

# Bouwbesluit staat meer toe dan men denkt



Vraag tien bouwkundigen wat ze als belemmering zien om staal te gebruiken en negen roepen 'brand'. Een belangrijke reden is de onbekendheid bij ontwerpers over de eisen die de regelgeving stelt.

Ook bestaat er te weinig inzicht in de vele mogelijke oplossingen.

Het is in de praktijk vaak onduidelijk wie verantwoordelijk is voor de (constructieve) brandveiligheid en wie in overleg moet treden met de brandweer en het bouwtoezicht.

Dit artikel gaat in op een aantal actuele zaken, toegespitst op de categorie 'niet tot bewoning bestemde gebouwen'.

dr.ir. A.F. Hamerlinck  
Staalbouw Instituut, Rotterdam

ir. N.P.M. Scholten en ir. L. Twilt  
TNO Bouw, Rijswijk

Bij de brandveiligheid van gebouwen staan twee doelen centraal:

- voorkomen van ongevallen, zowel voor de gebruiker als voor de brandweerlieden;
- beperken van de directe en de indirecte schade.

De overheid is via de bouwregelgeving verantwoordelijk voor de veiligheid van mens en dier. De verzekeringsmaatschappijen richten zich meer op de materiële schade. De ontwerper van een brandveilig gebouw staat voor vier belangrijke uitdagingen:

- voorkom dat de brand ontstaat;
- zorg dat een snelle ontvluchting mogelijk is;
- voorkom dat de brand zich ontwikkelt en uitbreidt;
- voorkom dat het gebouw bezwijkt.

Het Bouwbesluit geeft aan wat de brandveiligheidseisen zijn, waarbij het accent ligt op passieve (lees: bouwkundige) maatregelen. Denk hierbij aan de brandbaarheid van materialen en de brandwerendheid van constructie-onderdelen. Het Bouwbesluit richt zich weliswaar op het bouwkundige concept maar sluit andere, actieve, brandveiligheidsconcepten niet uit. Dergelijke installatietechnische concepten - zoals het blusconcept met sprinklers of het bewakingsconcept met brandmelding - zijn in bepaalde typen gebouwen uitermate effectief [1]. Via het gelijkwaardigheidsprincipe kan de aanvrager van een bouwvergunning aantonen dat met een actief concept minimaal een gelijkwaardige veiligheid wordt bereikt als met het bouwkundige concept van het Bouwbesluit. De brandschadeverwachting ligt bij actieve concepten in elk geval lager, omdat er niet wordt gewacht tot een brand zich volledig heeft ontwikkeld en er al in een vroeg stadium wordt ingegrepen.

## Algemene eisen

Het Bouwbesluit onderscheidt drie categorieën bouwwerken:

- woningen, woongebouwen en woonwagens;
- niet tot bewoning bestemde gebouwen;
- bouwwerken, geen gebouw zijnde.

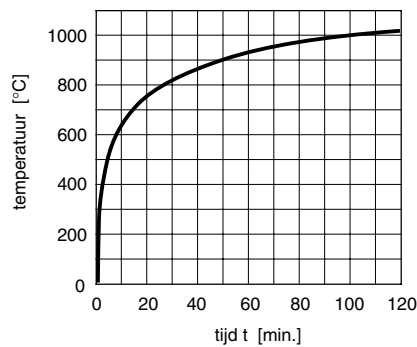
Voor niet tot bewoning bestemde gebouwen zijn uitsluitend voor de gebouwfuncties 'kantoorgebouwen' en 'logiesverblijven en -gebouwen' nadere brandveiligheidsvoorschriften gegeven in de vorm van prestatie-eisen. De voorschriften voor de overige niet tot bewoning bestemde gebouwen - zoals gebouwen voor onderwijs, gezondheidszorg en industrie (hallen) - liggen voor een belangrijk deel vast in functionele voorschriften (art. 185-192). Op dit moment hebben de gemeenten enige beleidsvrijheid bij het toepassen van die functionele voorschriften. Slechts de voorschriften met betrekking tot de constructieve veiligheid bij brand en de voorschriften ter voorkoming van het ontstaan van brand zijn voor alle niet tot bewoning bestemde gebouwen in prestatie-eisen verwoord.

## Constructieve veiligheid bij brand

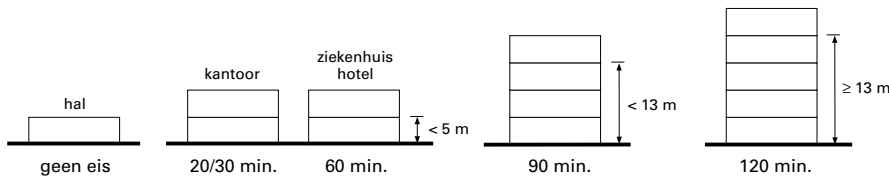
Artikel 174 van het Bouwbesluit geeft de prestatie-eisen aan de constructieve veiligheid bij brand (brandwerendheid met betrekking tot bezwijken van constructiedelen). De brandwerendheid is daarbij gedefinieerd als 'de tijd gedurende welke een constructie-onderdeel bij verhitting volgens de standaardbrand weerstand kan bieden aan de erop werkende belasting'. De bij brand aanwezige belasting wordt bepaald in NEN 6702 (bijzondere belastingcombinaties).

Vloeren en trappen van een bouwwerk dat voor mensen toegankelijk is, moeten altijd een brandwerendheid hebben van

De brandwerendheidseis van een verdiepinggebouw hangt onder meer af van de wijze van ontvluchten.



De standaardbrandkromme vormt de basis voor het beoordelen van de brandwerendheid van constructies.



Brandwerendheidseisen voor de hoofddraagconstructie van 'niet tot bewoning bestemde gebouwen'. De gegeven eisen voor hallen en tweelaagse kantoren vallen soms hoger uit in verband met brandoverslag naar andere gebouwen, compartimentering of ontvluchting.

20 minuten. Indien bezwijken van de constructie leidt tot het onbruikbaar worden van een vluchtmogelijkheid, bijvoorbeeld bij vloeren en trappen waarover een vluchtmogelijkheid voert, is de eis 30 minuten. Bouwconstructies die deze vloeren en trappen dragen, moeten eveneens aan deze zwaardere eis voldoen. De eisen zijn bedoeld om de gebruikers van een gebouw in de gelegenheid te stellen na het uitbreken van brand tijdig naar buiten te kunnen gaan. Daarnaast moet de hoofddraagconstructie van een gebouw gedurende een zekere tijdsduur in staat zijn de belasting te weerstaan om voortschrijdende instorting te voorkomen. De benodigde tijdsduur hangt af van de bestemming en de hoogte van het gebouw. Voor gebouwen met vloeren van een verblijfsgebied die niet hoger liggen dan 5 m boven het aansluitende terrein (gemeten ter plaatse van de hoofdtoegang) en waarin wordt overnacht, geldt een eis van 60 minuten. Wordt in zo'n gebouw niet overnacht dan geldt er geen eis.

Voor hogere gebouwen gelden zwaardere eisen: 90 minuten als de bovenste vloer ligt tussen 5 en 13 m en 120 minuten als de bovenste vloer hoger ligt dan 13 m. Deze beide eisen voor de hoofdconstructie zijn 30 minuten lager, indien kan worden aangetoond dat de permanente vuurbelasting (de verbrandingswaarde van uitsluitend alle vergunningplichtige brandbare bouwdeelen) lager is dan 100 MJ of 5 kg vurehout per vierkante meter vloeroppervlak. De achtergrond van de verlaging van de eisen is dat de brandduur bij een lage permanente vuurbelasting korter is. De vuurbelasting van de inventaris en andere door de gebruiker in te brengen goederen telt hierbij niet mee; hiermee is bij het vaststellen van de eisen al rekening gehouden.

Het Bouwbesluit verwijst voor de in

rekening te brengen belastingen bij brand naar NEN 6702. In de *Regeling Bouwbesluit constructieve veiligheid en gebruiksveiligheid* van het ministerie VROM is aangegeven dat veranderlijke belastingen buiten beschouwing mogen blijven bij het beoordelen van vloeren, trappen en bouwconstructies die een vluchtmogelijkheid instandhouden. Dit nadere voorschrift betekent bijvoorbeeld dat stalen trappen en roostervloeren kunnen worden toegepast.

#### Beheersbaarheid van brand en ontvluchting

Om een brand beheersbaar te houden, mogen de brandcompartimenten niet te groot zijn. Brandcompartimenten gelden als het maximale uitbreidingsgebied van een brand. In principe is elk gebouw een brandcompartiment. Binnen het gebouw kunnen afzonderlijke brandcompartimenten nodig zijn indien het gebouw een grotere oppervlakte heeft dan de maximaal toegestane compartimentgrootte. Deze maximale grootte verschilt per gebouwtype. Het Bouwbesluit geeft momenteel uitsluitend prestatie-eisen voor kantoren (1000 m<sup>2</sup>) en logiesgebouwen (500 m<sup>2</sup>).

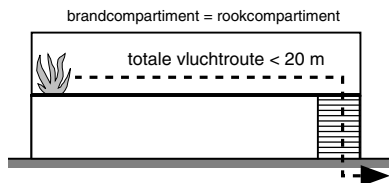
Tussen een brandcompartiment en een andere besloten ruimte wordt een eis gesteld aan de weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag (WBDBO). Dit is de weerstand die de scheidingsconstructies bieden bij een standaardbrand. Brandoverslag gaat via de buitenlucht (bijvoorbeeld via een gevel naar een hogere verdieping) en branddoorslag gaat door scheidingsconstructies binnen een gebouw (bijvoorbeeld door een vloer of wand). In beginsel geldt een WBDBO-eis van 60 minuten bij brandoverslag naar andere gebouwen en ook tussen brandcompartimenten binnen een gebouw. Op dit laatste geeft de toelichting op art. 186 een uitzondering

voor 'lage' gebouwen (geen verblijfsgebieden met een vloerniveau hoger dan 5 m), waarvoor slechts 30 minuten geldt. Dit is bijvoorbeeld voor hallen doorgaans het geval.

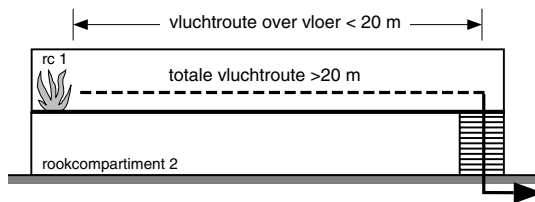
Voor een veilige ontvluchting is het van belang dat de looproute door een met rook gevulde ruimte niet te lang is. Uitgangspunt is dat niet langer dan 30 seconden door rook hoeft te worden gevluht. Dit heeft voor kantoren geleid tot een basiseis aan de maximale looproute binnen een rookcompartiment van 20 m. Hierbij mogen niet-dragende constructie-onderdelen buiten beschouwing worden gelaten. In de ideale situatie kan men vanuit elk rookcompartiment direct naar buiten (het aansluitende terrein) vluchten: volgens het Bouwbesluit is er in zo'n situatie geen vluchtmogelijkheid. Als dat niet het geval is en er door andere rookcompartimenten moet worden gevluht, is er sprake van een vluchtmogelijkheid. In dat geval wordt er een eis van 30 minuten gesteld aan de brandwerendheid van de bouwconstructie waarover de vluchtmogelijkheid voert of die de vluchtmogelijkheid mede ondersteunt. De maximale loopafstand door rook legt beperkingen op aan de grootte van een rookcompartiment en kan ertoe leiden dat een brandcompartiment moet worden opgedeeld in meerdere rookcompartimenten. Om rookverspreiding naar de rest van het gebouw te voorkomen, wordt aan de rookscheiding een eis gesteld van 30 minuten weerstand tegen rookdoorgang (WRD).

#### Eisen voor verdiepinggebouwen

Voor kantoren liggen de eisen met betrekking tot bezwijken vast in het Bouwbesluit, maar voor andere niet tot bewoning bestemde gebouwen, logiesgebouwen uitgezonderd, liggen de eisen nog niet vast. De praktijk is echter

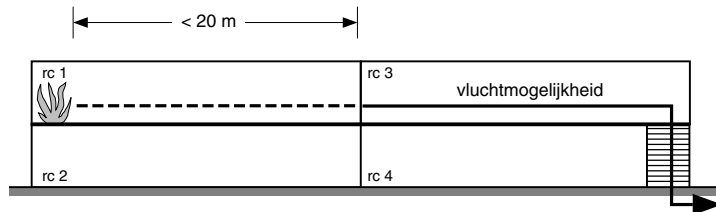


Het gehele gebouw is één rookcompartiment en er is geen vluchtmogelijkheid. De maximale vluchtroute bedraagt 20 m  
Eisen:  
20 min. verdiepingvloer, trap en vloerdragende constructiedelen.



De totale vluchtroute bedraagt meer dan 20 m. Daarom worden de beide bouwlagen als rookcompartiment aangemerkt; de maximale vluchtroute in een rookcompartiment bedraagt 20 m. De trap en een deel van de begane grond zijn vluchtmogelijkheid. Eisen:  
20 min. verdiepingvloer (rc 1) en vloerdragende constructiedelen;  
30 min. trap en deel vloer begane grond (rc 2).

De brandwerendheids-eisen voor de constructie van een verdieping-gebouw hangen onder meer af van de wijze van ontvluchting. Voor de duidelijkheid is slechts de situatie bekeken van brand in één compartiment.



De totale vluchtroute is zo groot dat de verdiepingvloer wordt opgedeeld in twee rookcompartimenten. Over de verdiepingvloer voert dus een vluchtmogelijkheid. Eisen:  
20 min. deel verdiepingvloer (rc 1) en vloerdragende constructiedelen (rc 1);  
30 min. deel verdiepingvloer (rc 3); vloerdragende constructiedelen (rc 3); trap en deel vloer begane grond (rc 4).

dat de gemeenten veelal gelijke eisen stellen als voor kantoren.

#### Twee bouwlagen

Voor lage kantoorgebouwen (hoogste vloer waar mensen verblijven lager dan 5 m) geldt in principe geen eis voor de hoofdconstructie; een kantoor is immers niet bestemd voor overnachting. Voor vloeren en trappen en uiteraard ook voor de vloerdragende constructiedelen (kolommen en liggers) bedraagt de minimumeis voor de brandwerendheid op bezwijken echter 20 minuten. Deze minimumeis wordt in de volgende drie gevallen verhoogd tot 30 minuten:

- als het constructiedeel een gevel of dak draagt waaraan een eis wordt gesteld in verband met brandoverslag naar een ander gebouw;
- als het constructiedeel een vloer of wand draagt die twee brandcompartimenten scheidt in een tweelaags gebouw (hoogste verdiepingvloer lager dan 5 m). Het bezwijken van het constructiedeel mag namelijk niet leiden tot het verloren gaan van de brandwerende scheiding;
- als het constructiedeel een vloer of trap draagt waarover een vluchtmogelijkheid voert of op een andere wijze bij bezwijken een vluchtmogelijkheid onbruikbaar maakt.

Het onbruikbaar worden van de vluchtmogelijkheid in het laatste punt moet worden opgevat als het fysiek niet meer aanwezig zijn van de vloer of trap waarover de vluchtmogelijkheid voert. Het gaat niet om constructiedelen die (tijdelijk) een vluchtmogelijkheid blokkeren! Let er op dat de vluchtmogelijkheid volgens de definitie van het Bouwbesluit pas begint zodra men het rookcompartiment verlaat.

In een relatief klein tweelaags kantoor-gebouw is het vaak mogelijk dat er vanuit elk punt binnen de vereiste afstand van 20 m naar buiten (het aansluitende terrein) kan worden gevlucht, eventueel via noodtrappen. In dat geval is er geen sprake van een vluchtmogelijkheid en is het gehele gebouw één rookcompartiment. In het kader van ontvluchting geldt dan geen eis van 30 minuten. Bij grotere tweelaagse gebouwen worden de vluchtafstanden langer en is vaak wel sprake van een opdeling in rookcompartimenten en vluchtmogelijkheden. Vaak vormt de vloer dan de scheiding tussen de (twee) compartimenten en is de begane-grondvloer tevens vluchtmogelijkheid voor de gebruikers van de verdiepingvloer. De onderdelen waarover de vluchtmogelijkheid voert (vloer begane grond en trap) moeten dan 30 minuten brandwerend zijn, evenals de onderdelen die bij bezwijken leiden tot het bezwijken van deze vluchtmogelijkheid. In principe wordt in dit geval dus geen eis van 30 minuten gesteld aan de verdiepingvloer, ook niet indien deze vloer bij bezwijken de vluchtmogelijkheid blokkeert. De eis van 30 minuten geldt echter wél, indien over de verdiepingvloer een vluchtmogelijkheid voert, bijvoorbeeld bij een uitgestrekt tweelaags gebouw met een beperkt aantal vluchttrappen waarbij de verdiepingvloer moet worden opgedeeld in rookcompartimenten.

#### Drie of meer bouwlagen

De brandwerendheidseis op bezwijken wordt in de volgende twee gevallen verder verhoogd tot 60 minuten.

- Als het constructiedeel een vloer of wand draagt die twee brandcompartimenten scheidt in een gebouw met ver-

diepingvloeren waarop een verblijfsgebied ligt en dat hoger is dan 5 m (drie- en meerlaagse gebouwen).

- Als het constructiedeel deel uitmaakt van de hoofdconstructie van gebouwen met drie of vier bouwlagen (bovenste verdiepingvloer waarop een verblijfsgebied ligt lager dan 13 m en hoger dan 5 m) en de permanente vuurbelasting verwaarloosbaar is. Is dit laatste niet het geval of is het gebouw nog hoger (bovenste verdiepingvloer waarop een verblijfsgebied ligt hoger dan 13 m) dan is de eis voor de hoofdconstructie 90 minuten. De eis wordt zelfs 120 minuten voor de hoogste categorie gebouwen (hoger dan 13 m) waarvan de vuurbelasting niet verwaarloosbaar is.

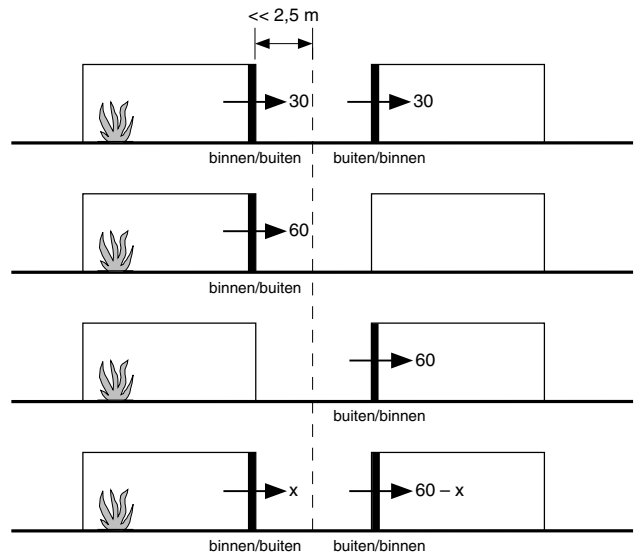
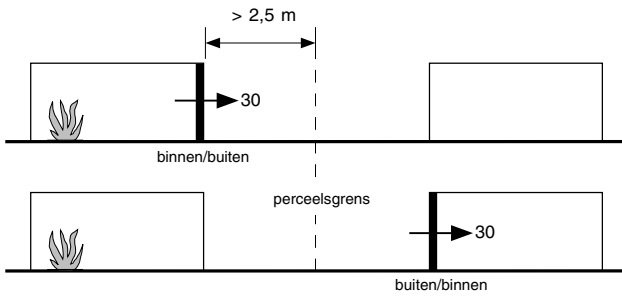
#### Eisen voor hallen

De eisen van het Bouwbesluit aan de brandwerendheid van constructies zijn volgens art. 174 ook van toepassing voor industriële hallen. Omdat echter de eisen voor brand- en rookcompartimenten (ontvluchting) nog niet vastliggen, is een exacte beschrijving van de eisen nog niet mogelijk. Wel kunnen we de filosofie van het Bouwbesluit hanteren en proberen uiteen te zetten wanneer er brandwerendheidseisen aan hallen kunnen worden gesteld. We beperken ons hier tot eenlaagse hallen.

Voor hallen die niet zijn bestemd voor overnachting, geldt in principe geen eis voor de hoofdconstructie. Eenlaagse hallen hebben bovendien geen verdiepingvloeren. Toch kan in drie gevallen een eis van 30 minuten worden gesteld:

- bij brandoverslag naar andere gebouwen;
- bij brandcompartimentering;
- in verband met ontvluchten.

Mogelijkheden om bij hallen aan de WBDBO-eis van 60 minuten te voldoen met een dichte gevel (geen 'openingen'). Voor de eenvoud is geen rekening gehouden met eventuele bestaande bebouwing.



Op basis van gelijkwaardigheid is een kleinere afstand dan 2,5 m mogelijk

Bij een zeer korte afstand tot de perceelsgrens is er sprake van branddoorslag en is de 'sommatie-methode' van toepassing.

### Brandoverslag

Als gebouwen op onvoldoende grote afstand van elkaar staan, kan een brand van het ene naar het andere gebouw overslaan. Om dit te voorkomen, wordt een eis gesteld van 60 minuten aan de weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag (WBDBO). Deze eis betekent in de praktijk dat (delen van) gevels en daken soms een brandwerendheid van 30 minuten moeten hebben en dat de afmetingen van deuren en ramen soms moeten worden beperkt. NEN 6068 geeft een methode hoe de WBDBO moet worden bepaald. Zonder gedetailleerd op deze methode in te gaan, bespreken we de belangrijkste uitgangspunten en consequenties.

Om te voorkomen dat branduitbreiding door uitslaande vlammen rechtstreeks kan plaatsvinden, mag de bepalingsmethode in NEN 6068 slechts worden toegepast bij gebouwen die minimaal 5 m van elkaar staan. Brandoverslag wordt beoordeeld naar bestaande gebouwen en naar een fictief, spiegelsymmetrisch en identiek gebouw op het aangrenzende perceel. Als er op het aangrenzende perceel geen bebouwing staat, moet uitsluitend brandoverslag naar het fictieve gebouw op het buurperceel worden bekeken. Overigens wordt bij gevels en daken een onderscheid gemaakt tussen brandwerendheid van binnen naar buiten en van buiten naar binnen. De beoordelingscriteria zijn verschillend en er kunnen dan ook (behoorlijke) verschillen ontstaan tussen beide brandwerendheden van een gevel of dak.

De bepalingsmethode geeft aan dat aan de WBDBO-eis van 60 minuten wordt voldaan indien één van beide gevels (en daken) volledig 'gesloten' is, dat wil zeggen geen 'openingen' bevat met een

brandwerendheid van minder dan 30 minuten. Bij een nieuw te bouwen hal is het dus voldoende als de gevel (en het dak) van binnen naar buiten 30 minuten brandwerend is of als deze van buiten naar binnen 30 minuten brandwerend is. Dit laatste geldt dan tevens voor de gevel en het dak van eventuele bestaande bebouwing. De eisen aan gevels en daken kunnen uiteraard een eis voor de (gevel- en dak)dragende constructie tot gevolg hebben, maar dit is niet altijd het geval. Bij eisen aan de brandwerendheid van buiten naar binnen, is er bijvoorbeeld geen eis voor de draagconstructie binnen.

De bepalingsmethode uit NEN 6068 geeft aan hoe de WBDBO kan worden bepaald tussen twee gevels die beide openingen hebben. De essentie van de methode is dat de gesloten gevelvlakken een brandwerendheid van 30 minuten moeten hebben. Afhankelijk van onder meer de grootte en de plaats van de openingen ten opzichte van elkaar wordt gekeken of de brand kan overslaan.

Als een hal minder dan 2,5 m van de perceelsgrens staat, geldt de bepalingsmethode niet meer. Er kan dan uitsluitend aan de WBDBO-eis van 60 minuten worden voldaan als de hal geen 'openingen' bevat. Omdat er in dit geval geen uitslaande vlammen zijn, kan op basis van gelijkwaardigheid met een kortere afstand worden volstaan. Bij bouwen 'op de perceelsgrens' is echter sprake van branddoorslag in plaats van brandoverslag. De eisen aan de dichte gevel kunnen dan door sommatie worden vastgesteld: de som van de brandwerendheden moet dan 60 minuten zijn, bijvoorbeeld: 30 minuten van binnen naar buiten en 30 minuten van buiten naar binnen, of 60 minuten van binnen naar buiten en

0 minuten van buiten naar binnen.

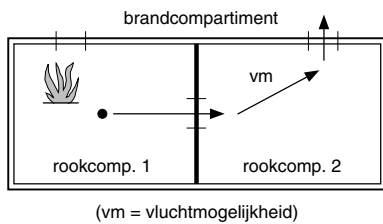
Als een nieuwe hal nagenoeg tegen zijn buurman komt te staan en de gevel van de bestaande hal zelf een brandwerendheid heeft van minder dan 30 minuten (beoordeeld van buiten naar binnen), wordt de eis 60 minuten voor de gevel van de nieuw te bouwen hal.

### Brandcompartimentering

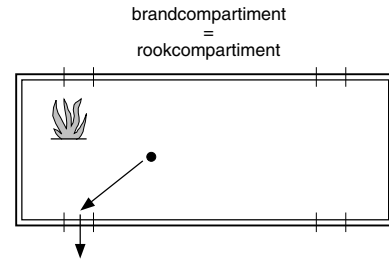
Het principe van compartimentering is dat de brand binnen het compartiment blijft en de scheidende constructie niet bezwijkt. Het compartiment zelf mag instorten, zolang dit maar niet leidt tot het verloren gaan van de brandwerende scheiding. De maximale compartimentgrootte van hallen ligt niet vast in het Bouwbesluit. Veel gemeenten hanteren de 'traditionele' grens van 2500 m<sup>2</sup>. Bij veel bedrijfshallen probeert men echter compartimentering te vermijden. Het alternatief is dan bijvoorbeeld een rooken warmteafvoerinstallatie (RWA) in het dak of een sprinklerinstallatie. In het geval van een RWA is het in de praktijk gebruikelijk hallen tot 5000 m<sup>2</sup> niet te compartimenteren. Is er een sprinkler aanwezig, dan bedraagt het maximale oppervlak 10.000 m<sup>2</sup>. Met de recente publikatie van het Ministerie van Binnenlandse Zaken Beheersbaarheid van brand [2] is het mogelijk de maximale compartimentgrootte genuanceerd te bepalen, afhankelijk van de vuurbelasting, de aanwezigheid van sprinklers en de mogelijkheid van een binnenaanval door de brandweer. Bij een verwaarloosbare vuurbelasting is er zelfs geen beperking aan de compartimentgrootte te stellen.

Is het niettemin noodzakelijk een hal op te delen in brandcompartimenten, dan dient de scheidingsconstructie (compar-

Bij een lange vluchtafstand moet een hal worden opgedeeld in twee of meer rookcompartimenten, waarbij het ene rookcompartiment een vluchtmogelijkheid is voor het andere. De rookscheiding moet 20 minuten brandwerend zijn.



Breng in een hal voldoende deuren aan, zodat de vluchtafstand beperkt blijft en de hal niet in rookcompartimenten hoeft te worden opgedeeld. Er is dan geen sprake van 'vluchtmogelijkheid', zodat er geen brandwerendheidseisen worden gesteld.



timenteringswand of brandmuur) aan een WBDBO-eis te voldoen. Deze eis is in het Bouwbesluit weliswaar nog niet expliciet vastgesteld, maar sluit aan bij de eisen van 30 minuten voor kantoorgebouwen met één of twee bouwlagen. In de oude regelgeving hanteerde men een eis van 60 minuten. De publikatie Beheersbaarheid van brand stelt de eis afhankelijk van de vuurbelasting en deze kan bij opslaggebouwen oplopen tot 120 minuten of hoger. Vooruitlopend op de definitieve regelgeving hebben gemeenten nog de vrijheid de prestatie-eisen zelf vast te stellen.

#### Ontvluchten

Vanwege de veiligheid van de gebruikers kan het nodig zijn een hal (brandcompartiment) onder te verdelen in twee of meer rookcompartimenten. Dit hangt onder meer af van de grootte van het brandcompartiment, en met name van de afstand van een willekeurig punt in de hal tot de uitgang van het compartiment. Vanuit elk rookcompartiment moet men bij voorkeur naar buiten (het aansluitende terrein) kunnen vluchten. Als dit niet direct mogelijk is, maar er door andere rookcompartimenten moet worden gevluht, is er sprake van een vluchtmogelijkheid en wordt er een brandwerendheidseis van 30 minuten gesteld aan de vloerconstructie. Voor het dak geldt in principe geen eis. De scheidingswand moet een weerstand tegen rookdoorgang bezitten van 30 minuten; dit is te vertalen in een brandwerendheid van 20 minuten. In het algemeen is het bij een hal eenvoudig om door plaatsing van deuren in de buitengevel te voorkomen dat een brandcompartiment moet worden opgedeeld in meerdere rookcompartimenten. Als dat zo is, wordt er geen brandwerendheidseis gesteld aan de constructie.

Het Bouwbesluit geeft voor hallen (nog) geen maximale waarde voor de vluchtafstand. Voor kantoren en woningen geldt 20 m als maximale afstand, zonder rekening te houden met de inventaris en eventuele niet-dragende scheidingswanden. In de aanpassing van het Bouwbesluit (fase 2) wordt deze afstand voor

hallen naar verwachting vastgesteld op 50 m, mits er een gering aantal personen per vierkante meter aanwezig is. Vooral nog is het de gemeente die deze eisen vaststelt.

#### Gelijkwaardigheid

Soms zijn de eisen in het Bouwbesluit niet toegesneden op de situatie in de praktijk en is het zinvol op basis van gelijkwaardige veiligheid tot een beoordeling te komen. Dat is het geval wanneer het werkelijke temperatuurverloop bij brand geheel afwijkt van dat bij de standaardbrand waarop de eisen in het Bouwbesluit zijn gebaseerd. De standaardbrand geeft immers uitsluitend een redelijke beschrijving van de werkelijkheid voor relatief kleine ruimten (cellenkantoor) bij verbranding van een onbeperkte hoeveelheid brandbaar materiaal. De gemeente beoordeelt of er sprake is van gelijkwaardigheid. Tijdig overleg met brandweer en bouwtoezicht is in dergelijke gevallen aan te raden. Enkele voorbeelden.

- *Open parkeergarage.* Bij bovengrondse parkeergarages waarvan minstens één derde van de gevel open is, is bij brand sprake van een grote afvoer van warmte en rook via natuurlijke ventilatie. Daardoor kunnen hoge temperaturen, die voor constructies bedreigend, zijn niet optreden. Door ventilatie en de relatief beperkte vuurbelasting van een brandende auto lijkt de temperatuurontwikkeling op geen enkele wijze op die van de standaardbrandkromme. Op basis van gelijkwaardigheid kan in open parkeergarages daarom met onbeschermd staal worden gebouwd.

- *Hal met een geringe vuurbelasting.* Bij een specifiek gebruik, bijvoorbeeld de opslag van onbrandbare materialen, is het vaak niet nodig eisen te stellen. Als de hal is gebouwd met onbrandbare materialen en de inhoud eveneens onbrandbaar is, bestaat er geen gevaar voor bezwijken gezien de geringe vuurbelasting. De totale vuurbelasting is dan niet groter dan 10 kg vurehout per m<sup>2</sup>, wat overeenkomt met een (standaard) brandduur van 10 minuten. Een onbeklede staalconstructie heeft minimaal

een brandwerendheid van 15 à 20 minuten en bezwijkt niet bij een dergelijke korte brand.

- *Constructie buiten.* Constructies die zich buiten het gebouw bevinden, zeker als ze behoren tot de hoofddragconstructie, moeten voldoen aan bepaalde brandwerendheidseisen. Op voorwaarde dat ze niet met de vlammen zelf in aanraking komen, is de warmtebelasting van deze constructies vele malen geringer dan bij een standaardbrand. Doordat bovendien afkoeling aan de buitenlucht optreedt, blijft de staaltemperatuur meestal ruimschoots onder de kritieke temperatuur.

- *Grote open ruimte.* In grote open ruimten is eveneens geen sprake van een standaardbrand. Het punt van vlamoverslag (waarna de gehele ruimte 'in lichterlaaie' staat) wordt hier vaak niet bereikt. Een brand kan zich wel ontwikkelen en verspreiden, maar vormt geen gevaar voor de constructie die zich op vaak grote hoogte bevindt. Dit komt vanwege het grote volume van de ruimte, vaak in combinatie met een geringe vuurbelasting. Denk in dit verband aan atria, (stations)overkappingen en tentoonstellingsgebouwen. Rook- en warmteafvoer door ventilatie is dan een effectieve maatregel.

#### Oplossingen voor verdiepinggebouwen

De oplossingen voor verdiepinggebouwen hangen af van de hoogte van het gebouw, van de brandveiligheidseisen en van de ontwerpuitgangspunten (optimaliseren naar kosten of juist naar architectonische uitstraling).

#### Twee bouwlagen (eis: 20/30 minuten)

Bij lage brandwerendheidseisen kan staal vaak onbeschermd blijven. Bij kolommen ligt de kritieke temperatuur meestal boven 550 °C en bij liggers boven 650 °C. Bij niet al te slanke profielen wordt de eis van 20 minuten dan onbeschermd gehaald. Voor een eis van 30 minuten is het vaak nodig (fors) over te dimensioneren. De staaltemperatuur bij brand ligt dan namelijk in de orde van 800 °C, waarbij de vloeigrens van staal





Bekleden van de onderflens van een geïntegreerde ligger met platen minerale wol.

nog maar 12% bedraagt van die bij 20 °C. Een dergelijk geval van overdimensioneren doet zich automatisch voor bij stabiliteitsverbanden. Deze worden immers gedimensioneerd op wind. Bij brand wordt volgens NEN 6702 slechts 20% van de extreme windbelasting in rekening gebracht, terwijl bij het bijzondere belastinggeval brand de belastingfactor 1,0 bedraagt in plaats van 1,5. Het stabiliteitsverband is bij brand dus maximaal tot 13% belast en vaak nog minder vanwege de vervormingseisen, die onder normale omstandigheden vaak maatgevend zijn, maar bij brand niet van toepassing zijn. Bij het overdimensioneren is het handig gebruik te maken van staal met een hoge vloeigrens, zo mogelijk doorgaande liggers en kolommen (met deze maatregelen stijgt de kritieke temperatuur) en van meer massieve profielen (met een lage profielfactor), waarmee de opwarming minder snel verloopt. Een andere mogelijkheid is bouwkundige integratie: het opnemen van stalen kolommen in metal stud wanden of het binnenspouwblad van de gevel, of van stalen liggers in de vloer (geïntegreerde liggers). In deze gevallen is de brandwerendheid standaard 30 minuten en desgewenst met eenvoudige maatregelen goedkoop te verhogen. Ook bij staalbeton constructies als staalplaat-betonvloeren en betongevulde buiskolommen is de brandwerendheid minimaal 30 minuten.

#### Drie en meer bouwlagen (eis: 60/90/120 minuten)

Bij eisen van 60 minuten of meer is overdimensionering geen relevante optie. De staaltemperatuur bedraagt na 60 minuten meer dan 900 °C en de sterkte is dan een factor twintig afgenomen. Bij deze hoge eisen wordt staal daarom bekleed met een isolerende beplating of bespuiting. Wordt nu een 'traditionele' staalconstructie met vrijstaande stalen kolommen en liggers onder de vloer op deze wijze beschermd, dan betekent dit een vaak aanzienlijke verhoging van de kosten. Aan deze kostenverhoging in de orde van één derde van de kosten van de staalconstructie heeft staal zijn 'dure'

imago in de verdiepingbouw mede te danken.

De laatste jaren is een stijging te zien in het gebruik van staal in de drie- en meerlaagse bouw. Dit is met name het gevolg van bouwkundige integratie (geïntegreerde liggers, kolommen opgenomen in wanden en gevels). De kosten van het 60, 90 of 120 minuten brandwerend maken zijn hierbij vele malen lager (tot een factor vijf toe) dan bij een 'traditionele' staalconstructie. Bij het aanbrengen van een minimale bekledingsplaat van 15 mm (steenwol, gipskarton of silicaat) stijgt de brandwerendheid van een geïntegreerde ligger of een kolom in een binnenspouwblad van 30 naar 120 minuten. Omdat de bekledingsdikte en de te bekleden oppervlakte minder zijn en het aanbrengen bovendien gemakkelijker gaat dan bij een drie- of vierzijdig verhitte kolom of ligger, is de besparing aanzienlijk. Alternatieven op een beplating zijn een bespuiting met mineraalvezels of vermiculiet (geen zichtwerk) of een opschuimende coating (brandwerende verf; zichtwerk). De mogelijkheden van brandwerende verf zijn de laatste jaren verruimd en sinds kort specifiek interessant bij geïntegreerde constructies, zelfs bij eisen van 90 minuten.

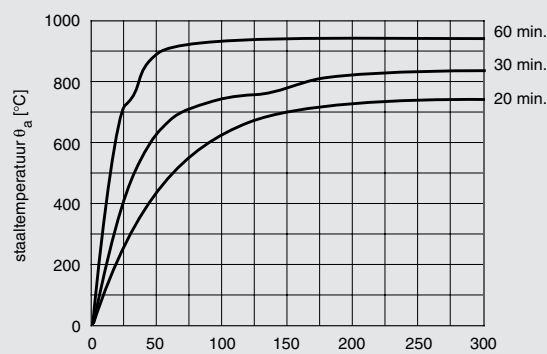
Door het belastinggeval brand in het ontwerp stadium mee te nemen, is een optimalisatie op kosten voor de constructie mogelijk. Staal wordt dan gezien als een economisch bouw materiaal, dat voor een belangrijk deel aan het zicht wordt onttrokken. Maar ook als de ontwerper staal expressief wil benutten, is met beperkte meerkosten aan de brandeisen te voldoen. Een greep uit de mogelijkheden.

- **Brandwerende verf.** Op het gebied van brandwerende verven is er de laatste jaren veel aan produktontwikkeling gedaan. Het is nu technisch goed mogelijk staalconstructies met een brandwerende verf tot 90 minuten te beschermen. De acceptatie bij bouwtoezicht en brandweer is groeiende. Ging men tot voor kort veelal niet verder dan het accepteren van een verf tot 30 minuten,

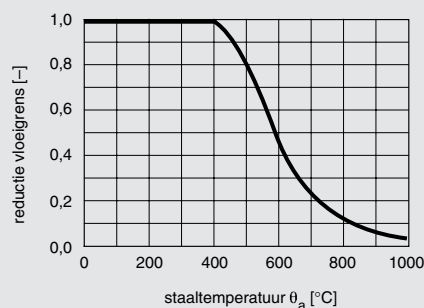
#### Brandwerendheid van staalconstructies

De methode in NEN 6072 om de brandwerendheid van staalconstructies te berekenen, staat uitvoerig beschreven in een eerder artikel in dit tijdschrift [7]. Kort samengevat komt deze methode op het volgende neer.

- Brand is een bijzonder belastinggeval met een belastingfactor  $\gamma = 1,0$ . Daarnaast wordt slechts gerekend met de permanente en het momentane deel van de veranderlijke belasting. De thermische belasting volgt uit de standaardbrandkromme.
- De opwarming van een onbeschermd staalconstructie hangt af de profielfactor P: dat is de verhouding tussen de aan brand blootgestelde omtrek en de oppervlakte van het staalprofiel. Hoe hoger de profielfactor, des te sneller warmt het profiel op, zie afbeelding. Bij beschermde staalconstructies is, naast de profielfactor, de bekleding (type, dikte en eigenschappen) van belang voor de opwarming.
- Bij opwarming boven 400 °C neemt de vloeigrens van staal af, zie afbeelding. Bij een bepaalde staaltemperatuur is het constructiedeel dan niet meer in staat is de belasting te dragen en bezwijkt. Deze (bezwijk)temperatuur heet de kritieke staaltemperatuur  $\theta_{kr}$  en hangt af van de belastinggraad  $\eta$ : dat is de verhouding tussen de bij het bijzondere belastinggeval brand aanwezige belasting en de bezwijkbelasting bij normale temperatuur. Het verband tussen  $\theta_{kr}$  en  $\eta$  is overeenkomstig de afname van de vloeigrens van staal bij temperatuurstijging, zie afbeelding.
- De brandwerendheid wordt bepaald door het tijdstip waarop de staaltemperatuur gelijk wordt aan de kritieke staaltemperatuur. Voor beschermde staalconstructies geeft [7] een benaderingsmethode. Daarnaast is het computerprogramma BRAWESTA een handig hulpmiddel.



Versand tussen de profielfactor P en de staaltemperatuur  $\theta_a$  van een onbeschermd profiel na 20, 30 en 60 minuten blootstelling aan de standaardbrand.



Versand tussen de staaltemperatuur  $\theta_a$  en de vloeigrens. Dit versand is gelijk aan dat tussen de kritieke staaltemperatuur  $\theta_{kr}$  en de belastinggraad  $\eta$ .



Bouwkundige integratie van een kolom in het binnenspouwblad).



tegenwoordig is het gebruikelijk om 60 minuten en zelfs meer te accepteren. Erkende beproevingsrapporten op basis van een eenduidig via het Bouwbesluit aangestuurde methode spelen hierbij een belangrijke rol.

Naarmate de brandwerendheidseis en de profielfactor van het staalprofiel hoger zijn (en de kritieke staaltemperatuur lager), is er een grotere verlaagdikte nodig. Het is dan zaak de profielfoorsnede zo te ontwerpen dat met een minimale laagdikte kan worden volstaan. De kosten blijven dan beperkt en het is ook visueel aantrekkelijker. Over het algemeen oogt een brandwerende verf iets minder strak dan een gewone verf. De esthetische mogelijkheden van brandwerende verf, in combinatie met een dalende prijs, is de reden dat deze oplossing steeds vaker wordt gekozen.

- *Ge vulde buiskolommen.* Het vullen van stalen buizen met beton is een gangbare methode om de brandwerendheid te verhogen met relatief geringe kosten en behoud van de expressieve mogelijkheden van staal. Betongevulde buiskolommen bezitten standaard een brandwerendheid van 30 minuten, zelfs als het beton ongewapend en de kolom relatief slank is.

Voor een eis van 60, 90 en 120 minuten zijn ontwerpgrafieken beschikbaar voor buizen gevuld met gewapend beton [3]. De benodigde afmetingen, betonkwaliteit en wapeningspercentage hangen af van de brandwerendheidseis, de kniklengte en de aanwezige belasting bij brand. Deze grafieken zijn gebaseerd op een omvangrijke serie Franse proeven. Vanwege de uitvoerbaarheid van de proeven is de minimale afmeting van de buizen beperkt tot vierkant 180 mm en rond 219,1 mm. Deze beperking geldt dus tevens voor de toepasbaarheid van de ontwerpgrafieken.

In bepaalde gevallen is het mogelijk 60 minuten brandwerendheid te halen met een betongevulde buiskolom zonder wapening [4]. Het is dan van belang een niet te slanke buis (met geringe wanddikte en hoge vloiegrens) te nemen. Verder is de betonkwaliteit van invloed

op de brandwerendheid. Uitsluitend voor vierkante kokers zijn ontwerpgrafieken gegeven. Voor ronde buizen kan worden geïnterpoleerd tussen de grafieken voor vierkante kokers.

- *Sprinklers.* Een sprinklerinstallatie zorgt ervoor dat de brand in een vroeg stadium wordt geblust, waardoor de brandschade beperkt blijft. De brandtemperaturen blijven relatief laag en de staaltemperatuur wordt niet hoger dan 200 °C. Bezwijken van de constructie is dan niet aan de orde en het gebouw kan snel en met relatief lage kosten worden gerepareerd. Het is gebruikelijk bij sprinklers de brandwerendheidseisen van de constructie te verlagen met 30 of 60 minuten of de eisen zelfs geheel te laten vervallen. Vaste regels bestaan hiervoor niet en de toestemming om de eisen te verlagen op basis van gelijkwaardige veiligheid berust bij de gemeente. Het is verstandig de mogelijkheden in een vroeg stadium met de gemeente en de brandweer te bespreken.

In gesprinklerde gebouwen met een aantal verdiepingen is men momenteel in Nederland mondjesmaat bereid de eisen geheel te laten vervallen en hantieren gemeenten een minimale brandwerendheid van 30 minuten of soms zelfs 60 minuten. Hierbij ontstaan toch mogelijkheden om staal onbeschermd toe te passen en om (flink) te besparen op de kosten van de brandwerende voorzieningen. Daarnaast is er bij een gecertificeerde sprinkler een aanzienlijke korting op de brandverzekeringspremie mogelijk tot maximaal ongeveer 50% en is de brandschadeverwachting vele malen lager dan bij een ongesprinklerd gebouw. Een en ander dient men af te wegen tegen de stichtingskosten en de onderhoudskosten van een sprinklerinstallatie.

- *Tweede draagweg.* Door het toepassen van een tweede draagweg wordt de belasting op aan brand blootgestelde constructiedelen verlaagd en kunnen onbeschermd staalconstructies soms aan hoge brandwerendheidseisen voldoen. Een voorbeeld is een stalen ligger die via de uvels is verbonden met een

staalplaat-betonvloer. Uit Engelse proeven blijkt dat de vloer bij brand als een membraan gaat werken. Daardoor is de draagkracht van de vloer veel hoger dan tot nog toe werd verondersteld op basis van buiging. Het blijkt zelfs zo te zijn dat de vloer de onbeschermd stalen ligger gaat dragen in plaats van andersom. De gehele staal-beton constructie is in staat de bij brand aanwezige belasting te dragen tot temperaturen in de stalen ligger van zelfs hoger dan 800 °C. Overigens is het wel noodzakelijk de kolommen brandwerend te beschermen.

Een andere mogelijkheid van een tweede draagweg is het afvoeren van de belasting op een aan brand blootgestelde kolom via doorgaande liggers naar naburige kolommen of naar een vakwerkconstructie in het dak [5, 6]. In deze gevallen is de kolom feitelijk geen onderdeel van de hoofdconstructie (er is immers geen sprake van 'voortschrijdende instorting' bij bezwijken van de kolom) en is de brandwerendheidseis hooguit 60 minuten in verband met de eisen voor compartimentering.

### O oplossingen voor hallen

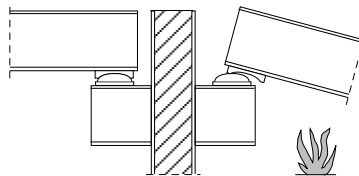
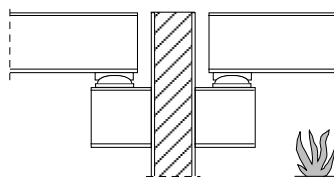
Meestal geldt er geen brandwerendheidseis voor de staalconstructie van een hal. Dat is het geval wanneer:

- het gebouw op veilige afstand van andere gebouwen staat (een afstand van 20 m is doorgaans voldoende);
- de hal geen compartimenteringswanden heeft;
- de vluchtroute in de hal kort is (voldoende vluchtdeuren).

Wordt niet aan deze drie voorwaarden voldaan, dan is de eis 30 minuten. Om aan deze eis te voldoen, zijn bouwkundige of installatietechnische oplossingen voorhanden.

Installatietechnische oplossingen (op basis van gelijkwaardige veiligheid), zoals een sprinklerinstallatie, worden bij hallen in het algemeen geaccepteerd als alternatief voor brandwerende maatregelen voor de constructie. Een RWA wordt met name bij ontvluchting (rook) als gelijkwaardig gezien. Omdat een

Staalconstructie buiten de hal. Dak en gevel schermen de constructie af tegen brand, waarmee automatisch aan de brandwerendheidseis voldaan wordt.



Kantelnok-constructie (gebouw voor IKEA, Eindhoven). De door brand vervormde ligger glijdt van de nok af, waardoor de brandmuur intact blijft. De kantelnok neemt bij kamertemperatuur de horizontale en verticale krachten op.

RWA tevens warmte afvoert, is het in bepaalde gevallen ook een alternatief voor de brandwerendheid van de constructie.

### Onbeschermd staal

Bouwkundige oplossingen zijn er in eerste instantie op gericht de staalconstructie onbeschermd te laten. Bij hallen bestaan hiervoor goede mogelijkheden, omdat de belastingen bij brand relatief laag zijn. Volgens NEN 6702 hoeft bij brand de veranderlijke dakbelasting niet te worden meegenomen. De windbelasting wordt uitsluitend voor onderdelen van de hoofdconstructie in rekening gebracht en bedraagt dan slechts 20% van de maximale waarde. Wanneer de hal voldoende windverbanden heeft, is er geen 'hoofddraagconstructie' (geen gevaar voor voortschrijdende instorting) en wordt er bij brand dus uitsluitend met eigen gewicht gerekend. Bovendien is de belastingfactor bij brand niet 1,2 respectievelijk 1,5, maar 1,0. Voor een lichte stalen hal betekent dit dat de belastinggraad van de staalconstructie laag is (10 à 15%). De kritieke staaltemperatuur ligt daarbij in de orde van 800 °C. In veel gevallen ligt de staaltemperatuur na 30 minuten in dezelfde orde van grootte. Zeker bij dakliggers is de brandwerendheid daardoor vaak 30 minuten. Is dit niet zo, dan is het met beperkt overdimensioneren (één profiel zwaarder) mogelijk aan de eisen te voldoen. Een andere optie is om staal met een hogere vloeigrens toe te passen (S 355 in plaats van S 235). Dit resulteert bij slechts 10% stijging van de materiaalkosten in een 33% lagere belastinggraad, waardoor de kritieke staaltemperatuur nog verder stijgt. Soms is het mogelijk liggers doorgaand uit te voeren, wat ook een positief effect heeft op de brandwerendheid.

Kolommen zijn ook in te klemmen in de fundering (meer ankers en een dikkere voetplaat), waardoor de kniklengte bij brand vermindert en dus ook de belastinggraad. Hierdoor stijgt de kritieke temperatuur ongeveer 50 °C en neemt de brandwerendheid toe met enkele minuten.

Een andere goede en esthetisch interessante mogelijkheid is om de staalconstructie buiten de hal te plaatsen. De staalconstructie wordt dan door dak en gevel afgeschermd van de brand en blijft koel, waarmee automatisch aan de brandwerendheidseis voldaan wordt.

### Compartmenteren

Het opdelen van een hal in compartimenten heeft consequenties voor de draagconstructie. De constructie moet dusdanig zijn ontworpen dat de brandmuur voldoet aan een WBDBO-eis van 30 minuten volgens het Bouwbesluit. In het geval de verzekeraar een brandmuur eist, ligt de WBDBO-eis vaak beduidend hoger, afhankelijk van de aanwezige vuurbelasting. Afgezien van de eisen aan de scheidende functie van de brandmuur zelf, betekent dit dat de constructie van de hal dezelfde brandwerendheid moet hebben als de brandmuur. Een alternatief is het nemen van constructieve maatregelen waardoor het instorten van het ene compartiment binnen 30 minuten niet tot gevolg heeft dat ook het andere compartiment of de brandmuur instort. Bij deze maatregelen kan worden gedacht aan een dubbele rij kolommen ter plaatse van de brandmuur of aan het toepassen van een breekverbinding [6]. Deze verbinding breekt bij een bepaalde vervorming van de staalconstructie in het brandcompartiment, zodat het bezwijken van de constructie beperkt blijft tot het brandcompartiment. De kracht waarbij de verbinding breekt, moet nog net kunnen worden opgenomen door de brandmuur of door de constructie van de andere compartimenten. Indien het gebouwontwerp het toelaat, is het soms mogelijk de maximale horizontale krachten die de instortende staalconstructie ter plaatse van de brandmuur uitoefent via de staalconstructie in de andere compartimenten af te voeren naar andere verbanden. Uiteraard mag de stabiliteit van het gebouw, bij instorten van één van de compartimenten, niet in gevaar komen. Dit betekent bijvoorbeeld het aanbrengen van extra stabiliteitsverbanden of het

benutten van portaalwerking in geval van brand.

De staalconstructie in de brandmuur zal vaak moeten worden beschermd, behalve wanneer de kolommen worden 'ingemetseld' tussen de flenzen en de eis 30 minuten is. Als genoemde maatregelen niet effectief zijn, is het mogelijk een isolerende bekleding of brandwerende verf toe te passen. Gezien de hoogte van de meeste hallen is het interessant om brandwerende verf in de werkplaats aan te brengen in plaats van het ter plekke aanbrengen van een bekleding via rolsteigers.

### Literatuur

1. *Staal en brandveiligheid. Een geïntegreerde aanpak*, Eurofer, Brussel 1993.
2. C.D.J. Cieraad, *Brandveiligingsconcept Beheersbaarheid van brand*, uitgave Ministerie van Binnenlandse Zaken, Den Haag 1995.
3. *Brandwerendheid van staal-betonkolommen. Deel 2. Stalen buisprofielen gevuld met beton* (CS/CUR/SG-rapport 6), Rotterdam/Gouda 1989.
4. A.F. Hamerlinck en W.H. Verburg, 'Beton-gevulde buiskolommen. Nieuwe mogelijkheden voor een brandwerendheid van 60 minuten zonder wapening', *Bouwen met Staal* 116 (1994), p. 17-21.
5. A.F. Hamerlinck, 'Evaluatie van een brand in een stalen verdiepinggebouw in Broadgate', *Bouwen met Staal* 104 (1992), p. 11-15.
6. 'Construeren met brand', *Bouwen met Staal* 133 (1996), p. 24-26.
7. A.F. Hamerlinck en L. Twilt, 'Brandwerendheid van staalconstructies. Berekingsmethode volgens NEN 6072', *Bouwen met Staal* 110 (1993), p. 9-15.

### Normen

- 'Besluit houdende technische voorschriften omtrent het bouwen van bouwwerken en de staat van bestaande bouwwerken (Bouwbesluit)', *Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden* 1991, nr. 680.
- NEN 6068 (Bepaling van de weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag tussen ruimten), 1991.
- NEN 6072 (Rekenkundige bepaling van de brandwerendheid van bouwdeelen. Staalconstructies), 1991.
- NEN 6075 (Bepaling van de weerstand tegen rookdoorgang tussen ruimten).
- NEN 6702 (TGB 1990 Belastingen en vervormingen), 1991.
- NPR 6091 (Brandoverslag door straling), concept juli 1992.