact vanwege de warmte en de rook die wordt gevormd tijdens een verbrandingsreactie. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe warmte en rook bij brand ontstaan en zich verspreiden. In de daarop volgende hoofdstukken wordt beschreven welke verschillende vormen van impact dat kan hebben.

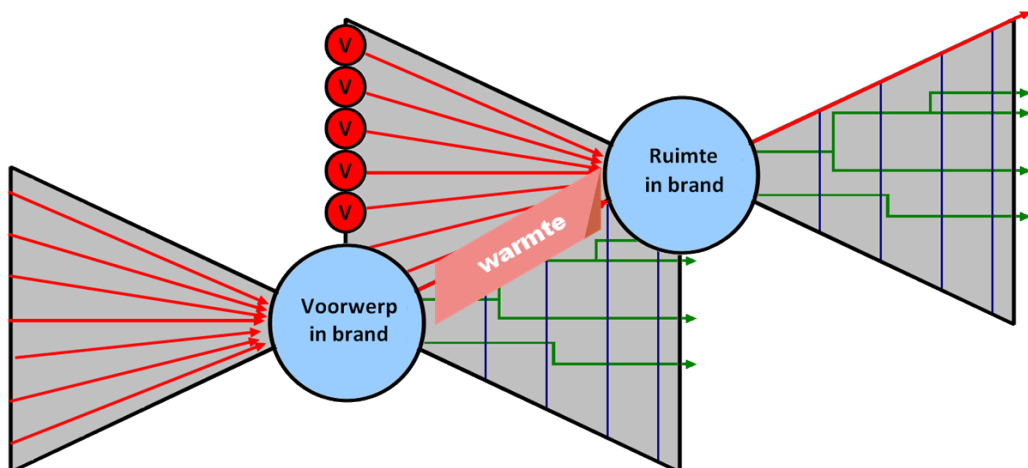
### 1.2.3 Vlinderdas

De gebeurtenissenboom in paragraaf 1.1.2 kan vertaald worden naar een vlinderdas, zie figuur 1.3. In het midden staat de ongewenste gebeurtenis, aan de linkerkant van de vlinderdas de kansen die lijden tot deze gebeurtenis, en aan de rechterzijde de mogelijk effecten. Voor deze kansen en effecten kunnen 'lines of defence' worden geplaatst om enerzijds de kans op de ongewenste gebeurtenis te voorkomen, en anderzijds de effecten te beperken.



**Figuur 1.3 De vlinderdas**

In geval van de cascade 'ruimte' is deze 'brand in een ruimte' de ongewenste gebeurtenis. De effecten die hierop volgen zijn divers. Voorbeelden daarvan zijn warmte, rook, schade en slachtoffers. De kans op een ruimte in brand is echter beperkter. De oorzaak van een 'brand in een ruimte' is de warmte die voortkomt uit een brand in een voorwerp. Er is immers geen andere manier om een brand in een ruimte te krijgen. Dit betekent dat de kans op een ruimte in brand is brand per definitie gelijk is aan één van de effecten van een voorwerp in brand, namelijk warmte. Zie figuur 1.4 hieronder.



**Figuur 1.4 Van voorwerp naar ruimte in brand**

Daarmee geldt ook: alleen bij 'cascade 0: aantasting' is er nog sprake van het voorkomen van een incident door kansreducerende 'lines of defence' aan te brengen. Alle maatregelen voorbij cascade 0 zijn daarmee effectreducerende maatregelen. Zo is brandcompartimentering een effectreducerende maatregel van het betreffende compartiment dat in brand staat, en geen kansreducerende maatregel van het naastliggende compartiment: het heeft als doel het behouden van de brand zijn huidige cascade en beperkt daarmee dus het effect van deze brand. Brandweezorg is gebaseerd op deze 'lines of defence'; dit wordt nader beschouwd in hoofdstuk 5.

#### 1.2.4 De cascade van de brandstof

In eerdere versies van Cascademodel en bij toepassing er van was niet altijd duidelijk hoe gedefinieerd moest worden in welke cascade de brand zich bevond. 'Brand in een gebouw' is immers niet hetzelfde als 'Gebouw in brand'!

Het cascademodel laat zien dat verschillende impact-criteria van brand zich in verschillende cascades kunnen manifesteren. Dat doet recht aan de complexe manier waarop brand zich manifesteert in de ruimte. Daarmee is de vraag 'in welke cascade is de brand' niet langer legitiem! Brand bevindt zich immers in verschillende cascades, afhankelijk van het verschijnsel of impactcriterium dat gekozen wordt!

In plaats daarvan is het meer zinvol om de focus te leggen op de verbrandingsreactie. En dan in het bijzonder de bron van de brandstof voor de verbrandingsreactie.

Bij een uitlaande brand worden de uitlaande vlammen gevoed door materialen in het gebouw. Het is in dat geval niet terecht om te spreken over 'omgeving in brand' als alleen het gebouw de voeding vormt voor de brand.

Het is dus beter om de vraag te stellen 'welke cascade vormde de brandstof voor de brand' in plaats van 'welke cascade stond in brand'. Eventueel aangevuld met de vraag 'in welke cascade vond de verbrandingsreactie plaats', dat is waarschijnlijk tevens de cascade waarnaar de brand zich aan het uitbreiden was.

### 1.3 Vluchtmogelijkheden en overlevingskansen

Warmte en rook van brand hebben een nadelig effect op de overlevingskansen en vluchtmogelijkheden van mensen. Deze beschouwing bestaat uit twee stappen: op de eerste plaats de constatering dat omstandigheden en concentraties objectief meetbaar zijn. Op de tweede plaats de constatering dat deze meetbare grootheden te relateren zijn aan de ondervonden hinder. Deze aanpak is gebaseerd op het *SFPE Handbook of Fire Protection* (Purser, 2016).

#### 1.3.1 Objectief meetbare grootheden

De warmtestraling van brand of van hete rookgassen, de lokale temperatuur en de concentratie van diverse stoffen in rook zijn objectief meetbaar. De samenstelling van de rook is weliswaar zeer complex, maar de schadelijke effecten van de gevaarlijke stoffen worden veroorzaakt door een aantal componenten die vrijwel gelijk zijn voor alle branden.

Relevante en meetbare grootheden zijn:

1. Een hoge omgevingstemperatuur.
2. Intensiteit van warmtestraling van brand en hete rooklagen
3. De mate waarin de verbrandingsproducten het zicht belemmeren door verstrooiing van licht.
4. Concentratie van stoffen die irritatie veroorzaken.
5. Concentratie van stoffen die verstikking veroorzaken.

### 1.3.2 Nadelige effecten

De meetbare grootheden hebben nadelige effecten op mensen die eraan blootgesteld worden. De volgende nadelige effecten worden hieronder besproken:

- a) Verminderde wil om te vluchten.
- b) Verminderde oriëntatie omdat de zichtlengte beperkt wordt.
- c) Belemmering van het ademen en het zien door irritatie van de slijmvliezen.
- d) Verminderde conditie en cognitie vanwege verstikking.
- e) Pijn door het ervaren van hitte op de huid of in de bovenste luchtwegen.

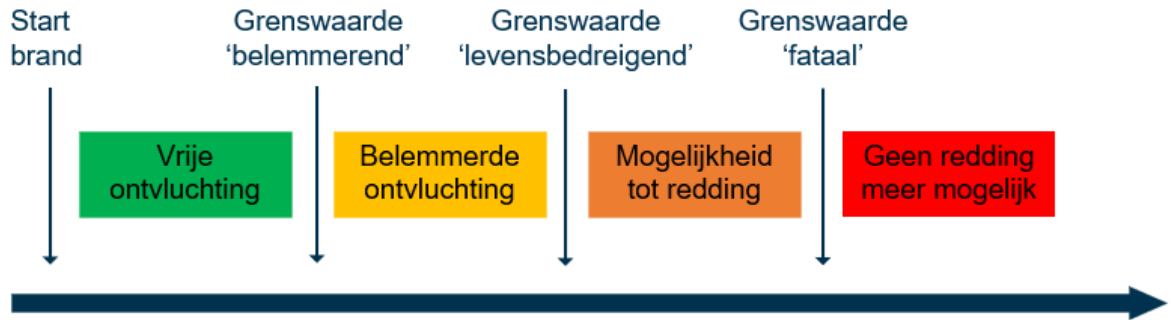
In paragraaf 1.3.4 van de publicatie *Rookverspreiding in woongebouwen* (Brandweeracademie, 2020) staat een analyse tussen de meetbare grootheden en het nadelige effect. Zo is bijvoorbeeld de mate van irritatie gerelateerd aan de concentratie van bepaalde stoffen maar de mate van verstikking is gerelateerd aan de dosis (tijd x concentratie) van bepaalde stoffen.

In het SFPE handboek staan verwijzingen naar diverse studies die ingaan op het verband tussen de fysieke omstandigheden, de duur van blootstelling en de nadelige effecten. In deze paragraaf wordt hieraan geen aandacht besteed. In plaats daarvan wordt een relatie gelegd tussen de cascade van de brand en de cascades waar de nadelige effecten ervaren worden.

### 1.3.3 Rookverspreiding in woongebouwen

Verspreiding en verdunning zijn in de praktijk waargenomen tijdens proeven (Brandweeracademie, 2020). In dit onderzoek vond er meer rookverspreiding horizontaal plaats dan verticaal. Hoewel er bij veel testen op andere verdiepingen rookverspreiding is geconstateerd, waren de visueel waargenomen hoeveelheden en gemeten concentraties rookgassen lager dan op de verdieping van de brand. Daarnaast bleek de verticale rookverspreiding minder consistent dan de horizontale en verliep de rookverspreiding tijdens de inzetfase grilliger dan tijdens de vluchtfase. Het lijkt erop dat er naast de brandweerinzet meer variabelen zijn die de rookverspreiding beïnvloeden. Rookverspreiding in het algemeen vindt hoofdzakelijk plaats via (open) deuren, ventilatiekanalen en wandcontactdozen. Horizontale rookverspreiding vindt vooral plaats via deuren: de meeste rookverspreiding is zichtbaar bij openstaande deuren of bij het openen van deuren. Verticale rookverspreiding geschiedt vooral via ventilatiekanalen en wandcontactdozen.

In het onderzoek naar rookverspreiding (Brandweeracademie, 2020) wordt het effect van die rookverspreiding op personen als volgt gekwalificeerd:



**Figuur 1.5 Schema vlucht- en overlevingsmogelijkheden van slachtoffers bij brand**

Dit schema gaat uit van meetbare grenswaarden die oplopen naarmate de brand voortduurt en zich ontwikkelt. Het reddend optreden van de brandweer richt zich op de oranje zone in het schema. Mensen kunnen dan zelf niet meer vluchten, maar zijn nog niet overleden. Een verfijning is mogelijk door de vier onderscheiden situaties te relateren aan de cascades in de buurt van de brand. In de ontstaansruimte is al snel sprake van 'geen redding meer mogelijk', terwijl elders in het gebouw op het zelfde moment vrije ontvluchting wellicht nog wél mogelijk is.

## 1.4 Kwalificatie van impact op gezondheid en belemmering van vluchten

Het bovenstaande schema kan ook toegepast worden om de ervaring van betrokken personen vast te leggen bij de evaluatie van de impact van de brand. De nadruk ligt dan minder op de exacte grenswaarden en de rol van de brandweer, maar meer op de beleving van de betrokkenen. Daarbij kan dan ook vastgelegd worden welke van de nadelige effecten a tot en met e uit paragraaf 1.3.2 de belangrijkste bijdrage geleverd heeft aan de belemmering om te vluchten. Dit levert belangrijk inzicht in de eigenschap van de impact van rook die maatgevend is bij het veroorzaken van een belemmerde ontvluchting. Een voorstel voor een onderzoeksvorstel hiertoe staat hieronder beschreven.

### 1.4.1 Voorstel voor een onderzoeksaanpak

Om in kaart te brengen wat de kwalificatie van impact op de belemmering van vluchten en op de gezondheid is wordt geadviseerd om in kaart te brengen op welke plaats in het gebouw de persoon een van onderstaande nadelige effecten heeft waargenomen:

- a) Verminderde wil om te vluchten.
- b) Verminderde oriëntatie omdat de zichtlengte beperkt wordt.
- c) Belemmering van het ademen en het zien door irritatie.
- d) Verminderde conditie en cognitie vanwege verstikking.
- e) Pijn door het ervaren van hitte.

Indien de persoon niet zelfstandig kon vluchten, waar in het gebouw werd deze beslissing niet te vluchten genomen en op basis van welk nadelig effect? Indien er sprake is van aantasting van de gezondheid, in welke mate is dat (verzuim, letsel of dood) en wat was de doorslaggevende oorzaak: irritatie, verstikking of hitte?

Met deze aanpak kan onderzocht worden en welke cascade (ten opzichte van de brand) welk nadelig effect het meest maatgevend is bij het belemmeren van het vluchten en het aantasten van de gezondheid.

Dit kan vervolgens in verband gebracht worden met de locatie, aard en omvang van de brand. Maatregelen in het gebouw etc. Omdat de fysieke eigenschappen van de rook veranderen tijdens het verspreiden, kan het voorkomen dat het ene nadelige effect gehandhaafd blijft in de volgende cascade, terwijl het andere sterk afneemt.

Deze studie kan waardevolle informatie opleveren over de impact van rookverspreiding op de gebruikers van een gebouw.

## 1.5 Schade en onderbreking van de normale gang van zaken

De warmte van de brand kan materialen aantasten en verteren. De rook van brand kan materialen vervuilen tot het punt waarop ze niet meer bruikbaar zijn. Kortom: brand en rook kunnen schade aanrichten en leiden tot een onderbreking van de normale gang van zaken. Hoewel de begrippen 'schade' en 'onderbreking' gangbaar taalgebruik zijn, zijn ze niet duidelijk afgebakend. Er kan er overlap zijn in de betekenis en het één kan de oorzaak zijn van het ander. Schade is ernstiger als de schade onomkeerbaar is, zoals bij schade aan een monument, of bij verspreiding van gevaarlijke stoffen die zeer moeilijk biologisch afbreekbaar zijn. Bij onderbreking speelt de duur van de onderbreking een rol. Bij onderzoek en kwalificatie van de impactcriteria schade en onderbreking is het echter van belang om eenduidige definities te hanteren. Hieronder zijn daarom een aantal suggesties gedaan.

### 1.5.1 Materiële schade

Onder materiële schade wordt verstaan: vernietiging of aantasting van middelen, productiefaciliteiten, vee, gebouwen, terreinen of infrastructuur door de warmte en rook, waarbij sprake is van vroegtijdige afschrijving of waarbij een investering noodzakelijk is om deze middelen weer te kunnen gebruiken.



### 1.5.2 Milieuschade

Bij brand komen stoffen vrij die schadelijk zijn voor biodiversiteit, klimaat en leefbaarheid. De schade kan uitgedrukt worden in bijvoorbeeld de hoeveelheid geld die nodig is om de vervuiling tot een acceptabel niveau terug te brengen, of de ontwaarding van de grond door de vervuiling.

Bij een brand komt veel CO<sub>2</sub> vrij. De CO<sub>2</sub>-heffing van de Nederlandse Emissieautoriteit kan een maatstaf zijn voor de schade die de hoeveelheid CO<sub>2</sub> vertegenwoordigt.

### 1.5.3 Schade aan omzet, marktaandeel en reputatie

Onderbreking van de productie kan leiden tot verlies van omzet, marktaandeel en reputatie. Experts in de betreffende sector kunnen daar een waarde voor vaststellen.

### 1.5.4 Overlast

Door verschillende oorzaken kunnen middelen, productiefaciliteiten, gebouwen, terreinen of infrastructuur tijdelijk niet beschikbaar zijn:

- > Verspreiding van stoffen met eerdergenoemde schadelijke effecten op de gezondheid.
- > Geuroverlast door rook, die een verblijf onhoudbaar maakt.
- > Maatregelen getroffen door hulpverleners voor het bestrijden van het incident, zoals het afzetten van het werkgebied of het oproepen tot schuilen als de sirenes gaan.

De impact van het niet-beschikbaar zijn is dat de bewegingsvrijheid van mensen wordt aangetast en de dagelijkse routines worden onderbroken. Mensen staan vast in de file, kunnen bijvoorbeeld niet meer beschikken over hun eigen woning en voertuig of niet meer naar werk of opleiding. Overlast zou uitgedrukt kunnen worden als een functie van het aantal mensen dat betrokken is, de mate waarin bewegingsvrijheid is aangetast en de tijdsduur.

## 2 Ruimtelijke omvang

Het Cascademodel 2.0 is gebaseerd op ruimtelijke fases van brand: voorwerp, ruimte, verdieping en compartiment. Op de eerste plaats wordt daarmee onvoldoende onderscheid gemaakt tussen de brandstof en de verbrandingsreactie, zie hiervoor ook paragraaf 1.2.4. Bovendien is het lastig om een aantal cascades te vinden die uniform toepasbaar is op alle omstandigheden, gebruiksfuncties en onderzoeksdoeleinden. De ruimtelijke fasen in Cascademodel 2.0 kunnen bijvoorbeeld samenvallen of ontbreken in bepaalde gebruiksfuncties. In de doorontwikkeling naar Cascademodel 3.0 wordt hiertoe een mate van flexibiliteit gehanteerd. Er zijn daarvoor een aantal basiscascades ontwikkeld, die kunnen worden aangepast naarmate de gebruiksfunctie of de die situatie dit vereisen.

### 2.1 Thema's

In deze publicatie wordt gesteld dat afhankelijk van het doel en de omstandigheden mogelijk is cascades toe te voegen of weg te laten. De keuze kan onderbouwd worden op basis van een aantal thema's die hieronder genoemd worden.

#### 2.1.1 Barrière voor rook of warmte

Centraal in het cascademodel staat het gegeven dat een brand beperkt kan blijven tot een bepaalde cascade of dat de brand zich kan uitbreiden naar de volgende. Cascades kunnen gekozen worden aan de hand van de aanwezige barrières. Een barrière voor rook hoeft niet altijd een barrière voor warmte te zijn, of andersom. In sommige gevallen kan een barrière als onderdeel van de brandbestrijding ad hoc gecreëerd worden, bijvoorbeeld door brandstof weg te nemen of door een uitstroomopening voor rook te maken. Als een barrière ontbreekt of het ondenkbaar is dat deze ad hoc wordt aangebracht, dan is er in feite geen barrière en dus ook geen onderscheid tussen cascades.

#### 2.1.2 Gebruiksfunctie

Het aanbrengen van barrières om de verspreiding van rook en warmte te beperken, kan een onderdeel zijn van een brandveilig ontwerp. Het Bouwbesluit maakt onderscheid tussen verschillende gebruiksfuncties (logies, zorg, industrie et cetera) en binnen een dergelijke gebruiksfunctie worden over het algemeen dezelfde barrières toegepast. Bij vergelijkend onderzoek voor een bepaalde gebruiksfunctie kan het daarom zinvol zijn om binnen dat onderzoek dezelfde cascades te gebruiken.

Tegelijkertijd kan het misleidend zijn om dezelfde cascades te gebruiken bij de vergelijking van verschillende gebruiksfuncties.

#### 2.1.3 Verantwoordelijkheid en betrokkenheid

In de eerste plaats is de gebruiker zelf verantwoordelijk om brand te voorkomen. Als een brand dreigt te ontstaan of de brandomvang beperkt is, kan de gebruiker zelf ingrijpen met bijvoorbeeld kleine blusmiddelen. Als de gebruiker echter machteloos staat door de rook en warmte van een brand dan is optreden door de brandweer noodzakelijk.

Wanneer er grote maatschappelijke belangen op het spel staan als gevolg van de brand, is er sprake van crisisbeheersing.

Een cascade kan daarom gekozen worden op de plaats waar de verantwoordelijkheid over gaat van de burger naar de brandweer. Of andersom: het cascademodel wordt gebruikt om de plaats aan te wijzen waar dit gebeurt.

## 2.2 Basis-cascades en alternatieven

In deze paragraaf wordt een aantal basis-cascades gegeven. Ook wordt per basis-cascade een voorbeeld van alternatieve cascades aangedragen. Zoals vermeld in de vorige paragraaf, kan hieruit een set worden samengesteld, afhankelijk van doel en omstandigheden.

### 2.2.1 Trigger

In het Cascademodel 2.0 wordt het begrip 'trigger' gebruikt: "de aanleiding (...) die de fysische interactie mogelijk maakt (tussen brandstof, zuurstof en temperatuur), en daarmee het brandproces op gang brengt" (Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid, 2012, p.18). Daarbij wordt bovendien een onderscheid gemaakt tussen moedwillig en niet-moedwillig.

In het Cascademodel 3.0 wordt een voorstadium van brand toegevoegd. De trigger verschuift daarom naar 'de aanleiding van de aantasting'. De trigger is de omstandigheid dat een voorwerp wordt blootgesteld aan warmte op een manier die niet de bedoeling is of niet voorzien is. Een trigger kan zijn een storing, een defect of verkeerd gebruik van elektrische apparaten, of weersinvloeden. Ook een pan onbewaakt op het vuur laten staan kan worden beschouwd als een trigger. Daarbij kan er sprake zijn van opzet. Bij aanhoudende blootstelling aan warmte kan materiaal in een voorwerp aangetast worden. Hier wordt in de volgende paragraaf nader op ingegaan.

De trigger valt volledig onder de verantwoordelijkheid van de gebruiker, maar bij de bestrijding van de impact van een trigger kan sprake zijn van brandweezorg of crisisbeheersing. Een trigger hoeft niet te leiden tot impact (van brand). Het voorval kan zelfs onopgemerkt blijven. Het opsporen van triggers is een manier om brand te voorkómen. Denk daarbij bijvoorbeeld aan thermografie van een elektrische installatie.

### 2.2.2 Aantasting

Er is sprake van brand en brandweezorg vanaf het moment dat een voorwerp in brand staat. Er is echter ook nog een voorstadium van brand waarbij bijvoorbeeld schade kan ontstaan en veel rook kan vrijkomen zonder dat er sprake is van brand. Uit cijfers van de brandverzekeraars blijkt dat het aantal gemelde brandschades veel groter is dan het aantal uitrukken van de brandweer. Daarnaast is het gemiddelde geclaimde bedrag vrij laag: circa 1000 euro. Waarschijnlijk is hier sprake van alleen het voorstadium van brand of 'voorwerp in brand' (Verbond van Verzekeraars, 2016).

Om onderscheid te kunnen maken tussen het voorstadium van brand en het voorwerp in brand wordt vanaf Cascademodel 3.0 de cascade 'aantasting' toegevoegd. Met 'aantasting' wordt bedoeld: er is een beperkte en lokale<sup>2</sup> schade ontstaan door de warmte die vrijkwam

<sup>2</sup> Bij een zeer grote 'aantasting', bijvoorbeeld een aantasting die het gehele oppervlak van een voorwerp betreft, kan veel rook ontstaan. Daarom kan brandweezorg toch noodzakelijk zijn.

naar aanleiding van een trigger. Er is nog geen sprake van brand en brandweezorg. Het is van belang om onderscheid te maken tussen de:

- > trigger (zie vorige paragraaf): de omstandigheden die leiden tot het voorstadium van brand, en de
- > aantasting: de eerste manifestatie van schade door warmte.

Pas bij de cascade 'aantasting' is er sprake van een irreversibel effect veroorzaakt door warmte, dat bovendien een ruimtelijke dimensie heeft, net als de andere cascades. De voorliggende 'trigger' is geen ruimtelijke grootte en wordt daarom weggelaten bij het afbeelden van het cascademodel, net als in Cascademodel 2.0. In het Cascademodel 3.0 wordt de cascade 'aantasting' gezien als een bijna-ongeval en de eerste relevante ongewenste gebeurtenis in de toedracht van een brand. Deze cascade mag daarom niet ontbreken bij het samenstellen van een set cascades. De 'trigger' bestaat uit de omstandigheden die leidden tot het 'bijna ongeval'.

Bij aantasting kan sprake zijn van bijvoorbeeld alleen smelten of verkleuren van het voorwerp. Omdat er nog geen sprake is van een verbrandingsreactie, krijgt de cascade 'aantasting' het nummer 0. In de cascade 'aantasting' is materiaal aangetast, waarbij rook kan vrijkomen. Een aantasting, zoals bijvoorbeeld het kromtrekken van een pan die is vergeten op het vuur, kan ertoe leiden dat het voorwerp als verloren beschouwd moet worden. De schade is in dit voorbeeld waarschijnlijk beperkt tot de waarde van de pan. Omdat het voorwerp nog niet gebrand heeft, is er nog geen sprake van brand. Een voorbeeld van een aantasting is een proefbrand voor het functioneel testen van een automatische brandmeldinstallatie. Deze is gebaseerd op de aantasting van beukenhouten blokjes door verhitting op een kookplaat.

Het onderscheid tussen 'aantasting' (geen brand) en 'voorwerp in brand' komt ook goed overeen met de definitie die door de brandverzekeraars wordt gebruikt. In de Nederlandse Beursvoorwaarden Brandverzekering (2006) staat: "Derhalve is onder andere geen brand;

- > zengen, schroeien, smelten, verkolen, broeien;
- > doorbranden van elektrische apparaten en motoren;
- > oververhitten, doorbranden, doorbreken van ovens en ketels."

### 2.2.3 Voorwerp in brand

De eerste cascade is 'voorwerp in brand'. Deze aanduiding kan gebruikt worden om bijvoorbeeld aan te geven dat het voorwerp de brandstof vormde voor de brand. Zie ook de definitie in paragraaf 1.2.4 "de cascade van de brandstof". Met 'voorwerp' kunnen verschillende dingen bedoeld worden:

- > losse objecten die normaal gesproken door mensen meegenomen of verplaatst kunnen worden
- > meubels, witgoed, elektronische apparatuur
- > decoratiematerialen zoals tapijt of gordijnen.

#### Alternatieven voor 'voorwerp'

Als de cascade 'voorwerp in brand' niet bruikbaar is, kan deze vervangen worden door een alternatief of weggelaten worden. Hieronder staan een aantal voorbeelden van alternatieven.

Onderwerp / gebruiksfunctie	Voorbeeld cascade
Parkeergarage	Motorcompartiment, interieur
Industrie	Verpakking

### 2.2.4 Ruimte in brand

De tweede cascade is 'ruimte'. In het cascademodel wordt met 'ruimte' bedoeld: een ruimte gericht op het verblijven van mensen. Over het algemeen heeft de ruimte een deur die uitkomt op een halletje of gang. Als de ruimte overeenkomt met het compartiment, zoals bijvoorbeeld bij een open industriehal, is het beter om voor de cascade 'compartiment' te kiezen.

#### Alternatieven voor 'ruimte'

Als de cascade 'ruimte in brand' niet bruikbaar is, kan deze vervangen worden door een alternatief of weggelaten worden. Hieronder staan een aantal voorbeelden van alternatieven.

Onderwerp / gebruiksfunctie	Voorbeeld cascade
Parkeergarage	Voertuig <sup>3</sup>
Gevangenis / hotel	Cel of hotelkamer, inclusief toiletruimte <sup>4</sup>
Industrie	Opslag, stelling

Over het algemeen is een ruimte in brand te blussen met de slagkracht van één TS. Als het ondenkbaar is dat iets te blussen is met de slagkracht van één TS, is het wellicht beter om te kiezen voor de cascade 'verdieping' of 'compartiment'.

### 2.2.5 Verdieping in brand

Indien een compartiment meerdere verdiepingen bevat, kan het zinvol zijn om een cascade toe te voegen tussen 'ruimte' en 'compartiment'. Bij grotere gebouwen is een verdieping al snel gelijk aan een compartiment en kan deze cascade weggelaten worden.

### 2.2.6 Compartiment in brand

Deze cascade komt overeen met de definitie van 'brandcompartiment' in het Bouwbesluit. Er hoeft niet altijd een brandwerende scheiding aanwezig te zijn; soms volstaat bijvoorbeeld de afstand tot de erfgrans om overslag tegen te gaan.

<sup>3</sup> Bij elke keuze zijn er argumenten te bedenken waarom iets wel of niet tot een bepaalde cascade behoort of daarmee te vergelijken is. In dit geval wordt 'voertuig' gelijk gesteld aan ruimte omdat:

- 1) Een voertuig te groot is om door menskracht te worden verplaatst.
- 2) Een voertuig niet met kleine blusmiddelen te blussen is.
- 3) De parkeergarage als geheel waarschijnlijk overeenkomt met de volgende cascade: 'compartiment'.

<sup>4</sup> Een ruimte kan uitgevoerd zijn als een beschermd subbrandcompartiment, bijvoorbeeld bij de gebruiksfuncties logies, zorg en cel. Een beschermd subbrandcompartiment wordt beschouwd als 'ruimte' en niet als 'compartiment', ook al is er soms sprake van een aparte badkamer, halletje of inloopkast binnen het beschermde subbrandcompartiment.

Voorbeelden van 'compartiment' zijn:

- > Afsluitbare woning, winkel of bedrijf. In dat geval komt het vaak overeen met een adresseerbaar object zoals bedoeld in de basisadministratie adressen en gebouwen (BAG). Het compartiment heeft dan ook een eigen adres (straatnaam + huisnummer).
- > Aparte activiteit of gebruiksfunctie in een afgebakend gebied in een gebouw. Denk daarbij aan een afdeling in een ziekenhuis, of een vleugel of verdieping in een hotel. De betreffende afdeling heeft vaak een eigen naam.

### 2.2.7 Gebouw in brand

Indien een gebouw is opgebouwd uit meerdere compartimenten is het zinvol om onderscheid te maken tussen 'gebouw' en 'compartiment'. De cascade 'gebouw' zal vaak overeenkomen met 'pand' in de zin van de BAG. Een rij van rijtjeshuizen kan in het licht van het Cascademodel 3.0 ook beschouwd worden als een gebouw.

Een losstaande woning of klein bedrijf bestaat vaak uit één compartiment. Met name bij registratie en statistische analyses is het van belang om consequent om te gaan met het onderscheid tussen compartiment en gebouw.<sup>5</sup>

### 2.2.8 Omgeving

Als alternatief voor de cascade 'buiten compartiment' uit Cascademodel 2.0 (Instituut Fysieke Veiligheid, 2012) kan de cascade 'omgeving in brand' gebruikt worden. Er is sprake van 'omgeving in brand' als brandstof in de omgeving een energetische bijdrage geleverd heeft.

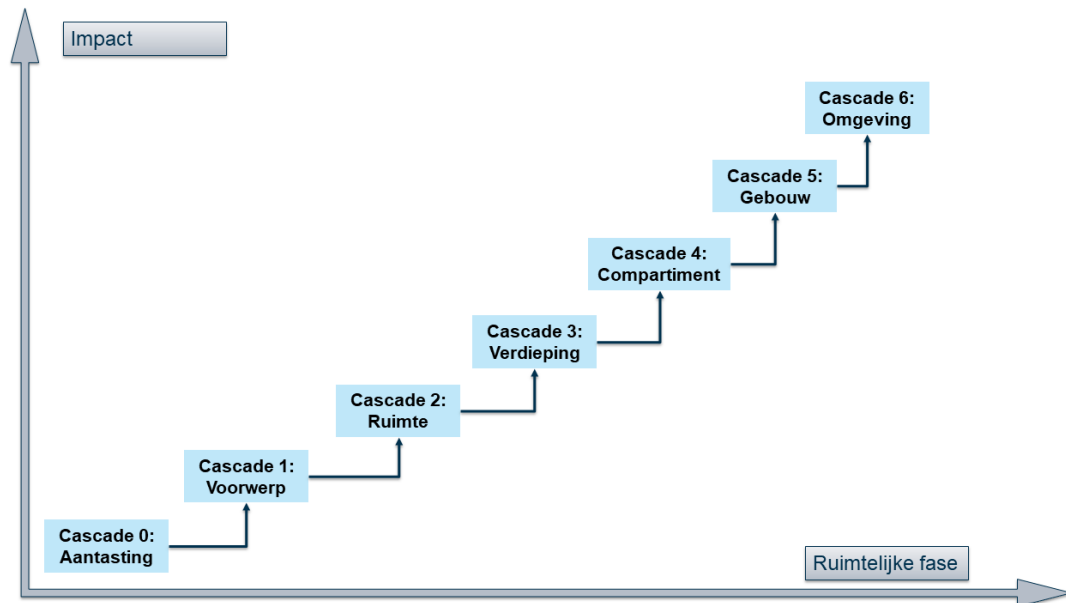
Dankzij deze definitie is het duidelijk dat bij een uitslaande brand niet noodzakelijk sprake is van 'buiten compartiment', ook al zijn er vuurverschijnselen buiten het compartiment.

---

<sup>5</sup> Woningen en gebouwen voor kleinbedrijf zijn over het algemeen uitgevoerd als één compartiment. Een losstaande woning of bedrijfshal kan dan gezien worden als 'compartiment' of als 'gebouw'. Een dergelijke woning of hal heeft meer overeenkomsten met 'één compartiment' dan met 'één gebouw opgebouwd uit meerdere compartimenten'. Bij vergelijkend onderzoek kan deze woning of hal beter vergeleken worden met andere branden in een compartiment dan met branden in gebouwen opgebouwd uit compartimenten. De auteurs adviseren daarom om de cascade 'gebouw' te reserveren voor gebouwen die opgebouwd zijn uit meerdere compartimenten. Een brand in een gebouw dat is opgebouwd uit één compartiment wordt dan geregistreerd als 'compartiment in brand'.

# 3 Cascademodel

Worden de in hoofdstuk 1, 2 en 3 genoemde elementen impact, ruimtelijk omvang en vlinderdas samengevoegd, ontstaat het Cascademodel 3.0. Op de verticale as staat de impact van de brand. Op de horizontale as is de ruimtelijke fase of omvang geplaatst. In het model bevinden zich de cascades. Zie Figuur 3.1 hieronder.



**Figuur 3.1 Generiek cascademodel**

Afhankelijk van het gekozen impactcriterium kan de plaats van de cascade in relatie tot de verticale as verschillen. Hoe groter het verschil in impact tussen bijvoorbeeld een voorwerp en ruimte, hoe groter het verschil in afstand tussen beide cascades. Eenzelfde redenatie geldt voor de omvang: hoe groter het fysieke verschil tussen cascades, hoe groter de afstand tussen beide ten opzichte van de horizontale as.

Het cascademodel bestaat uit de zeven cascades die zijn besproken in hoofdstuk 2. Dit model kan gezien worden als het basis-cascademodel:

- > Cascade 0: aantasting
- > Cascade 1: voorwerp
- > Cascade 2: ruimte
- > Cascade 3: verdieping
- > Cascade 4: compartiment
- > Cascade 5: gebouw
- > Cascade 6: omgeving.



# 4 Maatwerk-cascademodel

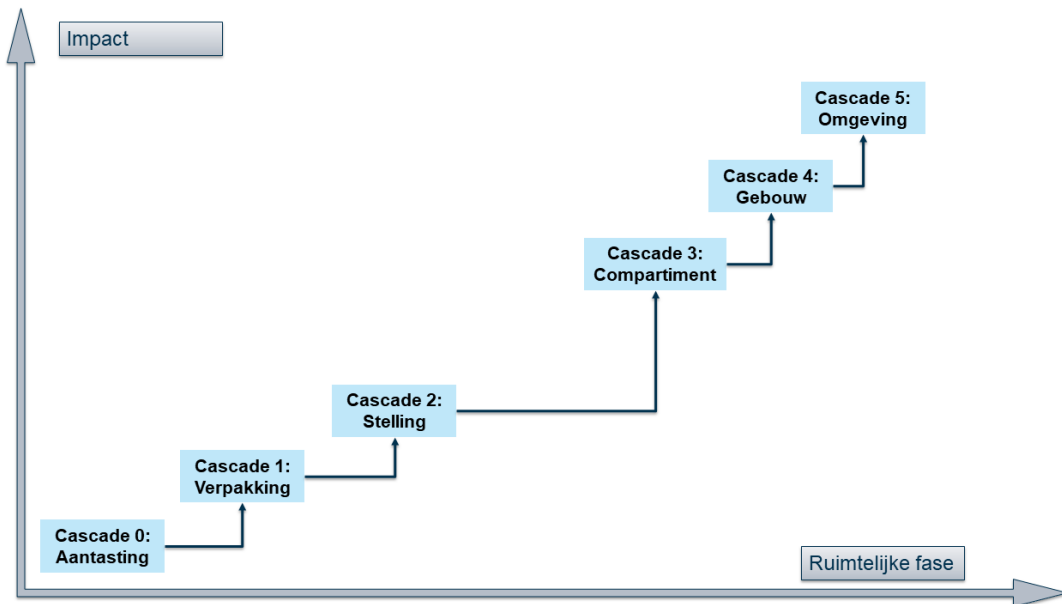
In hoofdstuk 4 is het basis-cascademodel weergegeven. Dit model omvat een zevental basiscascades die generiek toepasbaar zijn. Bij verschillende gebruiksfuncties kan het in sommige gevallen handig of noodzakelijk zijn om maatwerk cascades toe te passen. In dit hoofdstuk wordt voor een aantal onderwerpen voorbeelden gegeven hoe in die gevallen het cascademodel toegepast kan worden.

## 4.1 Woning

In geval van een woning kan er sprake zijn van een samenvoeging van de cascades 'compartiment' en 'gebouw'. Immers, een vrijstaande woning is een gebouw op zich en bestaat niet uit meerdere brandcompartimenten. In andere gevallen, bijvoorbeeld een rijtjeswoning, kan het blok van woningen als een gebouw worden gezien, met de verschillende woningen als individuele compartimenten. Daarmee kan het in geval van bespreking van een individuele casus mogelijk zijn de cascade 'gebouw' uit het cascademodel van een woning weg te laten.

## 4.2 Industriebal

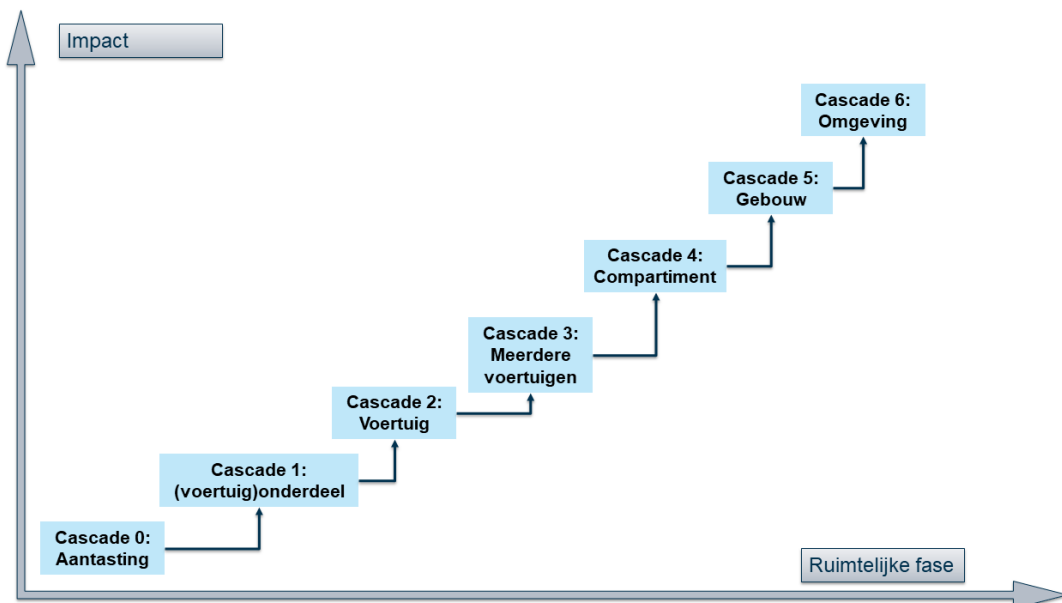
Figuur 4.1 op de volgende pagina geeft een voorbeeld van een losstaande industriebal, bestaande uit meerdere compartimenten. In dit voorbeeld is het voorwerp het meest voorkomende object binnen de betreffende industriebal: een verpakking. Deze verpakking bevindt zich in een volgende cascade: de stelling. Vanaf een stelling is de eerstvolgende ruimtelijke fase het compartiment waarin deze stelling zich bevindt. Dit compartiment is gelegen in het gebouw, de volgende cascade. De laatste cascade is de omgeving. Omdat een industriebal veelal geen verdiepingen kent, kan deze cascade worden weggelaten in dit specifieke cascademodel.



**Figuur 4.1 Cascademodel voor industriehal.**

### 4.3 Parkeergarage

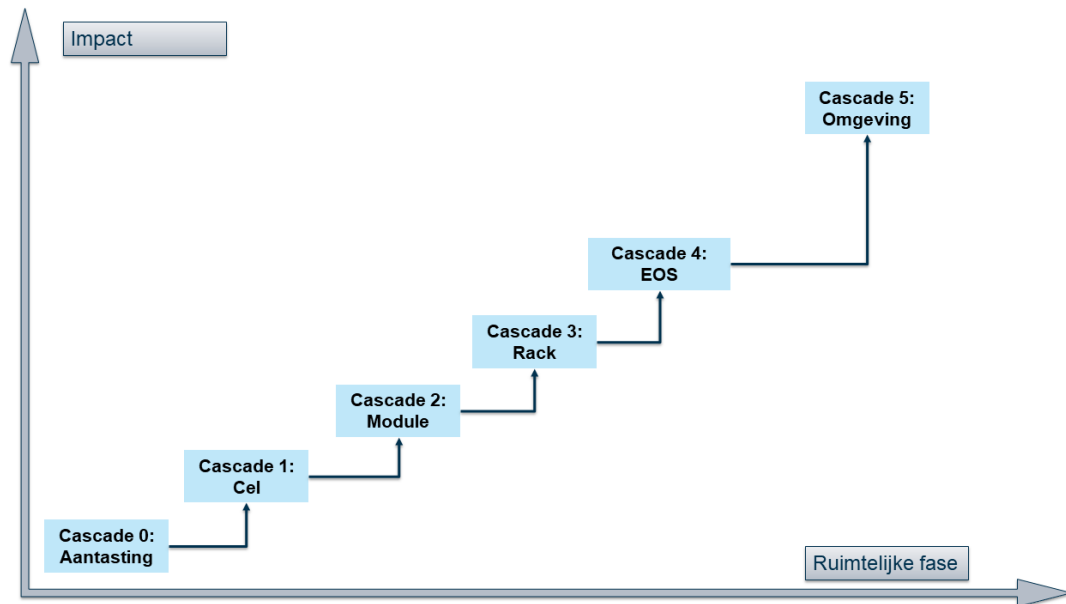
Voor een parkeergarage is een voorbeeld weergegeven in figuur 4.2 op de volgende pagina. Bij een parkeergarage kunnen de cascades aansluiting zoeken bij het brandverloop van een brand in de parkeergarage. De brand begint in de eerste cascade, een voertuigonderdeel. Vervolgens breidt de brand zich uit naar één voertuig. De brand kan zich daarna verspreiden naar meerdere voertuigen. De volgende ruimtelijke fase betreft het compartiment. Indien de parkeergarage onderdeel is van een gebouw of uit meerdere compartimenten bestaat, omhelst het cascademodel voor parkeergarages ook de cascade gebouw. De laatste cascade betreft de omgeving.



**Figuur 4.2 Cascademodel voor parkeergarage**

## 4.4 Elektriciteit Opslag Systeem (EOS)

Het cascademodel kan eveneens worden gemaakt om een brand in een Energie Opslag Systeem (EOS), ook wel bekend als de 'buurtbatterij', te kunnen analyseren. Bij een EOS sluiten de cascades aan bij de opbouw van het systeem. De eerste cascade betreft het kleinst mogelijke ruimtelijke niveau in een EOS: de individuele batterijcel. Deze cellen bevinden zich in de volgende cascade: een module. Meerdere modules samen vormen een 'rack' vol modules. Het EOS is opgebouwd uit meerdere van deze 'racks'. Op de volgende pagina staat een voorbeeldcascade voor een EOS (figuur 4.3).



Figuur 4.3 Cascademodel voor een EOS

## 4.5 Branden met een zeer groot oppervlak

Bij het bestuderen en modelleren van een natuurbrand zijn de cascades die genoemd zijn in dit hoofdstuk niet bruikbaar. Daarvoor kunnen andere afspraken gemaakt worden over de duiding van stapsgewijze uitbreiding.

Branden in zeer grote bulkopslag kunnen misschien vergeleken worden met een gebouwbrand. De relatieve afbrandsnelheid in een bulkopslag is echter veel lager dan in een gebouw, vanwege de verhouding tussen oppervlak en volume (zie ook bijlage 1).

Bij stadsbranden kunnen reeds bestaande afbakeningen zoals straat, wijk, postcodegebied et cetera gebruikt worden.

# 5 Brandweezorg

Het cascademodel bestaat enerzijds uit de cascades (hoofdstuk 2) en anderzijds beschrijft het de wijze waarop brand in de ene cascade kan leiden tot brand in de volgende (hoofdstuk 1). Het doel van brandweezorg, voor zover deze is gericht op 'brand', is het voorkomen van uitbreiding van de ene naar de andere cascade en de gevolgen van een brand in een bepaalde cascade te beperken. Dit uit zich in diverse maatregelen, waarvan ook vaak in één oogopslag duidelijk is, wat hun plek is in het cascademodel. Het cascademodel kan daarom ook gebruikt worden om brandweezorg beter te definiëren en in te richten.

## 5.1 Definities

Brandweezorg bestaat uit voorkomen dat brand ontstaat, het beperken van brand en het bestrijden ervan, en het beperken van de gevolgen van brand. In het cascademodel wordt duidelijk dat het bestrijden van brand in de ene cascade vanzelf inhoudt dat brand in de volgende voorkómen wordt. Het Cascademodel 3.0 biedt daarom een kans om de termen 'voorkomen', 'bestrijden' en 'beperken' nader te definiëren. Hieronder een voorstel.

### 5.1.1 Het voorkomen van brand

Het voorkomen van brand bestaat uit de volgende maatregelen:

- > Het voorkomen dat er sprake is van een trigger. Dit heeft te maken met
  - veilig ontwerp en gebruik
  - toezicht op brandstichting.
- > Het voorkomen dat een trigger leidt tot een aantasting door:
  - tijdig opmerken van storingen
  - scheiden van activiteiten.
- > Het voorkomen dat een aantasting leidt tot 'brand in voorwerp' door:
  - het bijtijds opmerken van een aantasting. Automatische detectie helpt daarbij, mits er een slagvaardige interne organisatie is.
  - maatregelen te treffen in de voorwerpen die in brand kunnen raken bij een aantasting. Denk daarbij bijvoorbeeld aan de toepassing van brandvertragers.

Alle maatregelen die getroffen worden vanaf het moment dat er brand in een voorwerp is, vallen onder 'beperken van brand', 'bestrijden van brand' of 'beperken van gevolgen van brand'.

### 5.1.2 Beperken van brand

Bouwkundige brandpreventieve voorzieningen zoals de brandwerende scheiding zijn gericht op het beperken van branduitbreiding. De brandwerende scheiding doet dat door te voorkomen dat warmte overgedragen kan worden van de ene cascade naar de volgende.

Een 'compartimentsgrens' kan worden toegepast na ruimte, verdieping, bouwdeel of gebouw. De ligging van compartimenten is afhankelijk van de gebruiksfunctie en dus eigenlijk van het veronderstelde risico en het ongewenste scenario in het betreffende object.

Afhankelijk van de cascade waar de compartimentsgrens is toegepast, kunnen de uitvoering en de waarde van de wdbdo van de compartimentsgrens heel anders zijn.

### 5.1.3 Bestrijden van brand

Alles wat zich direct richt op brand en het voorkomen van branduitbreiding wordt 'brandbestrijding' genoemd. Dit kunnen zijn het optreden van de gebruiker met kleine blusmiddelen, brandweeroptreden of gebouwgebonden voorzieningen zoals een automatische blusinstallatie.

Brandbestrijding kan bestaan uit een offensieve of een defensieve blusmethode<sup>6</sup>:

1. Een offensieve blusmethode is gericht op de cascade waar de brand zich in bevindt. In geval van de offensieve blusmethode wordt er bijvoorbeeld blusmiddel geworpen op de brandhaard, wordt de zuurstoftoevoer naar de brandhaard beperkt, wordt de brandstof die op dat moment een bijdrage levert aan de brand gekoeld of weggenomen, en worden brandbare rook of warmte afgevoerd door te ventileren in de cascade waar de brand is. De offensieve blusmethode richt zich op de bron van de warmte en brandbare rook.
2. Een defensieve blusmethode gericht op de verdediging van de cascade waar de brand zich naar uit dreigt te breiden. In dit geval wordt bijvoorbeeld de cascade preventief gekoeld met blusmiddel, wordt brandstof die nog geen bijdrage heeft geleverd weggenomen of beschermd en wordt de toevoer van brandbare rook verhinderd, bijvoorbeeld door overdruk aan te brengen in de cascade die nog niet betrokken is bij de brand.

In het Cascademodel 3.0 wordt als uitgangspunt aangehouden dat zowel de offensieve als de defensieve blusmethode gericht zijn op het beperken van de gevolgen van de brand in de betreffende cascade.

### Koelen

Als koelen gebruikt wordt als strategie is er een belangrijk onderscheid tussen de offensieve en defensieve methode. In geval van de offensieve methode moet de energiehuishouding van de brand verstoord worden. In geval van de defensieve methode is verstoring van de energiehuishouding van de brand geen voorwaarde voor succes.

### 5.1.4 Beperken van de overige gevolgen van brand

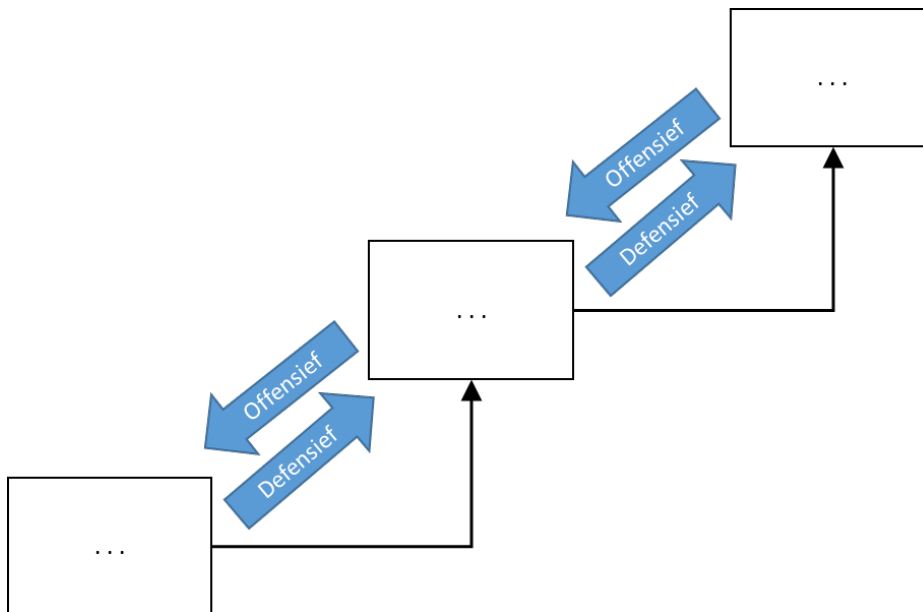
Het redden of ondersteunen van vluchten of maatregelen zoals schuilen, ontruimen of evacueren zijn gericht op het beperken van de gevolgen van brand, zonder dat er sprake is van brandbestrijding.

### 5.1.5 Offensief en defensief

De offensieve of defensieve methode kan gecombineerd worden met elke overgang tussen cascades in het cascademodel (zie Figuur 5.1). Bij bijvoorbeeld 'ruimte in brand' kan een offensieve blusmethode gericht zijn op de ruimte, en kan de defensieve blusmethode gericht zijn op het compartiment. Bij 'compartiment in brand' kan een offensieve blusmethode gericht zijn op het compartiment en de defensieve blusmethode op het naastgelegen compartiment, et cetera.

---

<sup>6</sup> In de volgende paragraaf wordt onderzocht wat de relatie is tussen *methode* en de 'offensieve' of 'defensieve' inzet uit het kwadrantenmodel.



**Figuur 5.1** Offensieve of defensieve inzet op verschillende plekken in het cascademodel

### 5.1.6 Het kwadrantenmodel

Het kwadrantenmodel (Brandweeracademie, 2014) combineert 'offensief' en 'defensief' met de termen 'binneninzet' en 'buiteninzet' en komt zo tot vier begrippen.

- > Defensief buiten: "Het brandweerpersoneel wordt ingezet buiten het gebouw, buiten de valschaduw." (Brandweeracademie, 2014, p.17)
- > Offensief buiten: "Ook bij de offensieve buiteninzet wordt het brandweerpersoneel ingezet buiten het gebouw, maar binnen de valschaduw daarvan." (Brandweeracademie, 2014, p.18)
- > Defensief binnen: "Bij een defensieve binneninzet wordt het brandweerpersoneel ingezet binnen in het gebouw, in een naastgelegen (sub)brandcompartiment." (Brandweeracademie, 2014, p.19)
- > Offensief binnen: "Het brandweerpersoneel wordt ingezet in het gebouw, binnen het brandcompartiment." (Brandweeracademie, 2014, p.20)

Deze termen slaan niet zozeer op een cascade, als wel op de plek vanaf waar veilig een inzet kan plaatsvinden. Vanaf een 'defensieve' plek zou bij wijze van spreken een 'offensieve' aanvalsstrategie kunnen worden ingezet. De twee begrippen spreken elkaar niet tegen, ze hebben een andere betekenis in een andere context.

Met het Cascademodel 3.0 kan het doel van de inzet gerelateerd worden aan de maatschappelijke impact die op het spel staat. Daardoor kan Cascademodel 3.0 helpen bij het nog beter verbinden van de strategische, tactische en operationele doctrine (hoofdstuk 1 van het kwadrantenmodel 2014).

## 5.2 Interventiemogelijkheden

De maatregelen die de brandweer neemt om het risico van brand te verminderen, hangen steeds samen met een plaats in het cascademodel. Zo adviseert de brandweer maatregelen om te voorkomen dat een voorwerp aangetast raakt door gebruikers te vragen om te controleren of de keurmerken in orde zijn. Ook ondersteunt de brandweer bij het verminderen van de effecten van brand door bedrijven en instellingen te ondersteunen bij (ontruimings)oefeningen. Daarnaast treedt de brandweer repressief op om te voorkomen dat de brand zich verder uitbreidt.

De maatregelen die de brandweer neemt zijn kans- en effectreducerend; incidentbestrijding voorkomt daarbij geen branden. De maatregelen richten zich alleen op vermindering van de effecten, zoals het voorkomen van uitbreiding en blussen van de brand. De maatregelen vanuit het domein Risicobeheersing kunnen zowel een kans- als effectreducerend karakter hebben. In Figuur 5.2 op de volgende pagina is weergegeven waar in het cascademodel de brandweer invloed uitoefent. Risicobeheersing bestaat daarbij vanuit het perspectief van de brandweer uit drie delen:

- > adviseren van het bevoegd gezag bij toezicht en toetsing
- > zelfstandig toezicht zoals bij bedrijfsbrandweren
- > Brandveilig Leven.

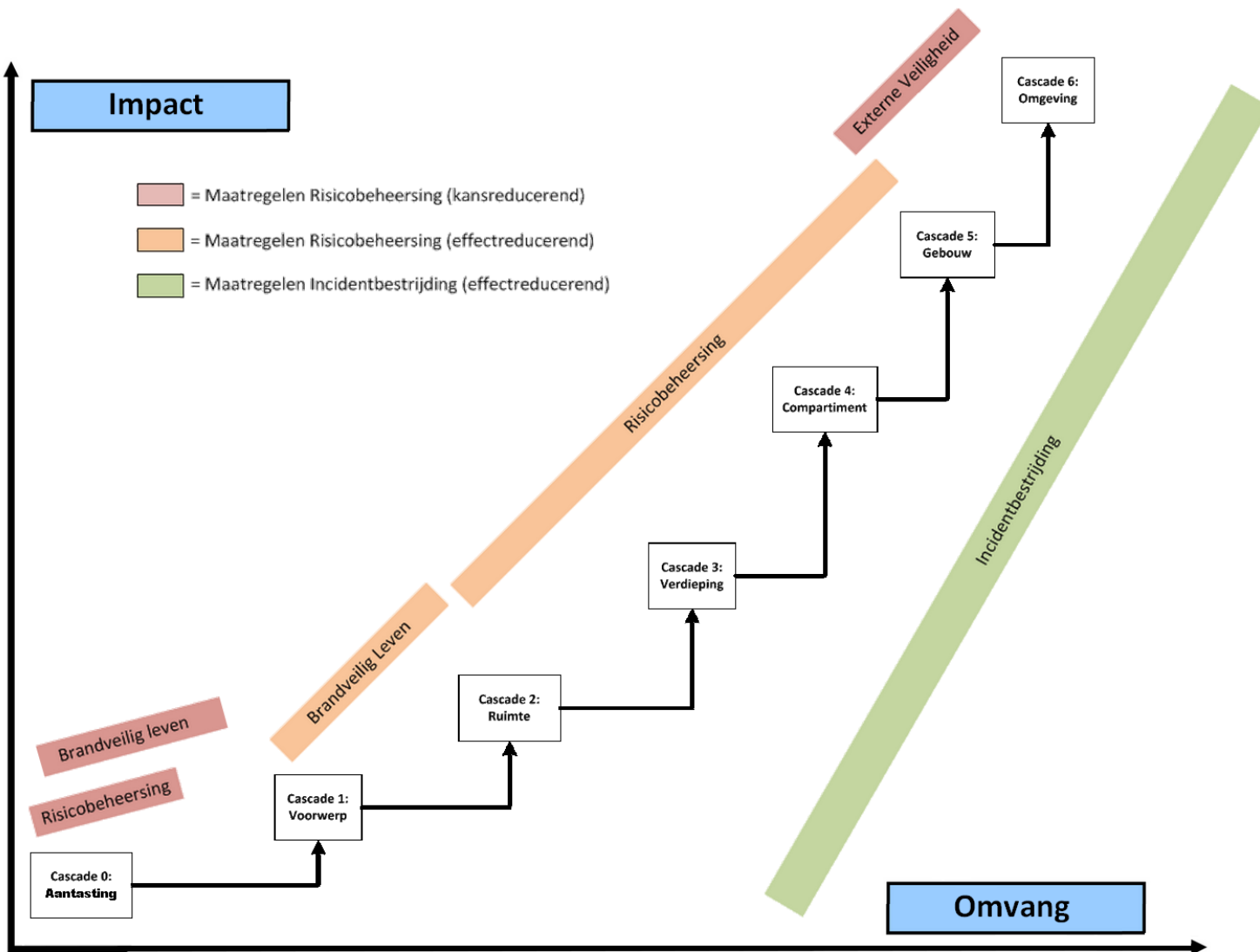
Beginnend in de cascade 'aantasting' kan de brandweer invloed uitoefenen in het verloop van een brand. Via toetsing en toezicht, taken die deels ook door gemeentes en omgevingsdiensten worden uitgevoerd, wordt vanuit de wettelijke taak van de brandweer invloed uitgeoefend op cascade 0. Ook vanuit Brandveilig Leven wordt kansreductie uitgevoerd in cascade 0.

In de eerste cascade heeft Brandveilig Leven een effectreducerende rol, net als in de tweede cascade. Vanaf cascade 2 tot en met cascade 5 gaan bouwplantoetsing en toezicht samen met incidentbestrijding een effectreducerende rol vervullen.

Hieruit valt af te leiden dat er een kantelmoment, de 'knip', zit bij het daadwerkelijk ontstaan van brand in cascade 1. Voor dit punt is de brandweer bezig met kansreductie vanuit de werkzaamheden binnen het domein Risicobeheersing. Als de brand eenmaal is uitgebroken, kan het effect met maatregelen uit zowel het domein Risicobeheersing als vanuit het domein Incidentbestrijding worden gereduceerd.







Figuur 5.2 Cascademodel en interventiemogelijkheden brandweer

## 5.3 Restrisico

Het plegen van interventies van de brandweer in het cascademodel om escalatie te voorkomen, biedt geen volledige garantie op succes. Maatregelen kunnen falen en voorzieningen kunnen niet op orde zijn. Er bestaat dus een restrisico. Er gaat daarom, indien er niet wordt gekozen voor acceptatie van het restrisico, inspanning zitten in het verminderen van de risico's. Risicomanagement kent volgens de theorie van Kinney & Wiruth (1976) een drietal basiseigenschappen:

1. Het risico kan nooit volledig worden geëlimineerd.
2. Zorgvuldigheid en inspanning kunnen het risico verminderen.
3. Inspanningen die het risico verminderen moeten zoveel mogelijk voordelen bereiken.

In dit kader is de eerste basiseigenschap van risicomanagement van belang: hoe erg de brandweer zich ook inspant voor vermindering van het risico op brand, zij kan het uitbreken van brand nooit volledig voorkomen. Dit houdt concreet in dat er niet alleen maar ingezet moet worden op de 'voorkant' van de keten, maar er altijd een repressief vangnet moet bestaan om een incident te bestrijden. De keuzes die hierbij gemaakt worden, brengen altijd een restrisico met zich mee. Immers, doordat de brandweer maar een relatief beperkte capaciteit heeft, valt niet elk risico door af te dekken. Hierbij dient ook rekening te worden gehouden met de impact van het restrisico. Het restrisico op branduitbreiding naar een naastgelegen perceel kan erg klein zijn, terwijl de impact op de omgeving juist erg groot is.

De vraag die de brandweer zich moet stellen is daarom niet zozeer een bedrijfskundig vraagstuk (hoe zet ik mijn capaciteit het beste in?), maar een maatschappelijk en juridisch vraagstuk: wat is een acceptabel (rest)risico? Pas als deze vraag is beantwoord, kan er op het bedrijfskundige vraagstuk antwoord worden gegeven. Zonder bepaling van een acceptabel restrisico is er immers geen duidelijk doel waarop de brandweer zich kan focussen.

## 5.4 Productencatalogus

Een productencatalogus is een overzicht van alle producten en diensten die een veiligheidsregio of korps levert. De catalogus kan gebruikt worden om processen te verbeteren, verantwoordelijkheden en budget toe te wijzen (hoeveel kost iets eigenlijk?) en over prestaties te rapporteren.

Het cascademodel leent zich uitstekend om de diverse producten en diensten te rubriceren. Een brandweerinzet is immers duidelijk gericht op een interventie tussen de cascade waar de brand is en de cascades die beschermd moeten worden. Welke mensen, kennis, middelen zijn nodig om deze interventie uit te voeren?

## 5.5 Brandvermogen

Bij brand zal het incident in de meeste gevallen worden bestreden met water. Echter, niet elke brand is hetzelfde: de hoeveelheid energie die bij een brand vrij komt, het brandvermogen, hangt af van de omvang van de brand. Het geeft daarmee voor de brandweer een groot verschil in de benodigde bluscapaciteit of sprake is van een brand in een voorwerp of van een brand in

een compartiment. Het Cascademodel 3.0 biedt duiding aan deze brandvermogens. De benodigde bluscapaciteit vervolgens is te koppelen aan het cascademodel. Hierdoor wordt het een hulpmiddel om de benodigde bluscapaciteit per cascade te bepalen, zowel voor bevelvoerders en Officieren van Dienst als voor brandweercentralisten.

**Tabel 5.1 Waarden HRR/m<sup>2</sup>**

Object	HRR/m <sup>2</sup>
Woning	0,25 MW/m <sup>2</sup>
Bedrijven	0,50 MW/m <sup>2</sup>

Onderzoek heeft inzicht opgeleverd in de Heat Release Rate (HRR) waarden van zowel woningen als bedrijven (Brandweeracademie, 2018a; Nederlands Normalisatie-instituut, 2007). De belangrijkste twee waarden, die voor woningen en bedrijven, zijn weergegeven in Tabel 5.1. Daarnaast heeft dit onderzoek inzicht vergaard in het koelend vermogen van een straal hoge druk (HD) en lage druk (LD). Het koelend vermogen van een straal HD bedraagt 2,5 MW, uitgaande van een debiet van 125 liter per minuut. Het koelend vermogen van LD bedraagt 10 MW bij een debiet van 450 liter per minuut. Bij deze waarden dient te worden opgemerkt dat het gaat om gemiddeldes. In geval van een brand kunnen de waarden van de HRR verschillen vertonen, afhankelijk van bijvoorbeeld de opgeslagen spullen en eventueel aanwezige brandversnellers. Het koelend vermogen is afhankelijk van het debiet van de straalpijp, waarbij het debiet wordt bepaald door de straalpijpvoerder.

Bij een woning van 40m<sup>2</sup> is er dus sprake van een potentiële vuurlast van 10 MW. Dit betekent dat het incident met één straal LD of vier stralen HD kan worden bestreden. Bij een brandcompartiment met een omvang van 1000m<sup>2</sup> zou dit betekenen dat er 50 stralen LD ingezet moeten worden om de brand volledig te doven indien het gehele compartiment in brand staat. Mede omdat dit geen praktisch haalbare hoeveelheid is, wordt ervoor gekozen om een compartiment te laten uitbranden en belendende compartimenten af te schermen. Er vindt op dat moment een schakelmoment plaats: indien de hoeveelheid koelend vermogen niet toereikend is voor het brandvermogen, wordt gekozen voor defensief optreden (Brandweeracademie, 2018a).

### 5.5.1 Brandvermogen per cascade

Indien het brandvermogen wordt afgezet tegen de cascades, valt er op basis van gemiddelden en het Bouwbesluit een uitspraak te doen over het te verwachten brandvermogen. Bij 'brand in een voorwerp' zal de oppervlakte niet groter zijn dan 3 vierkante meter. Wat betreft de 'brand in een ruimte' valt geen uitspraak te doen over de omvang, omdat de omvang van de ruimte sterk samenhangt met de gebruiksfunctie. Zo zal de gemiddelde ruimte in een woning kleiner zijn dan in een bedrijfspand. Er zijn echter geen vastgestelde eisen waar een ruimte aan moet voldoen. Bij de cascade 'brand in bouwdeel', zijn er in het Bouwbesluit maximale oppervlaktes per compartiment vastgesteld. Deze zijn weergegeven in Tabel 5.2. Onder overig vallen daarbij de volgende gebruiksfuncties: bijeenkomstfunctie, kantoorfunctie, gezondheidszorgfunctie, onderwijsfunctie, sportfunctie, winkelfunctie en overige gebruiksfunctie. Het Bouwbesluit biedt de mogelijkheid af te wijken van deze maximale omvang op basis van gelijkwaardigheid.

Met behulp van de eerder genoemde waarden kan een rekenmethode worden opgesteld om de benodigde bluscapaciteit te berekenen. Daarbij is de aanname gedaan dat een voorwerp niet

groter is dan 3 vierkante meter. Bij een woning wordt bij een ruimte uitgegaan van gemiddeld 30 vierkante meter<sup>7</sup> voor een woonkamer, de grootste kamer in het huis. Bij een verdieping is gemiddeld sprake van 50 vierkante meter.<sup>8</sup> Een gemiddeld huis heeft een oppervlakte van 120 vierkante meter.<sup>9</sup> De gemiddelde oppervlakte van een verdieping bij een bedrijf is niet bekend.

Aan de hand van de eerder genoemde waardes kan een minimale hoeveelheid bluscapaciteit worden bepaald om de brand te kunnen doven, indien het vloeroppervlak bekend is. Aan deze bluscapaciteit kan vervolgens een minimale hoeveelheid brandweerinzet worden gekoppeld, afhankelijk van het beschikbare potentieel. Zo zal een TS4 bijvoorbeeld een ander aantal stralen kunnen leveren dan een TS6. De berekening voor de minimaal benodigde bluscapaciteit is weergegeven in Tabel 5.2. Daarbij is uitgegaan van *offensief* brandweeroptreden, waarbij de inzet als doel heeft de brand te bestrijden (Brandweeracademie, 2014). Ook dient te worden opgemerkt dat wordt uitgegaan van het volledige voorwerp of de volledige ruimte in brand.

**Tabel 5.2 Bluscapaciteit bij offensief brandweeroptreden**

Cascade	Categorie	Oppervlakte (m <sup>2</sup> )	Brandvermogen (MW)	Bluscapaciteit
1: Voorwerp	Woning	3	0,75	HD: 1 LD: 1
	Bedrijf	3	1,5	HD: 1 LD: 1
2: Ruimte	Woning	30	7,5	HD: 3 LD: 1
	Bedrijf	50	25	HD: 10 LD: 3
3: Verdieping	Woning	50	12,5	HD: 5 LD: 2
	Bedrijf	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
4: Bouwdeel	Woning	120	30	HD: 12 LD: 3
	Overig	1000	500	HD: 200 LD: 50
	Logies/cel	500	250	HD: 100 LD: 25
	Industrie	2500	1250	HD: 500 LD: 125

Indien er meer brand- dan koelend vermogen op de plaats van het incident is, zal het vuur zich uitbreiden bij voldoende zuurstof (Brandweeracademie, 2018a). In deze gevallen wordt aan de hand van het kwadrantenmodel vaak gekozen voor defensief brandweeroptreden: het voorkomen van verdere uitbreiding. Daarbij kan de repressieve inzet worden ondersteund door brandpreventieve voorzieningen (Brandweeracademie, 2014; Entius, 2014).

Voor bepaling van de minimale hoeveelheid slagkracht aan de hand van de bluscapaciteit moet rekening worden gehouden met andere aspecten van het brandweeroptreden. Voor deze werkzaamheden, zoals ontruiming en redding, zullen aanvullende eenheden noodzakelijk zijn.

<sup>7</sup> <https://www.verbouwkosten.com/woonkamer-groter-laten-lijken/>.

<sup>8</sup> <http://www.bestaandewoningbouw.nl/de-toekomst-van-de-doorzonwoning-bewezen-kwaliteit/>.

<sup>9</sup> <https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2013/04/twee-derde-van-alle-woningen-eengezinswoning>.

# 6 Incidenten anders dan brand

Het cascademodel is gericht op brand, maar er zijn andere incidentscenario's die zich ook kenmerken door een stapsgewijze toename in omvang en impact. Er is sprake van een keten van gebeurtenissen waarbij het vroeg ingrijpen de impact kan beperken. In dit korte hoofdstuk worden een paar voorbeelden verkend.

## 6.1.1 Openbare orde

Een (spontane) demonstratie of openbaar geweld kan anderen aanmoedigen mee te gaan doen of een tegenactie op te zetten. Dit kan verder escaleren doordat de tegenreactie op haar beurt een nog grotere reactie oproept. Denk daarbij bijvoorbeeld aan vreedzame protesten die vervolgens hooligans aantrekken.

## 6.1.2 Infectieziekten

Een besmettelijke ziekte kan zich snel onder de bevolking verspreiden. In eerste instantie is er alleen sprake van impact op de gezondheid van individuen, maar de ziekte kan zich verspreiden onder grotere groepen. De eerste cascade kan zijn 'persoon besmet', de tweede cascade 'gezin besmet'.

## 6.1.3 Uitval van basisbehoeften

Een technische storing of een aanval op het internet, de stroom, gas- of watervoorziening kan ervoor zorgen dat openbare voorzieningen zoals het betaalverkeer uitvallen. Dit kan in omvang beperkt zijn, maar uitval van de ene voorziening kan uitval van de volgende voorziening tot gevolg hebben.

## 6.1.4 Cyberaanval

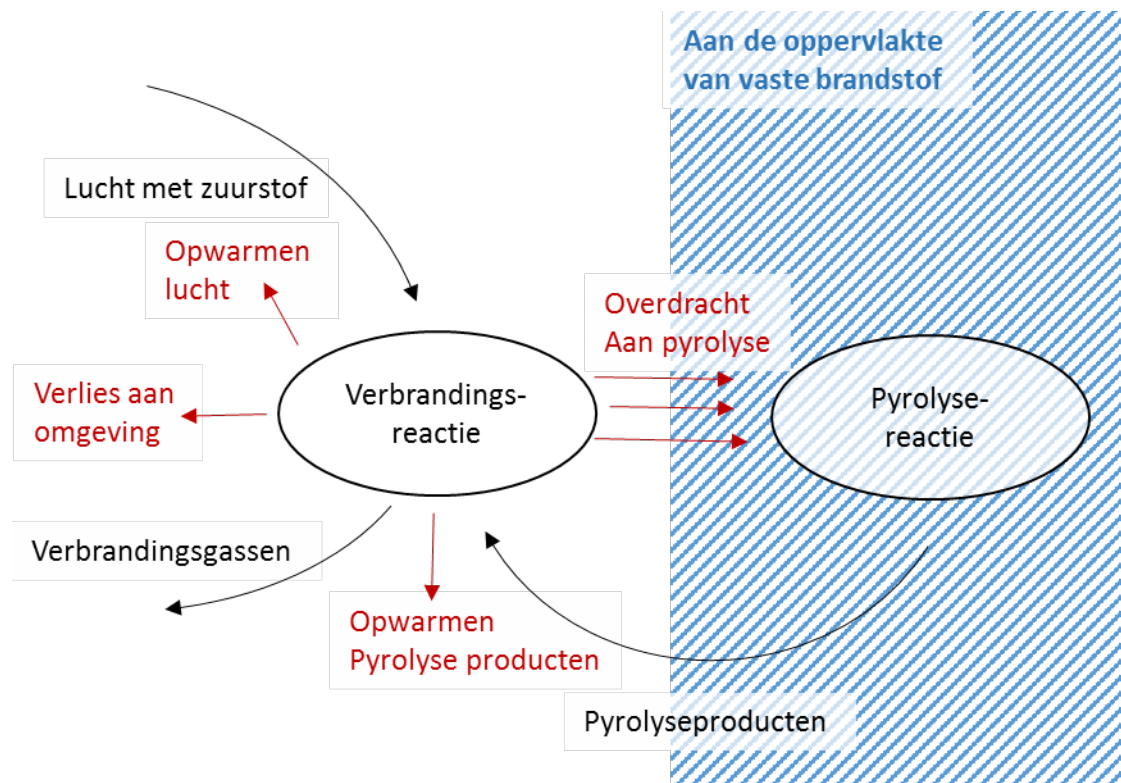
Een aanval op een domein binnen een instelling kan ertoe leiden dat het volgende domein ook wordt aangetast. Als een cybercrimineel bijvoorbeeld grip krijgt op de mailserver, kan hij met nep-berichten toegang krijgen tot andere domeinen. De impact van een cyberaanval is afhankelijk van het domein dat getroffen is.

# Literatuurlijst

- Bertels, M., & Hessels, T. (2019). *Cascademodel 3.0*. Nijmegen.
- Brandweeracademie. (2014). *Kwadrantenmodel voor gebouwbrandbestrijding*. Arnhem.
- Brandweeracademie. (2018a). *De hernieuwde kijk op brandbestrijding. Voorheen de 'theorie van de voorspelbare afloop'*. Arnhem.
- Brandweeracademie. (2018b). *Maatschappelijke impact van branden*. Arnhem.
- Brandweeracademie. (2020). *Rookverspreiding in woongebouwen. Hoofdrapport van de praktijkexperimenten in een woongebouw met inpandige gangen*. Arnhem.
- Entius, P. (2014). Brand en de voorspelbare afloop.
- Instituut Fysieke Veiligheid. (2012). *Verbeteren brandveiligheid: Proof of concept Cascademodel 2.0*. Arnhem.
- Kinney, G. F., & Wiruth, A. D. (1976). Practical Risk Analysis for Safety Management. *Naval Weapons Center ; Springfield, Va. : National Technical Information Service, China Lake, Calif.*
- Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid (2012). Cascademodel 2.0, Verbeteren brandveiligheid Proof of concept. Arnhem.
- Nederlands Normalisatie-instituut. (2007). *NEN-EN 1991-1-2/NB Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1-2: Algemene belastingen – Belastingen op constructies bij brand*.
- Purser, D. A. (2016). Combustion toxicity. In M. Hurley (ed.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, DOI 10.1007/978-1-4939-2565-0\_62, # Society of Fire Protection Engineers 2016.
- Verbond van Verzekeraars. (2016). Risicomonitor Woningbranden 2016.

# Bijlage 1 Warmtehuishouding

Eenzijds komt er warmte vrij bij brand, anderzijds is er warmte nodig voor het in stand houden van de brand, of voor een uitbreiding naar de volgende cascade. Deze 'warmtehuishouding' wordt in deze bijlage toegelicht.



Rood = overdracht van warmte, Zwart = chemische reactie.

**Figuur B1.1 Warmtehuishouding**

## Vaste brandstof

Stoffen die zijn toegepast in gebouwen en interieurs en die een bijdrage kunnen leveren aan brand zijn grotendeels gebaseerd op hout en aardolieproducten zoals kunststof en coatings. Hier noemen we dit 'vaste brandstof'. Deze vaste brandstof kan niet zomaar deelnemen aan de brand. Eerst moet hij namelijk opgewarmd worden totdat er pyrolyse optreedt. Soms zijn de pyrolyseproducten zó heet, dat ze na uittreden spontaan ontbranden een de lucht. Soms moeten ze verder opwarmen voordat ze kunnen deelnemen aan de verbrandingsreactie.

## Verbrandingsreactie

Bij de verbrandingsreactie komt warmte vrij. Als de verbranding onvolledig is, komt slechts een gedeelte van de warmte vrij. De warmte wordt overgedragen aan de omgeving door straling, geleiding en convectie.



## Warmtehuishouding

Een gedeelte van de warmte van de verbrandingsreactie komt ten gunste aan de pyrolyse en het opwarmen van de toestromende lucht en pyrolyseproducten. Een ander gedeelte gaat verloren aan de omgeving. Des te meer warmte ten gunste komt aan de opwarming van lucht en brandstof, des te meer de brand zich kan uitbreiden.

## Oppervlakte

De oppervlakte van de vaste brandstof speelt een belangrijke rol in de energieuishouding. Op de eerste plaats omdat de overdracht van warmte van de verbrandingsreactie naar de pyrolyse-reactie plaatsvindt via de oppervlakte. Een sterkt absorberend oppervlak (bijvoorbeeld met een donkere kleur) absorbeert meer straling en doet sneller mee aan de brand. Op de tweede plaats omdat de pyrolyse vaak alleen maar plaatsvindt direct aan de oppervlakte. De bulk van de vaste brandstof levert geen bijdrage aan de brand. Dit is bijvoorbeeld goed te zien aan een pak papier dat in een brand gelegen heeft. De kern van het pak is nog niet aangetast. Als de brandstof zeer goed warmte geleidt, zoals bijvoorbeeld een metaal, dan wordt de warmte snel naar de kern weggeleid en levert de brandstof minder snel een bijdrage aan de brand.

Tijdens een vol ontwikkelde brand in bijvoorbeeld een ruimte, doet niet alle *massa* van alle vaste brandstof tegelijkertijd mee, maar wel alle *oppervlaktes* van alle vaste brandstoffen in die ruimte.

## Ventilatie-, warmte- of brandstofgecontroleerde gebouwbrand

In het beginstadium van een gebouwbrand zijn er voldoende zuurstof en brandstof aanwezig. Des te meer de warmte van de verbrandingsreactie ten gunste komt aan de pyrolyse, des te sneller de brand zich kan uitbreiden. In dit stadium is de brand 'warmte-gecontroleerd'.

In een gevorderd stadium van de brand kan de zuurstof in de ruimte of het gebouw opraken, terwijl er nog wel voldoende brandstof beschikbaar is. De brand is nu ventilatiegecontroleerd.

Zodra er meer verse lucht wordt aangevoerd, neemt het brandvermogen toe. Naarmate de brand langer voortduurt, raakt de brandstof in het gebouw uitgeput. In dit laatste stadium is sprake van een brandstofgecontroleerde brand.