



Brandschutz-Verglasungen

Hans-Henning Nolte

Die Harmonisierung der Europäischen Normen für Brandprüfungen von Bauteilen hat zu etwas erhöhten Anforderungen geführt. Es wird dargestellt, wie die unterschiedlichen Systeme von Brandschutzverglasungen wirken, um sowohl die Anforderungen der Normen zu erfüllen als auch in unterschiedlichen Brandsituationen die erwartete Schutzfunktion zu gewährleisten.

Ein Sportler, der sich nach intensivem Training vorgenommen hat, einen neuen Rekord über die 100 m Sprint-Strecke aufzustellen, wäre sicher sehr schockiert von einer neuen Entscheidung, seine Leistung mit einer Eieruhr zu messen anstelle einer modernen elektronischen Stoppuhr.

Der Autor war über lange Zeit verantwortlich für die Entwicklung der Brandschutzgläser Pyrostop und Pyrodur und arbeitet z. Zt. am Pilkington Technology Centre in Lathom, England.

Man mag fragen, was dies mit Brandschutzverglasungen zu tun hat. Nun, das Beispiel beschreibt die augenblickliche Situation der Europäischen Hersteller von Brandschutz-Bauteilen, wenn sie gemäß den neuen Normen die Brandschutzleistung ihrer Produkte testen und klassifizieren lassen wollen.

Es existiert ein ganzer Satz neuer, gemeinsamer Europäischer Normen zur Prüfung der Fähigkeit von Trennwänden, Türen, tragenden und nicht tragenden Wänden, Dächern, Fußböden und anderen Bauteilen, die Ausbreitung von Bränden zu verhindern.



Alle diese Normen wurden kürzlich verabschiedet bei der Endabstimmung, dem letzten Schritt im Europäischen Normungsverfahren. Unmittelbar vor dieser Endabstimmung wurde jedoch eine wesentliche Änderung eingeführt, die alle Brandprüfnormen betrifft: Das Instrument zur Bestimmung des wichtigsten Prüfparameters – das ist die Temperatur im Prüfofen – wurde geändert. Anstelle der bisher verwendeten gewöhnlichen Draht-Thermoelemente wurden Platten-Thermoelemente eingeführt. Diese Thermometer sind während der ersten Minuten eines Brandversuchs prak-

tisch „blind“ wegen ihrer höheren Wärmekapazität. Die mit diesen Geräten erhaltenen Temperaturanzeigen sind daher während der ersten 5 bis 10 Minuten eines Brandversuchs erheblich niedriger als die wahre Lufttemperatur im Prüfofen.

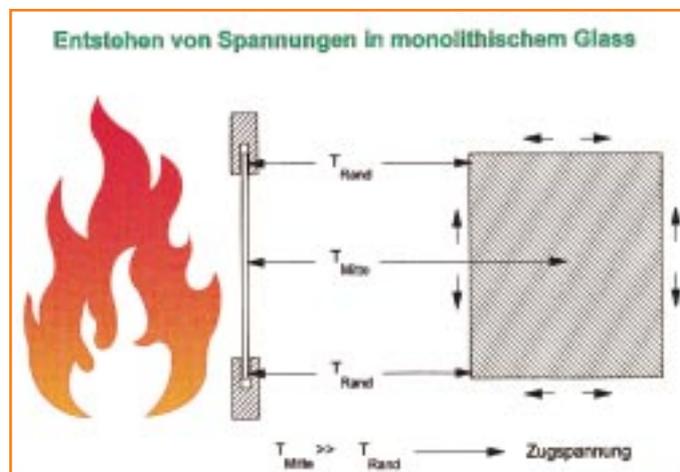
Diese Änderung wurde natürlich nicht ohne Grund eingeführt! Aber vor einer ausführlichen Erläuterung der Gründe für diese Entscheidung und ihrer Konsequenzen mit allen Argumenten dafür und dagegen wird es nötig sein, die verschiedenen Typen von Brandschutzverglasungen und die sie betreffenden neuen Europäischen Normen vorzustellen.

Arten von Brandschutzverglasungen

Normales Glas besteht aus Oxiden und ist daher nicht brennbar, aber es zerspringt sehr leicht, wenn es der Hitze ausgesetzt wird. Die Ursache für dieses Verhalten von gewöhnlichem Glas ist seine relativ geringe Biegezugfestigkeit verbunden mit seinem relativ hohen thermischen Ausdehnungskoeffizienten. Wenn Glas unterschiedlich erwärmt wird, entstehen in seinen kälteren Bereichen Zugspannungen, die zum plötzlichen Bruch führen.

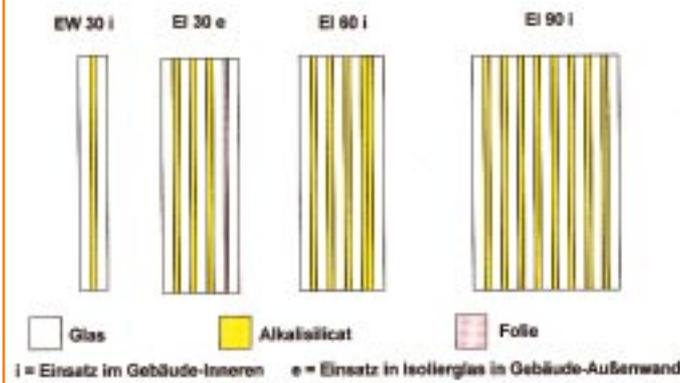
Wenn man also Flachglas in Brandschutzverglasungen benutzen will, muß man diese Neigung zum spontanen Bruch unter Hitze-Einwirkung entweder entscheidend reduzieren oder durch andere Maßnahmen kompensieren.

Durch thermisches Vorspannen von gewöhnlichem Kalk-Na-





Strukturen einiger PYROSTOP/PYRODUR-Hitzeschildgläser



tron-Glas wird eine bestimmte permanente Spannungsverteilung im Glas erzeugt mit erhöhter Druckspannung in den Oberflächen-Zonen. Wenn im Brandfall durch Wärmeausdehnung oder mechanische Einflüsse Zugspannungen im Glas entstehen, führen sie nur dann zum Bruch, wenn sie höher sind als diese eingefrorenen Druckspannungen in der Glasoberfläche. In geeigneten Verglasungssystemen kann mit solchen vorgespannten Kalk-Natron-Gläsern eine gewisse Brandschutzwirkung erreicht werden.

Wenn man durch Veränderung der Glas-Zusammensetzung den Wärmeausdehnungskoeffizienten vermindert, kann man die Feuerwiderstandseigenschaften von Glas ebenfalls verbessern. Glaskeramik-Scheiben haben einen sehr geringen Wärme-Ausdehnungs-Koeffizienten. Sie können daher nicht thermisch vorgespannt werden, aber ein Bruch kann nicht mehr

durch thermische Spannungen ausgelöst werden. Borosilicat-Glas besitzt einen niedrigeren Wärme-Ausdehnungs-Koeffizienten als Kalk-Natron-Glas, kann aber noch thermisch vorgespannt werden. Beide Glas-Typen werden in Brandschutzverglasungen eingesetzt.

Gewöhnliches Kalk-Natron-Glas kann aber auch durch eine innere oder äußere Armierung hervorragende Brandschutzeigenschaften erhalten. In diesem Fall wird der frühzeitige Bruch infolge thermischer Spannungen dadurch kompensiert, daß die Armierung alle Bruchstücke sicher zusammenhält.

Im Fall von Draht(spiegel)glas wird das durch das eingebettete punktgeschweißte Drahtnetz erreicht. Draht-Profilglas reagiert in ähnlicher Weise, benötigt aber wegen seiner strukturellen Stabilität nur unverbundene Drähte in Längsrichtung. Bei Glasstein-Wänden verhindert die erhebliche Dicke der Glassteine in Verbindung mit der äußeren Armierung durch geeignete Mörtel die Ausbreitung des Brandes nach dem Bruch der Glassteine.

Einige der erwähnten Systeme können auch zu Verbundglas verarbeitet oder mit anderen Gläsern zu Isolierglas kombiniert werden, um zusätzlich zur Brandschutzleistung weitere Funktionen zu erhalten. Alle bisher behandelten Typen können in geeigneten Verglasungssystemen für einen gewissen Zeitraum die Ausbreitung von Rauch und Flammen verhindern. Sie bieten jedoch nur geringen Schutz gegen die gefährliche, vom Brand ausgehende Hitzestrahlung.

Andere mit einer eingeschlossenen „Armierung“ versehene Gläser verdan-

ken ihre Brandschutzleistung einer oder mehrerer unsichtbarer spezieller Zwischenschichten, die z. B. aus Alkalisilicat mit einem bestimmten Wassergehalt bestehen.

Diese Gläser reagieren in ganz anderer Weise im Brandfall und bieten zusätzlich zu ihrer raumtrennenden Funktion einen erhöhten Schutz gegen die Strahlungswärme. Solche (und andere) Typen von Hitzeschild-Gläsern können daher im allgemeinen eine höhere Klassifizierung nach den neuen Europäischen Normen erhalten. Sie haben in letzter Zeit eine sehr weite Anwendung gefunden und ermöglichen es der Bauplanung, einen hochwertigen vorbeugenden Brandschutz mit einer eleganten transparenten Architektur zu verbinden, da die Verglasung alle Sicherheitsanforderungen erfüllt, die früher nur durch massive undurchsichtige Wände erreicht werden konnten. Einige Beispiele attraktiver Brandschutzverglasungen, die nach sorgfältigen Brandprüfungen ihre Zulassung erhielten, zeigen diese manchmal erstaunlichen Möglichkeiten.

CEN-Brandprüfnormen und ihre Bedeutung für die unterschiedlichen Brandschutzverglasungen

Die neuen Europäischen Normen für Brandprüfungen von Bauteilen, die Glas enthalten können, sind in der Liste zusammengestellt. „Tabelle 1“

Die Basis-Norm EN 1363-1 enthält die wichtigsten Anforderungen und schreibt beispielsweise die Temperatur- und Druck-Bedingungen vor, denen die Bauteile während der Prüfung ausgesetzt werden müssen. Die Temperatur/Zeit-Kurve ist die gleiche, wie sie schon bisher in den ISO-Normen und den meisten nationalen Normen definiert wurde. Sie ist bestimmt durch die Gleichung:

$$T = 345 \cdot \log(8 \cdot t + 1) + 20$$

Dabei ist „T“ die mittlere Temperatur aller Thermoelemente im Ofen in °C und „t“ die seit Beginn des Versuchs verstrichene Zeit in Minuten.

Aber (!) als Ofen-Thermoelemente werden von jetzt ab die Platten-Thermometer verwendet. Sie sind in einer



Ebene parallel zu der zu prüfenden Tür oder Trennwand im Abstand von 10 cm angeordnet mit der isolierten Seite zum Prüfling, so daß die Metallplatten-Seite direkt den Flammen ausgesetzt ist und im Strahlungsaustausch mit den Ofenwänden steht. Die früher verwendeten Draht-Thermoelemente waren in der gleichen Ebene angeordnet. Sie besaßen eine geringe Wärmekapazität und keine Isolierung und reagierten rasch auf sich ändernde Bedingungen; sie wurden aber auch beeinflusst von der Art des Prüflings, da sie in direktem Strahlungsaustausch mit ihm standen.

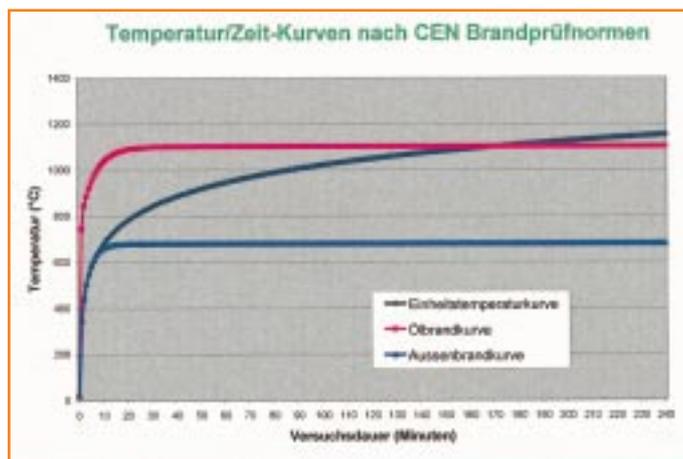
Beispielsweise hat ein nicht-isolierendes Glas, dessen Oberflächentemperatur während der gesamten Testdauer geringer ist als die Temperatur der Ofengase, durch den Strahlungsaustausch eine Kühlwirkung auf diesen Typ von Thermoelementen, was zu einem leichten Anstieg der Ofentemperaturen führen kann, um diesen Effekt auszugleichen. Andererseits konnten eine sehr gut isolierende Oberfläche oder eine heftig brennende Holztür die Ergebnisse in anderer Weise beeinflussen. Das Plattenther-

momenter kann wegen seiner Isolierung auf der Prüflingsseite solche Einflüsse reduzieren.

Die wichtigste Besonderheit des Platten-Thermometers wird durch seine große schwarze Metallplatte bedingt, die seine thermische Trägheit vergrößert. Daher reagiert es schwächer auf rasche Änderungen der Gas-Temperatur; aber es reagiert stärker auf die Strahlung der Flammen im Ofen. In einem mit Gas beheizten Ofen, in dem zu Beginn eines Brandversuchs eine geringere Strahlungsintensität herrscht, führt der Einsatz der Platten-Thermoelemente zu einer Verschärfung der Versuchsbedingungen. Da sie so langsam auf die Wärmekonvektion reagieren, können die von ihnen in den ersten Minuten eines Brandversuchs an die Kontroll-Instru-

mente übermittelten Temperaturwerte mehrere 100 °C niedriger als die wahren Ofentemperaturen sein, was zu enormen Temperaturüberschreitungen führen kann.

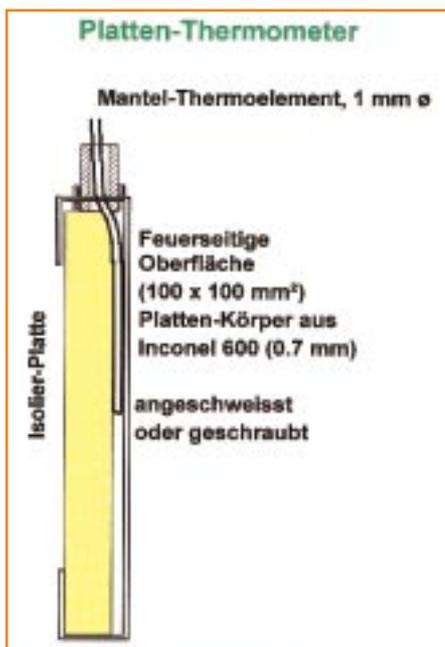
In einem mit Öl beheizten Ofen, in dem von Anfang an eine sehr starke Strahlung herrscht, ist dieser Effekt erheblich geringer. Jetzt verstehen wir, warum das Platten-Thermometer eingeführt wurde: Aufgrund der Tatsache, daß in einigen Europäischen Ländern Öl-Brenner, in anderen Gas-



Norm	Bereich	Für Verglasungen besonders wichtige Anforderungen	Mögliche Klassifizierungen
EN 1363-1	Allgemeine Anforderungen	Einheits-Temperaturzeitkurve ¹⁾ : $T = 345 \log_{10}(8t+1) + 20$ Ofenüberdruck ≤ 20 Pa	Siehe unten EN 1364-1 bis EN 1634-3
EN 1363-2	Alternative und ergänzende Verfahren	a) Temperaturzeitkurve ²⁾ : $T = 1080 (1 - 0.325 e^{-0.187t} - 0.675 e^{-2.85t}) + 20$ b) Temperaturzeitkurve ³⁾ : $T = 660 (1 - 0.687 e^{-0.32t} - 0.313 e^{-3.8t}) + 20$ c) Hitzestrahlung in 1 m Abstand ≤ 15 kW/m ²	Öl-Brand, (noch) nicht für Klassifiz. genutzt Außenbrand, Anwend. für Außenwände. Klassifizierungen: Siehe unten EN 1364-1 to EN 1634-3
EN 1364-1	Nichttragende Wände	Raumabschluß: (Öffnungen < 25 mm \varnothing or $< 6 \times 150$ mm ² , keine Zündung des Wattebauschs, keine Flammen auf feuerabgewandter Seite) bei einseitiger Brandprüfung gemäß EN 1363-1 Strahlung: • Hitzestrahlung in 1 m Abstand ≤ 15 kW/m ² Isolation: • mittlerer Temp.Anstieg auf feuerabgew. Seite ≤ 140 K, maximaler Temp.Anstieg auf feuerabgew. Seite ≤ 180 K	E 20, 30, 60, 90, 120 EW 20, 30, 60, 90, 120 EI 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240
EN 1365-1	Tragende Wände	Tragfähigkeit: (axiale Verkürzung $C \leq h/100$ mm und Geschwindigkeit der axialen Verkürzung $dC/dt \leq 3h/1000$ mm/min.) ²⁾ Alle Anforderungen von EN 1364-1, siehe dort. Mögliche zusätzliche Anforderung: Widerstand gegen Stoßbeanspruchung ≥ 3000 Nm	RE 20, 30, 60, 90, 120, 180, 240 REI 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 REI-M 30, 60, 90, 120, 180, 240 REW 20, 30, 60, 90, 120, 180, 240
EN 1365-2	Decken und Dächer	Tragfähigkeit: (Durchbiegung $D \leq L^2/400$ d (mm) und Durchbiegungsgeschwindigkeit $dD/dt \leq L^2/9000$ d (mm/min.) ³⁾ Alle Anforderungen von EN 1364-1, siehe dort.	RE 20, 30, 60, 90, 120, 180, 240 REI 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240
EN 1634-1	Feuerschutzabschlüsse	Alle Anforderungen von EN 1364-1 (s. dort), mit der Ausnahme, daß die max. zulässige Temp. auf dem Tür-Rahmen entweder 180 °C (EI ₁) oder 360 °C (EI ₂) sein kann. Mögl. Zusatzforderung: Selbstschließ. Eigenschaft	E 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 EI ₁ 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 EI ₂ 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 EW 20, 30, 60
EN 1634-3	Rauchschtztüren	Leckrate wird bei Raumtemp. (S ₁) oder bei 200 °C (S ₂₀₀) bestimmt.	S ₁ , S ₂₀₀

1): T = Temperatur in °C, t = Versuchsdauer in Minuten. 2): h = Anfangshöhe in mm.

3): L = lichte Spannweite in mm, d = Abstand zwischen den äußeren Fasern von Druck- und Zug-Zone



Brenner zur Brandprüfung von Bauteilen eingesetzt werden, waren bisher die von identischen Prüflingen in den verschiedenen Ofentypen erreichten Prüfergebnisse oft sehr unterschiedlich. Das führte zu „besseren“ Ergebnissen bei der Verwendung von Gas-Brennern. So schien also die Einführung der Platten-Thermometer der billigste Weg zu sein, zu vereinheitlichten Prüfbedingungen zu kommen, denn diese unannehmbaren Unterschiede konnten so wenigstens eingeschränkt werden. Das ist der Grund dafür, daß die Normungsbehörden der Europäischen Länder dieser Maßnahme zustimmten, da niemand bereit war, für neue Ofen-Konstruktionen Geld auszugeben. Wenn man sich auf eine wirkliche Vereinheitlichung der Öfen verständigt hätte, wäre das unvermeidlich gewesen!

Wenn wir die erheblichen Unterschiede zwischen der wirklichen Gas-Temperatur und der von den Platten-Thermometern angezeigten Gas-Temperatur zu Beginn der Brandversuche betrachten, wird deutlich, daß die Einführung der Platten-Thermometer der Versuch ist, einen Fehler durch einen anderen zu kompensieren!

Das mag gerechtfertigt sein, wenn keine nachteiligen Nebeneffekte zu erwarten sind. Es war daher notwendig zu untersuchen, wie die unter-

schiedlichen Produkte benachteiligt oder eventuell begünstigt werden.

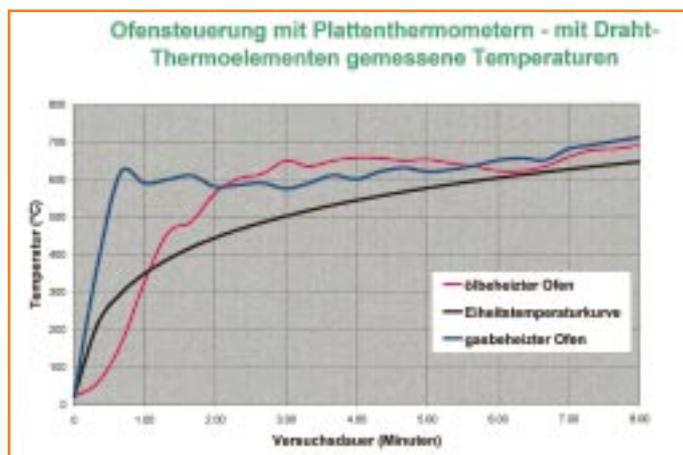
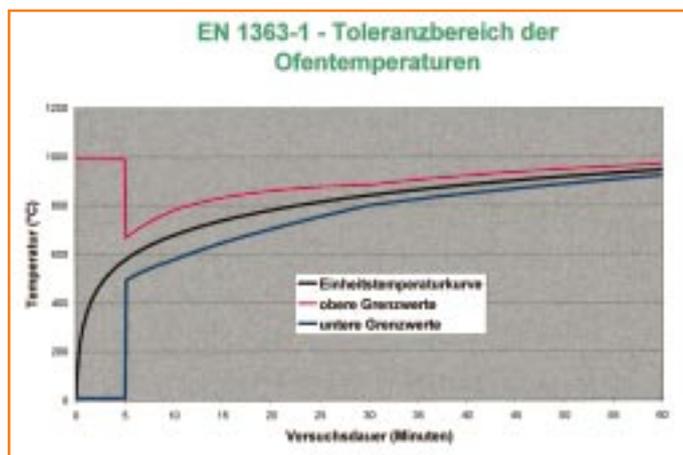
Wir, eine Gruppe von Glas-Herstellern, (Glaverbel, Pilkington, Schott, St. Gobain) haben das für unsere unterschiedlichen Typen von Brandschutzgläsern getan, und andere industrielle Gruppen haben das für ihre Produkte durchgeführt.

Es folgt ohne jede Untersuchung schon aus der Absicht für die Maßnahme, daß alle Produkte Probleme haben werden, die bislang Brandversuche nur in mit Gas befeuerten Öfen knapp bestanden haben, und in mit Öl befeuerten Öfen versagt hätten. Für die betroffenen Hersteller wird es kostspielig sein, neue Produkte zu entwickeln.

Ausgehend von der Tatsache, daß in der Vergangenheit in den verschiedenen Ländern bei Brandprüfungen unterschiedliche Ergebnisse erzielt wurden und daß die Vereinheitlichung der Europäischen Normen und Prüfverfahren angestrebt wird, ist es jedoch unvermeidlich, sich entweder auf ein niedrigeres oder ein hohes Prüfniveau – auf jeden Fall auf ein gemeinsames Prüfniveau zu einigen. Das macht natürlich gewisse Anpassungen unabdingbar.

Die Verglasungen, die von uns bei einem Rundversuch getestet wurden, bestanden die Normprüfung auch dann, wenn der Ofen mittels der Platten-Thermometer gesteuert wurde, aber die Versuche zeigten ebenfalls, daß auch bei Steuerung durch Platten-Thermometer immer noch sehr unterschiedliche Ergebnisse in verschiedenen Ofentypen erzielt werden können. Die Prüfbedingungen hängen nicht nur von der Art

des Brennmaterials ab, sondern auch von Besonderheiten der Ofenstruktur wie z. B. der Ofentiefe oder der Dichte der Ofenauskleidung. Es ist ganz einfach ausgeschlossen, während der ersten Minuten eines Brandversuchs mit all den in Europa existierenden unterschiedlichen Ofentypen gleiche Prüfbedingungen zu gewährleisten! Um mit dieser Situation überhaupt leben zu können, wurden die Anforderungen an die Toleranzwerte der Ofentemperatur so festgelegt, daß die vorhandenen Öfen ohne Veränderung benutzt werden können. Innerhalb der ersten 5 Minuten eines Brandversuchs ist gemäß der Basis-Norm EN 1363-1 jede (!) Abweichung von der Einheits-Temperatur-Kurve erlaubt, und danach darf bis zur 10. Minute die Fläche unterhalb der Einheits-Tempe-



ratur-Kurve bis zu $\pm 15\%$ von den Standwerten abweichen. Dies bezieht sich auf die vom Platten-Thermometer angezeigten Temperaturen. Die wahr-



ren Gas-Temperaturen können erheblich mehr abweichen, werden aber nicht erfaßt.

Für Brandversuche von mehr als 60 Minuten Dauer werden diese Toleranzen auf $\pm 2,5\%$ abgesenkt, aber dann können diese Anforderungen auch sehr leicht erfüllt werden.

Es ist leicht verständlich, daß die für lange Feuerwiderstandszeiten vorgesehenen Produkte wie z. B. Multi-Verbundscheiben für Brandschutzverglasungen von dieser Änderung der Brandversuchsbedingungen nur wenig betroffen werden. Es ist jedoch möglich, daß einige Produkte, die bisher nur in mit Gas befeuerten Öfen die Norm-Anforderungen knapp bestanden haben, verbessert werden müssen, um sie den neuen härteren Prüfbedingungen anzupassen.

Produkte für kürzere Feuerwiderstandszeiten werden eher betroffen sein, da sich für sie eine relativ stärkere Verschärfung der Prüfbedingungen ergibt, insbesondere dann, wenn sie empfindlich auf einen sehr raschen Temperaturanstieg reagieren. Einige Probleme wurden von Herstellern hölzerner Brandschutztüren und auch aus Kreisen der Stahlindustrie berichtet. Soweit Glas betroffen ist, sind die Reaktionsmechanismen der unterschiedlichen Systeme ganz verschieden:

Draht(spiegel)glas, Drahtprofilglas und Glassteinwände sind armierte Systeme. Sie brechen ohnehin während der ersten Minuten eines Brandversuchs, aber das beeinträchtigt normalerweise nicht ihre Brandschutzfunktion, solange Flammen und Rauch nicht hindurchtreten können. Ein entsprechendes Verhalten kann auch von den Hitzeschild-Verbundgläsern angenommen werden, da das Springen ihrer feuerseitigen Scheiben zu ihrem normalen Funktionsablauf gehört. Die Temperaturen auf der feuerabgewandten Seite dieser Gläser bleiben für lange Zeit mehr oder weniger unabhängig von den Bedingungen auf der Brandseite, und die von ihnen ausgehende Hitzestrahlung ist vernachlässigbar gering. Wegen ihrer armierten Multi-Verbundstruktur widerstehen sie

auch stärkeren mechanischen Kräften, wie sie im Brandfall in zahlreichen Metallrahmen-Systemen auftreten können, die sich manchmal sehr stark zum Feuer hin verbiegen.

Monolithische Gläser bieten nur so lange Schutz gegen die Ausbreitung von Flammen und Rauch, wie kein Bruch auftritt, der sofort den Verlust der raumabschließenden Funktion zur Folge hätte. Daher hatten einige Sachverständige angenommen, daß einige dieser Gläser – insbesondere das gewöhnliche vorgespannte Kalk-Natron-Glas – bei Prüfungen nach den neuen Normen erhebliche Probleme infolge des sehr raschen Temperaturanstiegs haben würden. Von den Teilnehmern unseres Rund-Versuchs wurden solche Probleme jedoch nicht berichtet. Es ist natürlich erforderlich, jeden Rahmen so zu konstruieren, daß auf das Glas keine gefährlichen Biegekräfte übertragen werden, insbesondere im Fall der Glaskeramik, die gegen mechanische Spannungen sehr empfindlich ist.

Alle diese Betrachtungen gelten im Prinzip nicht nur für die neuen verschärften Prüfbedingungen, sondern auch für jeden natürlichen Brandfall, in dem die Brandlast und der Brandverlauf ganz erheblich von den Norm-Versuchsbedingungen abweichen können. So wurde in manchen Fällen von ganz extrem raschen Temperaturanstiegen berichtet.

Schlußfolgerungen

Die neuen Europäischen Brandversuchs-Normen können eine gewisse Angleichung der in unterschiedlichen Europäischen Prüflabors erhaltenen Prüfergebnisse bewirken, aber erhebliche Unterschiede werden weiterhin bestehen. Die Testbedingungen wurden verschärft, besonders für die ersten Minuten eines Brandversuchs, aber die verschiedenen Produkte, die von der Europäischen Glasindustrie entwickelt wurden, um einen transparenten vorbeugenden Brandschutz zu

ermöglichen, können die neuen Anforderungen bestehen oder können ihnen angepaßt werden.

Die Einführung des Platten-Thermometers ist ein Schritt in die richtige Richtung, aber es ist nicht der große Wurf! Es ist nur ein halbherziger Schritt, der viele Fragen offen läßt, da die Prüfergebnisse je nach Prüflabor weiterhin erheblich voneinander abweichen werden. Der erste Schritt bei der Vereinheitlichung von Prüfnormen sollte es sein, sich auf ein einheitliches gemeinsames Prüfgerät zu einigen, wie es z. B. bei der Einführung des neuen Schlagkörpers zur Prüfung von Verbundsicherheitsglas geschehen ist. Bei den Brandprüfnormen wurde dieses wichtige Prinzip bisher mißachtet. Es sollte das Ziel zukünftiger Normungsaktivitäten sein, auf der Einführung eines Standard-Ofen-Typs für die Brandprüfungen zu bestehen. Sobald das erreicht ist, besteht kein Bedarf mehr am Platten-Thermometer. Es sollte dann wieder abgeschafft werden zugunsten eines rasch reagierenden (eventuell auf der Prüflings-Seite isolierten) Draht-Thermoelementes, welches die wahren Prüfbedingungen dokumentiert. □



Bilder: Pilkington