



Abb. 1: Das Feuer raste die Fassade des Grenfell Tower regelrecht hinauf – auch um die Gebäudeecken. Am Tag nach dem nächtlichen Brand zeigte sich das Ausmaß der Zerstörung.

Analyse der Brandausbreitung über die Fassade

Grenfell Tower: Die Analyse der Mechanismen, die zu der extrem schnellen Brandausbreitung über die Fassade des Grenfell Tower geführt haben, steht im Mittelpunkt der Aufarbeitung der Brandkatastrophe. Dieser Beitrag soll Ursachen und Wirkungen im fachlichen Zusammenhang *vereinfacht* aufzeigen und so einer allgemeinen sachlichen Bewertung zugänglich machen. Der Autor ist als *unabhängiger* Sachverständiger für Brandschutz an Fassaden seit mehr als 35 Jahren u.a. mit der Erforschung der Mechanismen der Brandausbreitung über die Gebäudeaußenwand beschäftigt. **Ingolf Kotthoff**

Der 1974 fertiggestellte und erst 2016 sanierte Grenfell Tower ist ein Hochhaus mit 24 Stockwerken, das 120 Wohnungen für ca. 400 bis 600 Bewohner beherbergt. (Für Details zu dem Gebäude und der Sanierung s. Infokasten „Angaben zum Gebäude“.) Der Beitrag beleuchtet zunächst allgemein den Ablauf von Raumbränden, die die Gebäudefassade beaufschlagen, widmet sich dann dem Brandverhalten der eingesetzten Materialien und mündet schließlich in der Analyse des realen Brandgeschehens vom 14. Juni 2017 in London (s. Abbildung 1).

Aus dem Raum auf die Fassade

Brände in Wohngebäuden, d.h. in von Menschen genutzten Räumen, sind statistisch die am häufigsten vorkommenden Schadensfeuer. Typische Brandursachen sind u.a. defekte elektrische Anlagen bzw.



Foto: Charalambos, CC BY 2.0

Gebäudedaten Grenfell Tower

Grundlegende Daten und Konstruktion:

- Errichtung von 1972–1974
- Hochhaus mit 24 Stockwerken, Höhe vom angrenzenden Gelände bis zum Dach 67 m
- 4 Etagen am Geländesockel mit Geschäften, Büros etc. und darüber 20 Etagen mit 120 Wohnungen (zum Zeitpunkt des Brandes 400 bis 600 Bewohner)
- quadratischer Grundriss, Breite ca. 24,5 m
- 6 Wohnungen pro Etage
- Massivbau, Stahlbetonskelettbauweise
- außen liegende Stahlbetonstützen zur Lastabtragung aus Decken und Fassade
- massive, nichtbrennbare Betonbrüstungen, nichtbrennbare Ausfachungen zwischen den Fenstern
- ein innen liegender Treppenraum (keine zwei baulichen Rettungswege)
- keine Feuerlöschanlage (Sprinklerung)

Gebäudesanierung:

- 2012 Entwicklung eines Sanierungsplans für das bestehende Gebäude
- Zielvorgaben: Fassadensanierung mit doppelverglasten Fenstern, Wärmedämmung an der Fassade, Gasheizungen in den Wohnungen (Installation der Hauptleitung im Kern neben dem Treppenraum)
- Bewohner des Grenfell Towers organisierten sich in der Grenfell Action Group und machten im Zuge der Sanierung auf Brandschutzmängel aufmerksam
- Nach Aussagen des Verwalters/Eigentümers wurde das Hochhaus im Jahr 2016 nach Abschluss der Sanierung durch die Londoner Feuerwehr und das *Kensington und Chelsea London Borough Council* als Gebäude mittlerer Brandgefahr, d.h. als normales Brandrisiko eingestuft. Alle erforderlichen Gebäudeüberwachungen, die Brandschutz-, Gesundheits- und Sicherheitsstandards wurden angeblich erfüllt.

Fassadengestaltung/Geometrie:

- klassische Lochfassade mit übereinanderliegenden, zu öffnenden Fenstern
- Feuerüberschlagsweg (Oberkante eines Fensters bis zur Unterkante des darüberliegenden) ca. 1,3 m (Schürze ca. 0,1 m, Geschossdecke ca. 0,2 m, Brüstung ca. 1,0 m)
- zweifach verglaste Fenster
- Besonderheit: vertikale Trennung/Strukturierung der Fassaden durch außen liegende massive Stahlbetonstützen

Geräte, Heizquellen, der Umgang mit offenen Flammen (z.B. Rauchen, Kerzen, Gaskocher etc.), aber auch menschliches Fehlverhalten. Die Entwicklung eines Raumbrandes mit anschließender Beanspruchung der Fassade (s. Abbildungen Abb. 2a bis 2c) vollzieht sich in mehreren Schritten:

- Kommt es in einem möblierten Raum mit Außenwandöffnungen zu einem Entstehungsbrand (z.B. defekter Külschrank), hängt dessen Entwicklung von der vorhandenen Brandlast und der zur Verfügung stehenden Verbrennungsluft (Ventilationsbedingungen) ab.
- Bei ausreichendem Sauerstoffangebot geht der Brand in Räumen begrenzter Größe nach endlicher Zeit (in der Regel 10 bis 12 Minuten) durch den Flashover (Durchzündung) in einen Vollbrand über. Das Gasvolumen im Raum vergrößert sich.

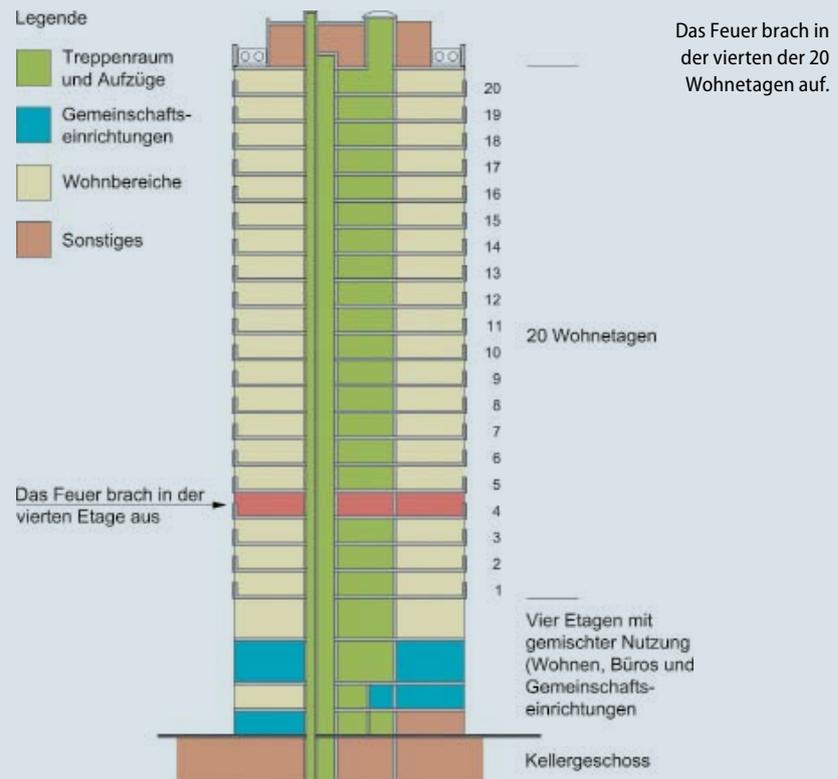




Abb. 2a: Brandüberschlag durch Fenster (Schadensfeuer)



Abb. 2b: Naturbrandversuch zum Brandüberschlag in mehrgeschossigen Gebäuden

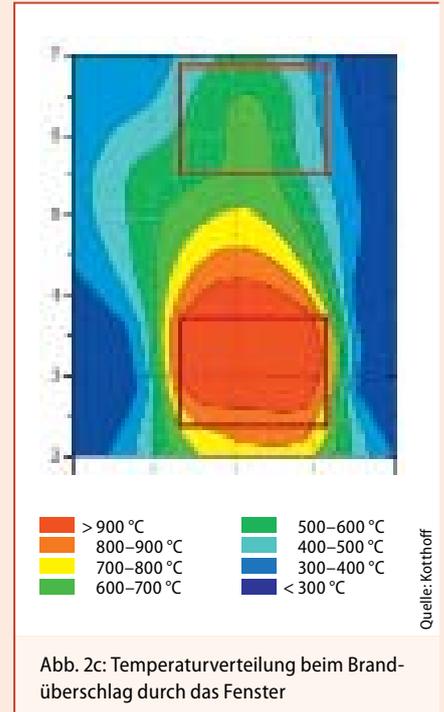


Abb. 2c: Temperaturverteilung beim Brandüberschlag durch das Fenster

bert sich spontan, der Raum füllt sich mit Flammen, Heißgase treten durch die Fenster aus und beanspruchen als Flammen die Oberfläche der Außenwand, einschließlich der dort applizierten Außenwandbekleidungen.

■ Nach einer anfänglich dynamischen Phase geht der Raumbrand dann in einen relativ stabilen, durch die Größe der Raumöffnungen (Ventilation) gesteuerten Abbrand über. In dieser Post-Flash-over-Phase kommt es über einen längeren Zeitraum zu einem kontinuierlichen Flammenaustritt vor die Fassade. Bei einem herkömmlich eingerichteten Wohn- oder Büroraum (Brandlast ca. 500 bis 700 MJ/m²) und einer Fensteröffnung von ca. 2,5 m² bei einer Raumfläche von ca. 20 m² dauert diese durch den Austritt von Flammen gekennzeichnete Phase 10 bis 15 Minuten. Von der im Raum im Gebäudeinnern freigesetzten Brandenergie tritt dabei ca. ein Drittel (1,5 bis 2 MW) vor die Fassade aus. Die Flammen über dem Sturz des Brandraumbensters erreichen dabei Längen von durchschnittlich 3 m (max. 5 m).

Mechanismen der Brandausbreitung

Bei der Außenwandgestaltung eines Gebäudes als sogenannte „Lochfassade“ (mit einem Brüstungsabstand von

1 bis 2 m zwischen übereinanderliegenden Außenwandöffnungen) werden die Fenster der nächsten Etage oberhalb der Brandausbruchsstelle immer über die volle Höhe von Flammen beaufschlagt, die Fenster in der zweiten Etage über dem Brandherd nur teilweise. Ein Eindringen des Brandes in das Geschoss oberhalb des Brandorts ist somit sehr wahrscheinlich. Dieser Prozess setzt sich ohne rechtzeitiges Eingreifen der Löschkräfte der Feuerwehr ungehindert wie ein „Bockspringen“ („leap frogging“) nach oben fort und kann zusätzlich beschleunigt werden, wenn Fenster im über dem Brandraum liegenden Geschoss geöffnet sind (z.B. im Sommer).

Spätestens 10 Minuten nach dem Flammenaustritt aus dem Brandraum vor die Fassade (i.d.R. aber früher) findet eine Brandübertragung in das nächste Geschoss statt. Die Flammen treten über die Fassade also ca. 20 Minuten nach Brandbeginn wieder in das Gebäude ein. In den nächsten 5 Minuten beginnt sich der Brand in diesem über dem Brandherd liegenden Raum (Etage 2) zunächst langsam auszubreiten. Innerhalb einer Zeit von höchstens ca. 25 Minuten sollte daher ein Löschangriff der Feuerwehr erfolgen, wenn die Entwicklung dieses Brandes zum Vollbrand und damit zum Flammen-

austritt aus einer weiteren Etage (Etage 2) vor die Fassade und damit in weitere Etagen (3 bis x) verhindert werden soll.

Das allgemeine Brandschutzziel an der Fassade von Gebäuden lässt sich daher wie folgt ableiten:

„Die Brandausbreitung an der Außenwand darf vor dem Löschangriff der Feuerwehr eine Ausdehnung von zwei Geschossen im Gebäude nicht überschreiten. Dabei wird eine zu gewährleistende ‚Schutzzeit‘ von Brandbeginn bis Löschangriff von maximal 25 Minuten vorausgesetzt. Zusätzlich ist eine Gefährdung der Rettungskräfte durch großflächig abstürzende, brennende oder nichtbrennende Fassadenteile bzw. durch brennendes Abtropfen auszuschließen.“

Für die Bekämpfung einer solchen Brand-situation – vollentwickelter Raumbrand in einer Etage und beginnender Brand in einem Raum der darüberliegenden Etage, d.h. in zwei Etagen, einschließlich dazugehöriger Personenrettung – ist die Feuerwehr bei Gebäuden mit normalem Brandrisiko technisch ausgerüstet, vorausgesetzt, dass die betroffenen Etagen für die Feuerwehr auch zugänglich sind.

Bis zu einer Gebäudehöhe von ca. 24 bis 25 m (8 bis 9 Etagen, Höhe der Fensterbrüstung des letzten Geschosses bei ca. 23 m über Geländeoberkante) kann die Feuerwehr die Brandetagen i.d.R. auch von außen

Brandversuch VHF

Ergebnisse eines orientierenden Brandversuchs (2001) zur Überprüfung der Wirksamkeit von Brandsperren bei normalentflammbarer Bekleidung (vorgehängte hinterlüftete Fassade (VHF) mit Bekleidung aus normal entflammbarer Alu-Kernverbundplatte (PE)). Als Beginn der Beanspruchung wird die Zeit des Flammenaustritts aus der Brandkammer angesetzt und als Flammenhöhe die Höhe über dem Sturz der Brandkammer.

Prüfmethode:

- Originalbrandversuch nach DIN 4102-20 („intermediate scale test“)
- Versuchsstand: Porenbeton, Höhe 6 m, Breite 2,5 m (RW) + 1,5 m (EW)
- Brandlast: 25 kg Holzkruppe hinter Fassade
- Beanspruchung: 20 min, ca. 0,35 MW, 2 m Flammen, verzögerter Flammenaustritt (3 Minuten)

Prüfkörper:

- vorgehängte, hinterlüftete Fassade (VHF)
- Alu-Kernverbundplatte mit PE-Kern (Dicke 6 mm, „normalentflammbar“)
- Hinterlüftungsspalt 50 mm
- Alu-Unterkonstruktion, vertikale Profile
- Dämmung: Mineralwolle-Platten, zweilagig, 100 mm, nichtbrennbar, Schmelzpunkt > 1.000 °C
- Brandsperren im Hinterlüftungsspalt

Nach dem Flammenaustritt aus der Brandkammer erreichten die Temperaturen vor der Bekleidungsplatte Werte, die den Temperaturen der beobachtba-

ren Flammen des Prüffeuers entsprechen (400 °C). Die Flammenhöhen waren vor der Bekleidung reduziert, da ein großer Teil in den Hinterlüftungsspalt strömte. In der ca. 8. Prüfminute stiegen die Temperaturen explosionsartig innerhalb von weniger als 30 Sekunden um ca. 600 °C an und erreichten eine Minute später Maximaltemperaturen von 900 bis 1.200 °C, danach klangen sie rasch wieder ab. Die Dauer des Vollbrands betrug 3 bis 4 Minuten.

Ergebnisse

Die Bekleidung, normalentflammbare Alu-Kernverbundelemente mit PE-Kern, war vollständig verbrannt. Auf der Oberfläche der Mineralwolle-Dämmung waren flächig verteilt Aluminiumrückstände, meist in Tropfenform.

Die beiden Brandsperren aus Stahllochblech mit Dämmschichtbildner (0,5 m und 2,0 m über dem Flammenaustritt) konnten die Brandausbreitung bei diesem Material nicht verhindern.

Der Ansatz wurde als nicht geeignet erkannt und nicht weiter verfolgt, da für solche Alu-Verbundplatte mit PE-Kern folgende Schlüsse gezogen werden mussten:

- unmittelbare Entzündung bei Flammenaustritt aus dem Fenster eines sich im Vollbrand befindlichen Raums,
- rasante Brandausbreitung in alle Richtungen, fortschreitender lokaler Feuersturm mit Temperaturen von 900 bis 1.200 °C für die Dauer von 3 bis 5 Minuten,
- hohe Intensität und brennendes Abtropfen kann zur flächigen Entzündung angrenzender brennbarer Materialien (z.B. Dämmung) führen.

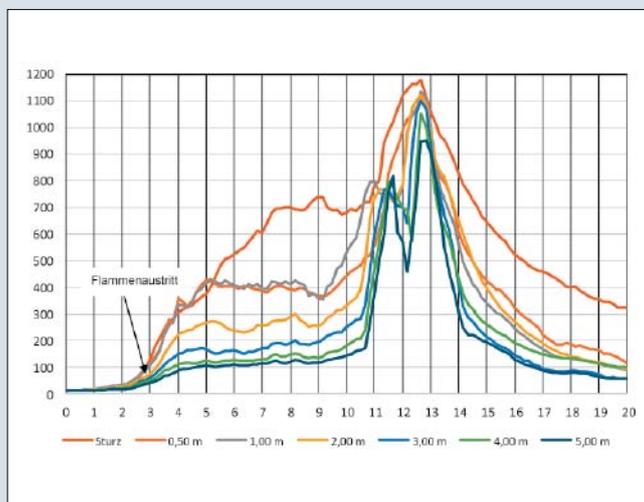


1 Versuchsaufbau

2. 3. Minute: Rauchaustritt an der Prüfkörperoberkante, Verformung/ Erweichen der Bekleidungsplatten, brennendes Abtropfen, sichtbare Flammenhöhe 0,5 m

3. 7. Minute: Intensivierung des Brandes, Flammen im Hinterlüftungsspalt 1,0 m, Flammenhöhe vor der Bekleidung 1,2 m

4. 9. Minute: Flächiger Vollbrand der gesamten Fassadenbekleidung (nach plötzlicher Durchzündung nach 8 Minuten), brennendes „Abfließen“ von Schmelze (Aluminium gemischt mit PE), Sekundärbrand auf dem Boden, Aufenthalt in 7 m Entfernung nicht mehr möglich, Flammenhöhen ca. 10 m



Temperaturzeitentwicklung 5 mm vor der Alu-Verbundplatte über die Höhe



Die Bekleidung war zu Versuchsende vollständig verbrannt.

Tabelle 1: Vereinfachend lassen sich Fassadenbekleidungen in zwei Gruppen einteilen

Funktion	Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) (Etics)	vorgehängte, hinterlüftete Fassadenbekleidungen (VHF) (rainshield cladding)
Prinzipieller Aufbau	 Abb. 3a: Aufbau WDVS	 Abb. 3b: Aufbau VHF
Untergrund	raumabschließende Wand	
Dämmung (insulation)	prinzipiell die gleichen Materialien möglich	
	Mineralwolle, EPS, PU, PH, HW etc.	i.d.R. Mineralwolle, aber in UK auch PU
Befestigung der Dämmung	geklebt und/oder gedübelt	
Tragkonstruktion für die Wetterschutzschicht	keine	Unterkonstruktion: vertikale oder horizontale Profile an der Wand über Halter mechanisch befestigt, meist metallisch, häufig Aluminium
Hinterlüftung	keine	meist geschossübergreifender Spalt zwischen der Dämmung und der Rückseite der außen liegenden Wetterschutzschicht, Tiefe mindestens 20 mm, meist mehr
Wetterschutzschicht	vollflächige, mit Glasfasergewebe armierte, mindestens zweilagige Putzschicht	Platten unterschiedlichster Form, Größen, Materialien und Dicke, in der Regel mit Fugen

über Drehleitern erreichen, bei Bedarf über die Fenster in das Gebäude eindringen und Personen retten. Oberhalb dieser Höhe gelingt das von außen nicht mehr. Das Löschen einer brennenden Fassadenbekleidung ist an den meisten Gebäuden bis ca. zur 10. Etage noch bedingt möglich. Oberhalb dieser Gebäudehöhe ist eine brennende Außenwandbekleidung weder entfernbar, noch kann sie gelöscht werden, die Feuerwehr ist gezwungen, einer fortschreitenden Brandweiterleitung tatenlos zuzusehen. Eine Brandbekämpfung und Evakuierung ist ab der 8./9. Etage, d.h. in Hochhäusern, nur noch vom Inneren des Gebäudes her möglich, wenn dazu die technischen Voraussetzungen gegeben sind. Die nachfolgende Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern skizziert nur die allgemein bekannten Grundzüge üblicher brand-

schutztechnischer Vorkehrungen für Hochhäuser:

- automatische Brandmeldeanlage in allen Etagen, in allen Nutzungseinheiten
- automatische Feuerlöschanlagen in allen Etagen (vollflächige Sprinklerung)
- hinreichende Tragfähigkeit der Baukonstruktion im Brandfall (Feuerwiderstand)
- hinreichende Kapselung (feuerwiderstandsfähige Trennung) der einzelnen Nutzungsbereiche zwischen den Etagen (Durchdringungen) und innerhalb einer Etage
- hinreichende Anzahl und Sicherheit der Rettungswege (Treppen und Flure)
- Zugänglichkeit für die Feuerwehr (Feuerwehraufzug)
- Löschwasserbereitstellung über etagenweise Hydranten
- keine Verwendung brennbarer Baustoffe an den Fassaden

- Brandbarrieren im Hinterlüftungsspalt von ventilerten Fassadensystemen (VHF)

Fassadenbekleidungen

Eine Fassadenbekleidung ist ein zur Verbesserung der bauphysikalischen Eigenschaften (Witterungsschutz und Wärmedämmung) oder aus gestalterischen Gründen auf eine raumabschließende Außenwand aufgebracht System konstruktiv miteinander verbundener Baustoffe. Brandschutztechnisch werden Fassadenbekleidungen als Baustoffe behandelt und europäisch nach der EN 13501-1 in Brandverhaltensklassen eingeordnet. Vereinfachend lassen sich Fassadenbekleidungen in zwei Gruppen einteilen: Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS, engl. Etics) und vorgehängte, hinterlüftete Fassadenbekleidungen (VHF, engl. rainshield cladding) (s. Tabelle 1 sowie Abbildungen 3a und 3b).

Brandversuch PU-Dämmung

Ergebnisse eines orientierenden Brandversuch (2011) zur Überprüfung des „Baustellenverhaltens“ geklebter PU-Dämmung (normalentflammbar). Eine Anwendung von PU-Hartschaum in vorgehängten, hinterlüfteten Fassadenbekleidungen (VHF) ist in Deutschland oberhalb von drei Etagen nicht zulässig. Die Brandbeanspruchung erfolgte sofort mit der Zündung des Gasbrenners. Als Flammenhöhe wird die Höhe über dem Sturz der Brandkammer definiert.

Prüfmethode:

- Originalbrandversuch nach DIN 4102-20 „(intermediate scale test)“
- Versuchsstand: Porenbeton, Höhe 6 m, Breite 2,5 m (RW) + 1,5 m (EW)
- Brandlast: Gasbrenner hinter Fassade
- Beanspruchung: 20 min, 0,4 MW, 2,5 m Flammen, sofortiger Flammenaustritt

Prüfkörper:

- verklebte PU-Dämmung
- PU/PIR-Dämmung nach EN 13165
- unkaschiert, Blockware
- Rohdichte: ca. 32 kg/m³
- Plattendicke 300 mm
- Brandverhalten: Brandverhaltensklasse E nach DIN EN 13501-1 (normalentflammbar)
- keine Brandschutzmaßnahmen

Ergebnisse:

- lokale Entzündung bei Flammenbeaufschlagung,
- langsame Brandausbreitung, kein selbstständiger Flächenbrand,
- kontinuierlicher Beitrag zum Brandgeschehen (Energieabgabe), brennt in die Tiefe,
- Nachglühen



Fotos: Kottthoff



- 1 Prüfstand vor dem Versuch
- 2 **Start des Versuchs:** sofortiger Flammenaustritt, kurzer Aufbrand (flash) an der Oberfläche (30 Sekunden) der Dämmung, Flammenhöhe ca. 1,8 m, einsetzende Verkohlung
- 3 **10. bis 20. Minute:** stabiler Abbrand mit kontinuierlicher Energieabgabe, Flammenhöhe 2 bis 3 m, Verkohlung der Oberfläche des PU-Hartschaums bis ca. 2,5 m, keine fortschreitende Brandweiterleitung, Risse und „Wafflung“ der Dämmung in die Tiefe der Dämmung, lokales Glühen
- 4 **20. Minute:** Abschalten des Brenners, lokales Nachbrennen bis 1,2 m Höhe und 1,4 m Breite, „Nachglühen“ in Plattenstößen und Rissen über weitere 10 Minuten, danach keine Branderscheinungen mehr
- 5 **22. Minute:** Nachbrennen/-glühen des PU-Hartschaums bei intensiver Brandbeaufschlagung unmittelbar am Flammenaustritt (über 20 min, T > 700 bis 800 °C)
- 6 **Nach dem Versuch:** Der normalentflammbare PU-Hartschaum war im unmittelbaren Einwirkungsbereich der Flammen des Prüfheizers thermisch verändert, verkohlt und netzartig gerissen. Die Verkohlung ging am Sturz bis zu einer Tiefe von 130 mm. In einer Höhe von 1,5 m über dem Sturz der Brandkammer betrug die Schädigungstiefe noch ca. 70 mm, in 2,5 m Höhe 40 mm in der Ecke und darüber war nur noch eine oberflächige Verfärbung feststellbar.



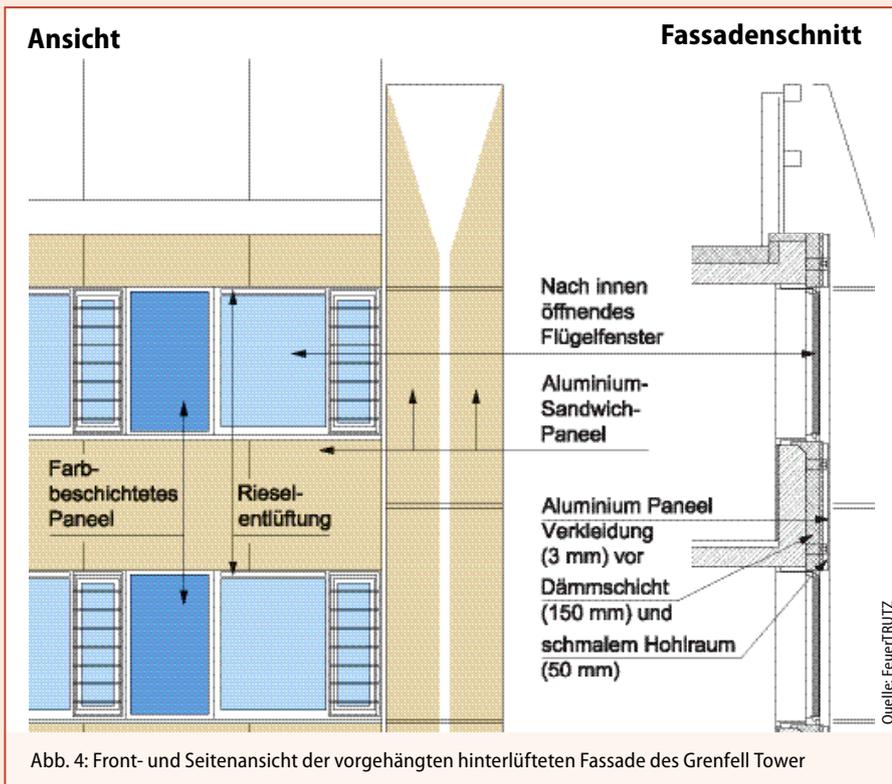


Abb. 4: Front- und Seitenansicht der vorgehängten hinterlüfteten Fassade des Grenfell Tower

Grundkonstruktionen

Einen wesentlichen Einfluss auf das Brandverhalten der beschriebenen Fassadenbekleidungen haben:

- die Wetterschutzschicht (Putz oder Platten), d.h., die flächig abdeckende äußere Schicht, die dem Brand direkt ausgesetzt ist, kann brennbar sein
- die Dämmung, in Abhängigkeit von Brennbarkeit und Dicke (Masse), kann brennbar sein
- die Ventilation zwischen den einzelnen Komponenten (nur bei VHF)

Systemverantwortung/Haftung:

WDVS werden i.d.R. von der Firma geliefert, die auch rechtlich die Verantwortung für das Fassadensystem einschließlich aller Einzelprodukte (Dämmung, Putz etc.) trägt. VHF werden in der Regel aus Produkten verschiedener Lieferanten (Einzelverantwortung der Produkte) durch den Errichter der Fassadenbekleidung zusammengestellt, der dann für das Gesamtsystem die Verantwortung tragen müsste. Eine Europäische Produktnorm für WDVS ist in Vorbereitung, für VHF noch nicht. Für VHF gibt es lediglich eine Leitlinie bzw. ein Bewertungsdokument von EOTA.

Prinzipielles Brandverhalten

Bei WDVS wird der Dämmstoff immer vollflächig mit einer armierten, zweilagigen Putzschicht abgedeckt, es entsteht ein *geschlossenes*, nicht ventiliertes System. Die thermische Beanspruchung des Dämmstoffs erfolgt nur einseitig von vorn (nur an Stürzen auch an der Unterseite). Die Putzschicht besteht i.d.R. aus maximal 10 % organischen Bestandteilen, die von einer nichtbrennbaren, anorganischen Matrix umschlossen sind (ca. 90 %). Erst nach einer Zerstörung der Putzschicht kann es zum Sauerstoffzutritt und so zu einer Entzündung eines brennbaren Dämmstoffs kommen. Der dann erfolgende Beitrag der Dämmung zum Brand ist abhängig vom spezifischen Material (thermoplastisch wie Polystyrol oder duroplastisch wie z.B. Polyurethan), seiner Dicke bzw. Masse und seiner Energiefreisetzung. Brandsperren aus nichtbrennbaren Dämmstoffen sind in der Lage, die Brandausbreitung im Dämmbereich zu unterbrechen.

Bei einer VHF, einem *offenen* System, kommt es bei einem Brand aus einem Fenster sofort zu einem *Flammeneintritt in das System* (Hinterlüftungsspalt) und die Flammen breiten sich in diesem *Kanal*

meist geschossübergreifend wie in einem Kamin rasch nach oben aus. Die Vorderseite und auch die Rückseite der Bekleidungsplatten werden dabei gleichzeitig durch Flammen beansprucht, ebenso die Oberfläche der Dämmung. Bei Verwendung einer brennbaren Dämmung wird diese sofort mit Flammen beaufschlagt und entzündet. Wenn sowohl die Witterungsschicht als auch die Dämmung brennbar sind, überlagern sich beide Effekte. Bei einer VHF steht immer genügend Sauerstoff zur Verbrennung aller Komponenten (Bekleidungsplatten und Dämmung) zur Verfügung und der Brand kann sich schnell entwickeln.

Brandsperren im Hinterlüftungsspalt von VHF können die Brandausbreitung zwar *deutlich reduzieren, aber nicht verhindern*, da der Hinterlüftungsspalt nicht vollständig geschlossen werden kann (die Ableitung von Schlagregen muss möglich bleiben).

Insgesamt handelt es sich daher bei VHF um Fassadenbekleidungs-systeme, die konstruktiv bedingt deutlich höhere Risiken im Brandfall haben, insbesondere, wenn flächig brennbare Baustoffe als Bekleidung und Dämmung eingesetzt werden. Bei VHF sollte daher bei Gebäuden mit mehr als 3 Geschossen ausschließlich eine nichtbrennbare Dämmung eingesetzt werden. **An Hochhäusern birgt die Verwendung brennbarer Baustoffe in Fassadenbekleidungen unbeherrschbare Risiken.**

Außenwandbekleidung am Grenfell Tower

Konstruktion

Nach dem *Grenfell Tower Sustainability and Energy Statement* wurde als Fassadenbekleidung für alle opaken, massiven Außenwandflächen einschließlich der Stützen eine vorgehängte, hinterlüftete Fassadenbekleidung mit Isolierung (kein Wärmedämm-Verbundsystem) geplant (s. Abbildung 4). Nach Planung sollte die VHF bestehen aus:

- Bekleidung (New Rain Screen): Zinkblech 3 mm
- Hinterlüftungsspalt: 50 mm
- Aluminium-Unterkonstruktion
- Dämmung: PU-Hartschaum (Celotex FR 5000) 150 mm an Brüstungen bzw. 100 mm an Säulen

Die Bekleidung wurde später offenbar in Aluminium-Kernverbundelemente geändert. Anscheinend war vor der Sanierung bereits eine Dämmung der Innenseiten der Außenwände in den Räumen vorhanden. Diese Innendämmung war mit 12 mm Gipskartonplatten abgedeckt. Die Art der Innendämmung ist nicht bekannt, sodass dazu keine Aussagen getroffen werden können.

Verwendete brennbare Materialien

Wetterschutzschicht:

Am Bauvorhaben wurde offenbar als außen liegende Bekleidungsplatte das Produkt „Reynobond Architecture PE“ in 3 mm Dicke eingesetzt (am Markt verfügbare Dicken: 3 bis 6 mm). Die Kernverbundplatte besteht aus einem Kern aus Polyethylen (PE) ohne Flammenschutzmittel oder einem Kern aus PE mit Flammenschutzmittel (FR) oder einem Kern aus Aluminiumhydroxid (C) und beidseitigen Deckschichten (Sandwich) aus Aluminiumblech (je 0,5 mm dick). Die Brandschutzqualität von Kern „C“ beträgt nach EN 13501-1: A2-s1, d0, also *nicht brennbar*.

Für den Grenfell Tower wurde die *normal entflammbar* (also brandschutztechnisch schlechteste, niedrigste Baustoffklasse) Ausführung (PE) gewählt.

Aluminium schmilzt bei Temperaturen von ca. 680 °C und Polyethylen bereits bei 130–140 °C (offene Kanten der Bekleidungsplatten!).

Dämmung:

- PIR/PU-Hartschaumdämmung, Bandware mit Aluminiumfolie kaschiert
- Hersteller Celotex, Produktname RS5000
- nach Aussagen des Herstellers geprüft nach BS 8414-2:2005 „*Fire performance of external cladding systems*“, Fullscale test mit einer Brandlast von 400 kg Holz
- nach Herstellerangaben erfüllt die Dämmung die Anforderungen nach BR 135 „*Fire performance of external thermal insulation for walls of multi-storey buildings*“, BRE Building research establishment
- nach Herstellerangaben ist das Produkt *damit* als Dämmung für vorgehängte hinterlüftete Fassadenbekleidungen an Hochhäusern mit mehr als 18 m Höhe geeignet (laut Prüfbericht mit nicht-brennbarer Bekleidung)

Details zum Brandverlauf

Auf den folgenden Fotos sind typische Phänomene eines Brandes an einer Fassade mit brennbarer Bekleidung und brennbarem Dämmstoff zu erkennen, die beim Brand des Grenfell Tower aufgetreten sind. Die genannten Phänomene lösten sich teilweise gegenseitig aus, überlagerten sich und steigerten sich so zu einem Inferno.



Brennend abtropfende und abfallende Bekleidung



Brennen im Hinterlüftungsspalt



Lokales Nachbrennen der PU-Dämmung nach Durchzug der Flammenfront



Lokaler geschossweiser Flammenüberschlag durch initiierte Raumbrenne. Zu einer Brandausbreitung im Gebäudeinnern liegen keine Informationen vor. Eine solche Brandausbreitung ist allerdings im vorliegenden Fall nicht auszuschließen.





Foto: Natalie_Oxford on Twitter [CC BY 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)] via Wikimedia Commons

Abb. 5: Da ab dem 10. OG weder Löscharbeiten von außen noch ein Innenangriff möglich waren, gab es dort kaum eine Überlebenschance für die Bewohner, die nicht rechtzeitig geflüchtet waren.

- Dämmdicke: 50 bis 150 mm (am Grenfell Tower 100 und 150 mm)
- Brandverhalten: BS 476 Class 0 (keine Brandausbreitung)
- Brandverhaltensklasse E nach EN 13501-1, *normalentflammbar*

Sowohl die Dämmung als auch die Bekleidungsplatten erfüllten nur die Anforderungen an die Brandverhaltensklasse E nach EN 13501-1. Die Kombination dieser beiden Materialien in einer „offenen“ Fas-

sadenkonstruktion führt zu einem kaum beherrschbaren Brand (s. Kästen Brandprüfungen VHF und PU-Dämmung).

Fassadenbrand am Grenfell Tower

Die genauen Abläufe, die Brandausbreitungsgeschwindigkeit, die Erfassung der Brandschädigung innen und außen werden aktuell gründlich erfasst und sind der Öffentlichkeit derzeit nicht zugänglich. Eine externe Tiefenanalyse wäre daher vermessen. Im Weiteren wird daher aus-

schließlich auf bereits veröffentlichte Informationen und Fotos zurückgegriffen und lediglich der Versuch einer allgemeinen Interpretation für den Fassadenbereich unternommen.

Allgemeine Brandentwicklung

Der Brand wurde offenbar durch einen defekten Kühlschrank in der Küche einer Wohnung in der 4. Etage ausgelöst. Um 00:54 Uhr wurde die Feuerwehr alarmiert. In verschiedenen Publikationen wird berichtet, dass nach Schilderung von Augenzeugen bzw. Betroffenen beim Eintreffen der Feuerwehr um 1:00 Uhr der Brand als *zwar entwickelt, aber beherrschbar* eingeschätzt wurde. Das galt wohl auch nach Aussage von Personen, die das Gebäude ca. 1:10 Uhr verließen, selbst zu diesem Zeitpunkt noch. Erst kurz danach kam es zu der rasanten Brandausbreitung an der Fassade. Wenn man den Zeitpunkt des Brandausbruchs mit ca. 0:50 Uhr ansetzt, dann lag – unter Berücksichtigung des eingangs in dieser Ausarbeitung beschriebenen Zeitablaufs eines typischen Raumbrandes (s.o.) – der Zeitpunkt des *Flashover* wahrscheinlich bei ca. 1:00 Uhr bis 1:05 (Zeitpunkt des Eintreffens der ersten Feuerwehren und Beginn der ersten Löscharbeiten). Ab diesem Moment traten Flammen aus dem Fenster des Brandraums aus und beanspruchten die Fassade.

Der dargestellte Brandversuch der VHF mit einer Bekleidung aus normalentflammbaren Alu-Kernverbundplatten mit PE-Kern (s. Infokasten Brandprüfung VHF) hat gezeigt, dass es 7 bis 8 Minuten dauerte, bis die Verbundplatten in einen Vollbrand übergingen. Stellt man die Intensität des Realbrandes und das Vorhandensein der brennbaren PU-Dämmung in Rechnung, betrug die Spanne von der ersten Beaufschlagung der Fassade bis zum Beginn des Extremfeuers wahrscheinlich einige Minuten weniger. Diese Annahme würde zu den Aussagen der Feuerwehr passen, dass das Feuer an der Fassade ab ca. 1:10 Uhr außer Kontrolle geriet (s. Infokasten Details des Brandverlaufs).

Von diesem Zeitpunkt an raste der Brand in wenigen Minuten an der Gebäudefassade bis zum 24. Geschoss nach oben und im Anschluss als durchgängige Flam-



Foto: Metropolitan Police London

Abb. 6: Die oberen Stockwerke des Grenfell Tower sind völlig ausgebrannt, wie Polizeifotos zeigen.

menfront über mehr als 15 Geschosse seitlich um das gesamte Gebäude – auch um Außenecken! Dabei wurden in vielen Wohnungen und ganzen Etagen offenbar weitere Raumbrände initiiert – ein Szenario des Schreckens.

Löschmöglichkeiten der Feuerwehr

Oberhalb einer Höhe von ca. 10 Geschossen, vielleicht aber auch 12, war offenbar ein Löschangriff der Feuerwehr von außen nicht mehr möglich (s. Abbildung 5). Wenn dann innerhalb des Gebäudes nicht gelöscht werden kann, können die Feuerwehrleute diese Etagen nur ausbrennen lassen ohne die Möglichkeit einer Hilfeleistung.

Die Fassaden des Gebäudes sind oberhalb unterschiedlicher Höhen (5. bis 14. Etage) bis zur Oberkante des Gebäudes weitgehend verbrannt. Lokal finden sich noch Reste nicht verbrannter PU-Dämmung (tiefere Schichten).

In den Bereichen, in denen die Fassadenbekleidungen gebrannt haben, sind,

soweit erkennbar, die dahinterliegenden Wohnungen komplett ausgebrannt. Die obersten 10 Etagen, die die Feuerwehr offenbar weder von innen noch von außen erreichen konnte, sind völlig ausgebrannt (s. Abbildung 6). Die Überlebenschance der Bewohner in dieser Zone war äußerst gering und für die Feuerwehrleute muss diese Ohnmacht-Erfahrung schrecklich gewesen sein.

Schlussfolgerungen

Ein solcher Brand muss zwingend gründlich und unabhängig ausgewertet werden, um eine Wiederholung künftig sicher zu verhindern. Die physikalischen Gesetze des Brandes sind überall gleich. In einigen Ländern Europas (u.a. Deutschland) haben die anerkannten Regeln des Brandschutzes von Hochhäusern schon seit Langem Eingang in die Baugesetzgebung gefunden, bisher leider noch nicht in allen. Ein einzelner Wohnraumbrand ist nicht zu verhindern, seine katastrophalen

Auswirkungen auf mehr als 100 andere Wohnungen eines Gebäudes jedoch sehr wohl.

Bei konsequenter Anwendung der oben genannten Maßnahmen kann ein solches Brandereignis ausgeschlossen werden.

Es bleibt zu hoffen, dass die notwendige Aufarbeitung dieses Brandinfernos unabhängig von politischen Befindlichkeiten, behördlicher Schranken sowie unbeeinflusst von Lobbyismus und medialer Polemik erfolgt. Das ist man den Opfern schuldig. ■



Autor

Dipl.-Phys. Ingolf Kotthoff

Sachverständiger für Brandschutz an Fassaden, Stadtlängsfeld