

# Eisen voor hoogbouw op een rij

Sinds de aanslag op de Twin Towers op 11 september van vorig jaar staat de (brand)veiligheid van hoogbouw volop in de aandacht. In hoeverre de eisen aan hoogbouw hierdoor in de toekomst gaan veranderen, is nog onduidelijk. Dit artikel is de eerste uit een serie van twee over brandveiligheid van hoogbouw. Het gaat in op de huidige Nederlandse regelgeving met betrekking tot brandveiligheid in hoogbouw en zet de specifieke aspecten uiteen van brand in hoogbouw. Inmiddels zijn er ook nieuwe ontwerptechnieken beschikbaar, waarmee het mogelijk is het gedrag van hoogbouwconstructies onder realistische brandomstandigheden te bepalen. Het tweede artikel licht deze nieuwe mogelijkheden toe aan de hand van een constructieve analyse van het ontwerp van de Rembrandt-toren in Amsterdam.

## *ir. P.A.H.J. Steenbakkers*

Pascal Steenbakkers studeerde in mei 2001 af op het onderwerp 'Brandveilig ontwerpen van hoogbouwconstructies' bij prof. dipl.-ing. Vambersky aan de TU Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen. Hij werkt nu als constructeur bij Skidmore, Owings & Merrill LLP (SOM) in Chicago.

## *ir. J.H.H. Fellingner en ir. L. Twilt*

Joris Fellingner is wetenschappelijk medewerker en Leen Twilt is coördinator Fire Safety International, beiden bij TNO Bouw, Centrum voor Brandveiligheid, Rijswijk.

Op 11 september 2001 voltrok zich in New York een ramp. Na een terroristische aanslag met twee Boeings bezweken de beide 410 m hoge torens van het World Trade Centre (WTC) en stortten geheel in<sup>[1]</sup>. Daarbij vielen naar schatting bijna drieduizend doden. De draagconstructie van elk van beide torens – een stalen gevelbuis – had voldoende capaciteit om de directe gevolgen van de inslag van de Boeings op te vangen. Daardoor hadden tienduizenden gebruikers en bezoekers de tijd om de gebouwen tijdig te ontvluchten. Echter de inslag en de direct daarna ontstane brand verzwakten de draagconstructie van de torens dermate dat ze uiteindelijk na 53 en na 100 minuten door voortschrijdende instorting bezweken. Voor de constructieve brandveiligheid van het WTC is destijds uitgegaan van de standaardbrand (zie kader). Dit scenario wordt nu nog steeds wereldwijd toegepast. Maar welke eisen gelden er eigenlijk in het algemeen voor het brandveilig ontwerpen van constructies voor hoogbouw? En welke aspecten spelen daarbij een rol (*afb. 1*)? Internationaal bestaan er in elk geval grote verschillen in de constructieve brandveiligheid van gebouwen hoger dan 90 m (*tabel 1*). Daarbij moet overigens worden bedacht dat de bepalingmethoden internationaal ook verschillen! Dit artikel inventariseert de eisen die op dit moment in Nederland gelden. Het is de eerste uit een serie van twee artikelen over brandveiligheid van hoogbouw. Het is gebaseerd op het afstudeerwerk<sup>[2]</sup> aan de TU Delft van Pascal Steenbakkers dat kort voor de ramp

in New York gereed kwam. Het onderzoek is uitgevoerd in samenwerking met TNO Bouw Centrum voor Brandveiligheid.

## **De Nederlandse situatie**

In ons land ontstaat steeds meer behoefte aan hoogbouw. Stijgende grondprijzen, naast prestige en uitstraling van steden en bedrijven vormen de belangrijkste redenen. De huidige Nederlandse brandveiligheidsvoorschriften zijn echter slechts gedefinieerd voor gebouwen tot 70 m hoogte; een hoogte die tegenwoordig al redelijk gewoon is. Voor hogere gebouwen bestaan er géén eenduidige brandveiligheidsvoorschriften. Het huidige Bouwbesluit besteedt op twee plaatsen aandacht aan brandveiligheid (*afb. 2*).

- Het hoofdstuk 'Constructieve veiligheid' geeft de eisen aan constructieve brandwerendheid. Voor gebouwen hoger dan 13 m geldt volgens art. 174.7 een brandwerendheidseis van 120 minuten voor de hoofddraagconstructie. Deze eis is gebaseerd op het gedrag van constructie-elementen onder slechts één brandscenario, namelijk de standaardbrand. Art. 174.7 stelt geen limiet aan de hoogte van het gebouw.
- Het hoofdstuk 'Brandveiligheid' geeft de eisen aan brandveiligheid voor gebouwen tot 70 m, waarbij de nadruk ligt op het voorkomen van het ontstaan van brand, het beperken van de ontwikkeling en de uitbreiding van de brand en de rook. Ook de eisen aan het vluchten staan hier omschreven. Zie ook [3]. Overigens wordt met ingang van 1 juli in het Bouwbesluit 2002 de eis van 120 minuten voor niet-slaapgebouwen verlaagd naar 90 minuten.

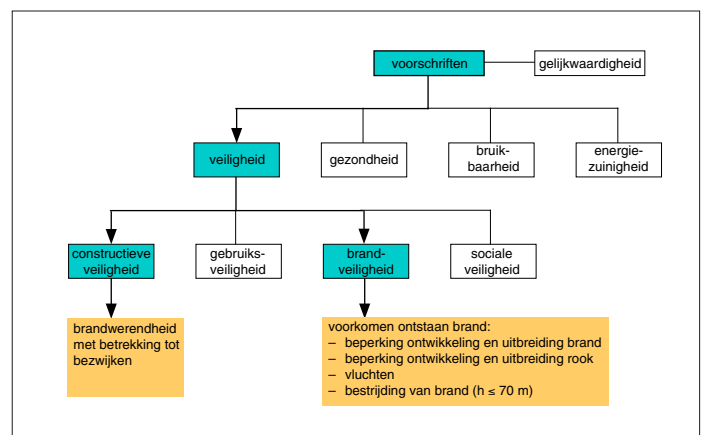


foto: Mark Richards

1. Brand in de First Interstate Bank in Los Angeles (USA), 1988.

Brandoverslag naar hoger ander verdiepingen.

2. Brandveiligheid in het Bouwbesluit in relatie tot andere eisen die aan de constructie worden gesteld.



Volgens de huidige brandveiligheidseisen moet een gebouw *hoger dan 70 m* in het geval van brand een beschermingsniveau bieden dat gelijkwaardig is aan dat van een gebouw van lager dan 70 m.

Het aantonen van gelijkwaardigheid is in de praktijk echter niet eenvoudig en de toetsing gebeurt daarom vaak op inzicht en ervaring van de toezichthouders op gemeentelijk niveau. Zowel de toetsende als de ontwerpende instanties hebben daarom behoefte aan eenduidige brandveiligheidseisen voor gebouwen boven de 70 m.

### Specifieke aspecten hoogbouw

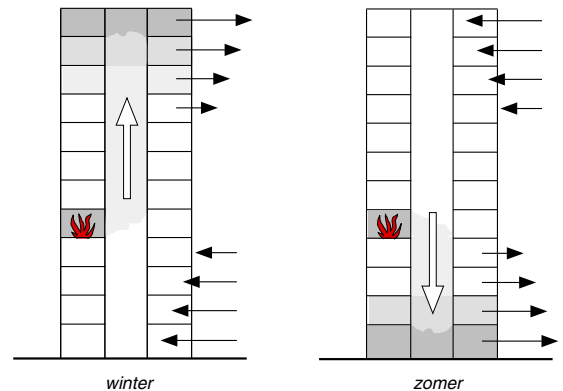
Bij de definitie van het begrip 'hoogbouw' gaat het niet alleen om de hoogte of om het aantal verdiepingen. Belangrijker is het of er in het ontwerp of in het gebruik van het gebouw specifiek rekening moet worden gehouden met zaken of omstandigheden die er bij laagbouw niet zijn. Specifiek op het gebied van brandveiligheid gaat het dan onder meer om evacuatie, rookverspreiding, hydrostatische druk in stijgleidingen en sprinklersystemen, branddoorslag en brandoverslag naar hoger gelegen verdiepingen én het voorkomen van het bezwijken van de hoofdconstructie.

### Evacuatie

In hoge gebouwen werken en verblijven doorgaans veel mensen. In het World Trade Centre (WTC) bijvoorbeeld verbleven op een drukke dag maximaal zo'n 50.000 personen. In geval van brand is het niet praktisch uit te gaan van een volledige evacuatie, omdat bestaande trappenhuisen hierop niet zijn gedimensioneerd. Bij evacuatie van het WTC in 1993 na een eerdere terroristische bomaanslag in de kelders bleek dat na één uur de helft van de aanwezigen was geëvacueerd en dat het drie uur duurde voordat het totale gebouw 'leeg' was. In de internationale hoogbouwpraktijk voorziet het rampenplan zelden in de optie om mensen te evacueren. In New York en in Chicago bijvoorbeeld evacueert de bedrijfshulpverlening in geval van brand de mensen op de bedreigde verdieping naar een veilige verdieping elders in het gebouw. In Hong Kong bestaan daarvoor speciale vluchtverdiepingen, de zogeheten 'fire refuge floors'. Deze vluchtverdiepingen zijn in het algemeen gelijkmatig verdeeld over de hoogte van het gebouw, vaak in combinatie met installatieverdiepingen. Een voorbeeld van een hoogbouw met veilige zones in het gebouw is de het International Finance Centre (ICF) in Hong Kong. Dit com-

Tabel 1. Eisen aan de constructieve brandwerendheid van de hoofdconstructie van gebouwen hoger dan 90 m.

eis	land
90 minuten	Duitsland, Luxemburg, Zwitserland
120 minuten	België, Frankrijk, Hong Kong, Ierland, Finland, Nederland, Spanje, Verenigd Koninkrijk
240 minuten	Verenigde Staten



### 3. Vluchtverdieping (fire reguge floor) in het International Finance Centre in Hong Kong.



Maquette IFC, Hong Kong



IFC-ONF



Fire refuge floor



Interieur Fire refuge floor



Open gevel vluchtverdiepingen



Waterscherm voor gevel tegen rook en straling

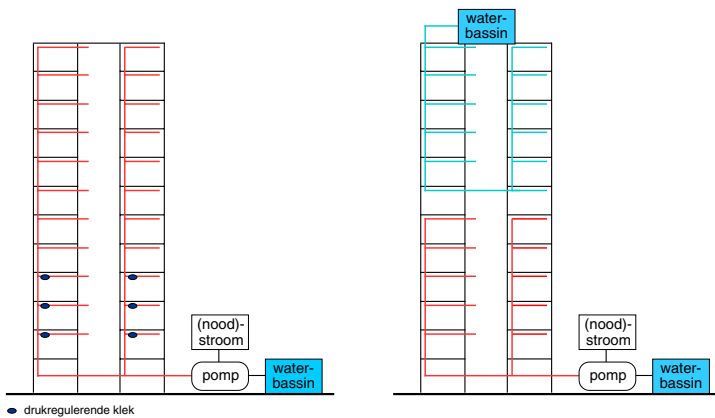
plex bestaat onder meer uit een hoogbouw van 200 m (ICF One) en een in aanbouw zijnde hoogbouw van 420 m (ICF Two) (afb. 3). Overigens moet worden bedacht dat de huurprijzen voor kantoorruimte in Hong Kong op een beduidend hoger niveau liggen dan in Nederland. Op toplocaties in eigen land betaalt een huurder maximaal zo'n 340 euro per vierkante meter per jaar. Op toplocaties in Hong Kong ligt dat flink hoger, met prijzen in de orde grootte van 1800 euro per vierkante meter per jaar. De huurder van een veilige zone in een kantoorgebouw van 800 m<sup>2</sup> bedraagt daarbij gemiddeld zo'n 725.000 euro per jaar. In het gebouw IFC Two komen drie veilige zones. Per jaar betekent dit dat de veilige zones een huurder vertegenwoordigen van meer dan 2 miljoen euro per jaar. Voor dergelijke bedragen kunnen andere, minstens even brandveilige oplossingen worden ontworpen!

#### **Rookverspreiding**

Een gevaar in hoogbouw is dat rook zich relatief snel kan verspreiden door het gebouw. In 1981 kwamen bij een brand in het restaurant op de onderste verdieping van het MGM Hotel in Las Vegas door rookverspreiding 85 mensen op de bovenste verdiepingen in hun slaap om het leven. De volgende mechanismen spelen bij de verspreiding van rook in hoogbouw een rol.

- **Schoorsteeneffect.** De rookverspreiding door de thermiek van de brand wordt beïnvloed door de natuurlijke luchtstroming. In hoge gebouwen stroomt er door luchtdrukverschillen binnen het gebouw lucht door schachten omhoog of omlaag, het zogeheten *schoorsteeneffect*. In de winter, wanneer het buiten koud is, ontstaat er een permanente luchtstroom naar boven. In de zomer stroomt de lucht naar beneden. Deze natuurlijke luchtstroming kan een belangrijke invloed hebben op de rookverspreiding door het gebouw (afb. 4).

5. Sprinklersysteem voor hoogbouw: (links) met drukreducerende kleppen op de onderste verdiepingen en (rechts) met een gescheiden systeem voor het bovenste en het onderste deel.



- **Ventilatie door gebroken ruiten.** In hoogbouw is het in verband met vallend glas en hoge windsnelheden niet verstandig om handmatig ramen te breken om zodoende rook en warmte af te voeren, zoals dat in laagbouw gebruikelijk is. Het vallend glas is niet alleen gevaarlijk voor mensen, maar ook brandweerslangen kunnen worden opengereten, waardoor de druk op de blusapparaten wegvalt. Tijdens een ontwikkelde brand breken de ruiten in veel gevallen toch door de hoge temperaturen.
- **Ventilatie door schachten en het aanvalstrappenhuis.** In New York kiest de brandweer een trappenhuis uit waarlangs ze probeert de brand te bereiken. Dit trappenhuis wordt het aanvalstrappenhuis genoemd. In geval dat de ruiten nog intact zijn, kan worden besloten de rook vanuit het brandcompartiment door het aanvalstrappenhuis naar boven af te voeren<sup>[4]</sup>. Via het alarmsysteem in het gebouw wordt dan opgevoerd het aanvalstrappenhuis niet te gebruiken om te vluchten. De New Yorkse brandweer bezit mobiele ventilatoren om rook te kunnen sturen. Daarnaast staan in hoogbouw boven in de meeste trappenhuisen grote ventilatoren die de rook naar buiten leiden.

### Hydrostatische druk in stijgleidingen en sprinklersystemen

- **Stijgleidingen.** Brandweerslangen zijn niet in staat om de grote hydrostatische druk in hoogbouw te weerstaan. Daarom worden in hoge gebouwen stijgleidingen aangebracht. Gelet op de maximale opvoer capaciteit van brandweerpompen zijn boven zo'n 70 m opvoerpompen noodzakelijk om voldoende waterdruk te leveren om te kunnen blussen.
- **Sprinklerinstallatie.** In de meeste hoge kantoorgebouwen zit een sprinklerinstallatie. Het is daarbij van belang dat elke sprinklerkop voldoende water moet kunnen geven om een beginnende brand te blussen. Bij de meest een-

voudige sprinkler met één systeem van leidingen, bassin en pompen zijn drukreducerende kleppen nodig om te grote waterdrukken op de onderste sprinklerkoppen te voorkomen. Deze kleppen zijn duur en moeten regelmatig worden gecontroleerd en onderhouden. Een alternatief is een gescheiden sprinklersysteem voor het bovenste en voor het onderste deel van het gebouw (afb. 5). Het waterbassin kan op de bovenste verdiepingen staan, zoals in het Breitner Center in Amsterdam. De hydrostatische druk levert dan positieve bijdrage aan de opvoer capaciteit van de pompen.

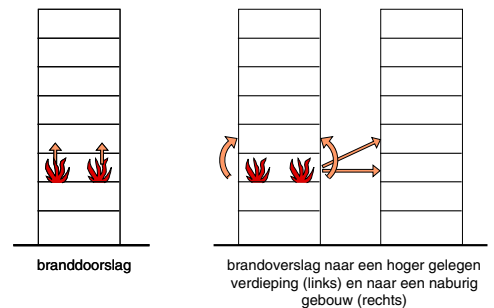
### Branddoorslag en brandoverslag naar hoger gelegen verdiepingen

Brandcompartimentering is in hoogbouw essentieel om branduitbreiding naar hoger gelegen verdiepingen of naburige gebouwen te voorkomen. Wanneer de brand volledig is ontwikkeld, wordt de inhoud van het brandcompartiment opgeofferd en is het primaire doel van de brandweer om branduitbreiding buiten het compartiment te voorkomen. Omdat blussen van buitenaf in hoogbouwconstructies niet mogelijk is, is het risico van brandoverslag en/of van branddoorslag in hoogbouw groter dan bij laagbouw. Uit [5] blijkt dat in ongeveer 25% van alle gerapporteerde hoogbouwbranden de brand zich over meerdere compartimenten door brandoverslag heeft uitgebreid. Branddoorslag is in 10% van de hoogbouw branden opgetreden (afb. 6).

### Voorkomen bezwijken hoofdconstructie

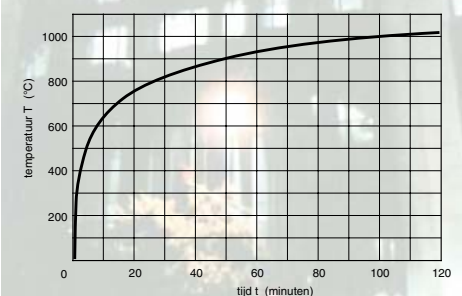
Het begrip 'voortschrijdende instorting' kreeg internationaal betekenis in 1968 toen een deel van het flatgebouw Ronan Point in Londen instortte. Een gasexplosie in een keuken drukte één gevelement naar buiten, waarna een compleet hoekdeel van de flat geheel instortte (afb. 7).

6. Branddoorslag naar een hoger gelegen verdieping (links) en brandoverslag naar een naburig gebouw (rechts).

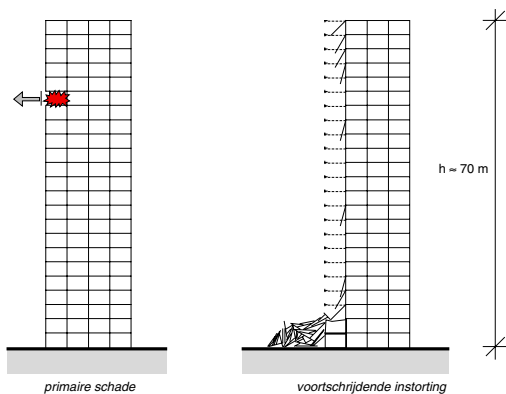


### Brandscenario

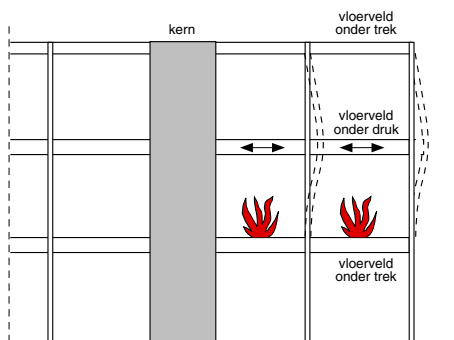
Voor het bepalen van de brandwerendheid van constructie-onderdelen in gebouwen wordt wereldwijd gebruik gemaakt van de standaardbrandkromme volgens ISO834 (zie afbeelding). Deze kromme geeft een zeer globale benadering van de brandtemperaturen die verwacht kunnen worden indien de brandbare materialen in het brandcompartiment voornamelijk cellulosehoudend zijn, zoals hout en papier. Bovendien wordt deze brandkromme gebruikt voor het toetsen van afzonderlijke constructiedelen. Nieuwe inzichten op basis van een gevalideerd natuurlijk brandmodel maken het mogelijk om op basis van de vuurbelasting en ventilatie-openingen een realistische berekening te maken van de ontwikkeling van de brand en de bijhorende temperaturen in de brandruimte. Door dit natuurlijke brandconcept te koppelen aan het constructieve gedrag van de gehele constructie – in plaats van aan een enkel constructie-onderdeel – is het mogelijk onzekerheden met betrekking tot herverdeling van krachten en het effect van thermische vervormingen in de constructie weg te nemen. De combinatie van deze twee rekentechnieken biedt een alternatief voor de huidige beoordeling van de brandveiligheid.



7. Voortschrijdende instorting van het flatgebouw Ronan Point in Londen, 1968.



8. Thermische uitzetting bij brand kan leiden tot voortschrijdende instorting van een hoogbouwconstructie.



Ook bij de Twin Towers van het World Trade Centre is sprake van voortschrijdende instorting. Wat hiervan precies de oorzaak is, wordt nog onderzocht. In het constructief ontwerp van het WTC, dat uit 1964 dateert, zijn in elk geval de lessen van 'Ronan Point' nog niet meegenomen. Het constructief ontwerp onder gebruiksomstandigheden was wel berekend op een inslag van een vliegtuig, maar van een veel kleiner type dan een moderne Boeing. Brandtechnisch is echter geen rekening gehouden met de gevolgen van de impact, zoals de extreem hoge temperaturen en het beschadigen van de brandwerende bekleding. De discussie over de noodzaak hiervan ligt buiten het bestek van dit artikel en zal ongetwijfeld oplaaien nadat de ramp in New York volledig is onderzocht.

In zijn algemeenheid heeft het instorten van gebouwen door brand primair twee oorzaken:

- *Afname sterkte- en stijfheidseigenschappen van constructiematerialen bij hoge temperaturen.* Door opwarming tijdens brand vermindert de weerstand van een constructie. Indien de temperatuur van de constructie te veel toeneemt wordt de constructie of het constructieonderdeel dermate verzwakt dat de belastingen bij brand niet meer kunnen worden opgenomen en bezwijkt de constructie.
- *Thermische uitzetting van constructieonderdelen.* Door het thermisch uitzetten van constructieonderdelen kunnen vervormingen zo groot worden dat ook constructieonderdelen buiten het brandcompartiment bezwijken. *Afbeelding 8* toont een voorbeeld waarbij een kolom op enige afstand van de brand op afschuiving bezwijkt door thermische uitzetting van een aan brand blootgestelde vloerconstructie.

De volgende aspecten vragen om een verhoogd veiligheidsniveau met betrekking tot bezwijken en branddoorslag en brandoverslag van hoog-

bouw ten opzichte van laagbouw:

- Evacuaties binnen het gebouw.
- De brandweer moet langer in het gebouw zijn om te blussen vanwege de moeilijke bereikbaarheid (hogere verdiepingen) en de onmogelijkheid om van buitenaf te blussen.
- Financiële schade aan gebouw en bedrijfsprocessen.
- Invloed van het bezwijken van de constructie op de bebouwde omgeving.

### Nieuwe mogelijkheden

Met name voor hoogbouwconstructies verdient het, gezien het belang van de hoofd-draagconstructie, aanbeveling om het gedrag van de constructie onder realistische brandomstandigheden nader te onderzoeken. Recentelijk zijn met medewerking van het Centrum voor Brandveiligheid van TNO Bouw in Europees verband twee nieuwe ontwerp-technieken ontwikkeld, waarmee het gedrag van gehele constructies onder realistische brandomstandigheden kan worden bepaald: het natuurlijke brandconcept in combinatie met gevalideerde numerieke rekenmodellen<sup>[6]</sup>.

### Natuurlijk brandconcept

Op basis van onder meer de vuurbelasting en de aanwezige ventilatieopeningen wordt via een massa- en energiebalans een realistisch brandverloop in een brandcompartiment bepaald.

De invloed op de vuurbelasting van verschillende actieve brandveiligheidsmaatregelen is gekwantificeerd en wordt door middel van reductiefactoren weergegeven. Hierdoor is het mogelijk de invloed van de actieve maatregelen te beoordelen om zo door integratie met passieve brandveiligheidsmaatregelen tot een optimaal brandveilig ontwerp te komen.

### Gevalideerde numerieke modellen

Met DIANA, het eindige-elementenprogram-

ma ontwikkeld door TNO Bouw, zijn realistische brandproeven met succes op ware grootte gesimuleerd. Deze proeven zijn uitgevoerd in het Engelse Cardington<sup>[7]</sup>. Het gevalideerde model biedt voor (hoogbouw)constructies mogelijkheden om:

- het gedrag van draagconstructies onder brandomstandigheden gedetailleerd te bepalen, inclusief het effect van thermische vervormingen op de krachtsverdeling;
- kwetsbare delen van de constructie bij brand te lokaliseren en de noodzakelijke voorzieningen te treffen.

### Literatuur

1. P.F. van Deelen, 'Wat gebeurde er op 11 september?', *Bouwen met Staal* 162 (2001), p. 14-18.
2. P.A.H.J. Steenbakkers, *Brandveilig ontwerpen van hoogbouwconstructies*, afstudeerrapport TU Delft, Delft 2001.
3. A.F. Hamerlinck, N.P.M. Scholten en L. Twilt, 'Bouwbesluit staat meer toe dan u denkt', *Bouwen met Staal* 134 (1997), p. 16-23.
4. E.F. Chapman, *With New York fire fighters (WNYF)*, New York 1984 (4e druk), p. 10-15.
5. *Natural fire safety concept*, uitgave ProfilArbed, Esch 1999.
6. European Joint Research Programme, *The behaviour of multi-storey framed buildings in fire*, South Yorkshire 1999.
7. L. Twilt en C. Both, 'Werkelijk gedrag van een staalconstructie bij brand onderzocht', *Bouwen met Staal* 141 (1998), p. 27-31.