[5] H. Hennecken: C. Konstr. Sympos. d. DECHEMA (1974).

[6] R. Schwanecke: Arbeitsschutz 1, 3 (1974).

[7] A. Voellmy: Schweizer Bauzeitung 86, 221 (1968).

[8] H. Schardin u. a.: Ziviler Luftschutz 12, 283 (1954).

[9] G. Bambynek u. a.: Erdöl und Kohle, Bd. 27, Heft 9, 503 (1974).

[10] W. Schneeweiss: Zuverlässigkeitstheorie, Springer Verlag (1973).

[11] B. J. Garrick u. a.: USAEC-HN 190 (1967).

[12] DIN 25424: Vorlage Nov. 73.

[13] K. W. Schneider: 6. Konstr. Sympos. d. DECHEMA (1974).

[14] WASH 740 (1957), WASH 1250 (1969), WASH 1400 – Reaktor Safety Study (1974).

[15] K. H. Lindackers: Vortrag RWTH-Aachen, Inst. f. elektr. Anlagen (1975).

[16] A. Kuhlmann: VdTÜV-Vortragsreihe: Energie u. Umwelt (1974).

[17] P. Voigtsberger: VFDB Zeitschr. 24. Jahrg., Heft 4, S. 129 (1975).

[18] Antwort der Bundesregierung auf die Große Anfrage zur friedl. Nutzung der Kernenergie der Bundesrepublik Deutschland (1975).

Der Einsatz des Betonspritzverfahrens (nach DIN 18 551 - Spritzbeton, Herstellung und Prüfung) zur Reparatur von feuergeschädigten Betonbauwerken

G. Ruffert

I. Allgemeines

Spritzbeton ist Beton, der mittels Druckluft in einer Schlauch- oder Rohrleitung zur Einbaustelle gefördert und dort mit hohem Druck auf die Auftragsflächen gespritzt wird. Die Betonmischung wird dabei trocken gefördert, erst beim Austritt aus dem Schlauch wird in einer Düse das erforderliche Anmachwasser zugegeben. Durch die Förderung des Materials in trockenem Zustand erhält es eine hohe Geschwindigkeit und damit eine gute Haftung und Verdichtung des Betons an der Aufprallstelle.

Dieses Verfahren, in Deutschland seit 1920 bekannt, wird für eine Vielzahl von Anwendungsgebieten im Hoch- und Tiefbau eingesetzt; es ist seit einigen Jahren nach DIN 18 551 (Spritzbeton) genormt. Es eignet sich verfahrensbedingt ganz besonders für die Herstellung von Betonschichten geringer Dicke auf Konstruktionen mit unterschiedlichen Abmessungen bzw. komplizierten Formen, also insbesondere zur Reparatur von schadhaften Betonbauteilen. Die Notwendigkeit zur Durchführung solcher Sanierungen ergibt sich fast immer nach Brandeinwirkung auf Stahlbetonkonstruktionen. Der Baustoff Stahlbeton wurde in den letzten Jahrzehnten wegen seiner hohen Materialfestigkeiten und möglichen Formbarkeit für eine Vielzahl größerer Bauobjekte eingesetzt. Als Folge dieser sehr raschen Zunahme von Stahlbeton-

Obering. G. Ruffert i. F. Torkret GmbH., Essen.

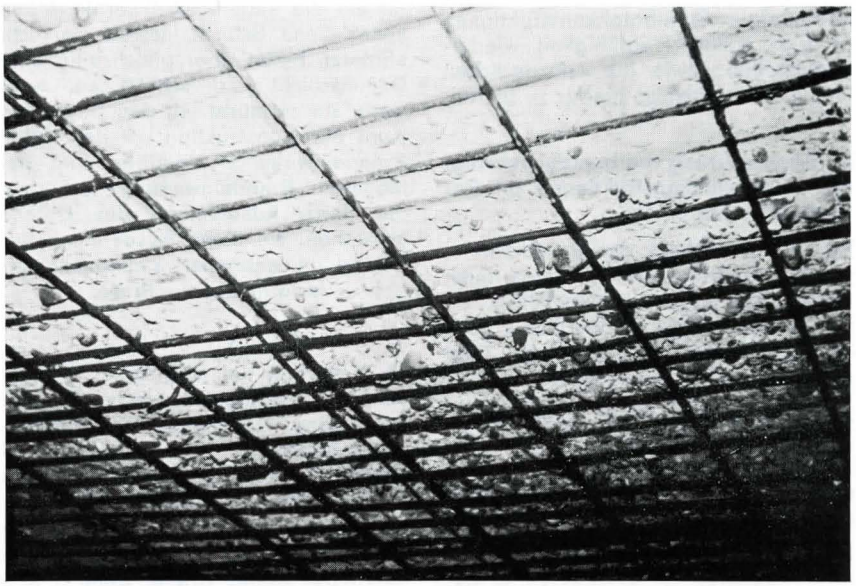

Bild 1. Brandschäden durch Abplatzen der Betondeckung (Archivfoto der Firma Torkret).

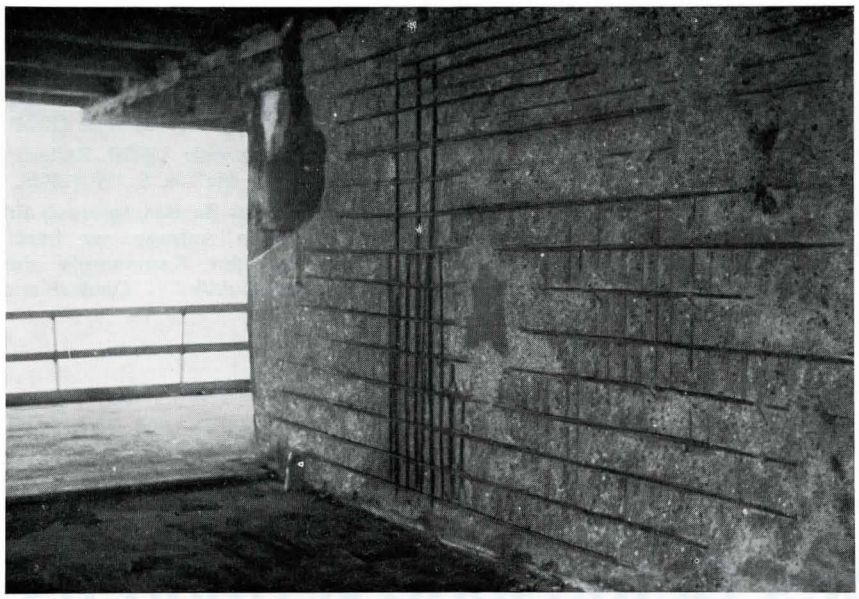

Bild 2. Brandschäden im Hochhaus am Platz der Republik, Frankfurt (Archivfoto der Firma Torkret).

bauten treten bei Schadenfeuern in immer zunehmendem Maße Schäden an Stahlbetonkonstruktionen auf. Erschwerend kommt in letzter Zeit hinzu, daß sich bei Brand von PVC-Materialien erhebliche Gefahren für die Korrosion der Bewehrungsstähle im Beton ergeben.

Die Tatsache, daß die Sanierung beschädigter Stahlbetonkonstruktionen fast ausschließlich unter Anwendung des Betonspritzverfahrens erfolgt, hat den Deutschen Ausschuß für Stahlbeton veranlaßt, außer der bereits 1974 veröffentlichten Norm „Spritzbeton DIN 18 551" jetzt auch Richtlinien für die Reparatur und Verstärkung von Betonkonstruktionen mit Spritzbeton zu erarbeiten; sie werden in Kürze veröffentlicht. Unter Anwendung dieser Norm und dieser Richtlinie wird es in Zukunft möglich sein, auch stark beschädigte Stahlbetonkonstruktionen in ihrer vollen Tragfähigkeit wiederherzustellen sowie die erforderlichen Festigkeitsnachweise hierfür zu führen.

II. Ausbesserung von brandgeschädigten Stahlbetonkonstruktionen im Betonspritzverfahren

Bei der Ermittlung der Schadenhöhe für die Wiederherstellung eines durch Feuer geschädigten Bauwerkes ist es von entscheidender Bedeutung, ob das Bauwerk repariert werden kann oder aber teilweise erneuert werden muß.

Zur Beurteilung dieser Frage kann man sich heute auf über 50 Jahre Erfahrung bei der Reparatur von beschädigten Stahlbetonkonstruktionen stützen.

Mit diesen Erfahrungen war der Deutsche Ausschuß für Stahlbeton in der Lage, Richtlinien für „Reparatur und Verstärkung von Betonkonstruktionen" herauszugeben.

Welche Probleme stellen sich bei brandgeschädigten Stahlbetonkonstruktionen?

1. Art der Schäden:

a) Beton

Der Festigkeitsverlust des Betons bei Erhitzung, d. h. vor allem der Rückgang der Druckfestigkeit, ist zunächst nur gering. Erst bei Temperaturen ab 500 °C wird das Zuschlaggestein angegriffen (Quarz zerspringt durch das darin enthaltene Kristallwasser, Kalkstein wird gebrannt und zerfällt beim Löschen).

Der Festigkeitsverlust der Konstruktion wird aber meist dadurch in Grenzen gehalten, daß die volle Temperatur auf die äußeren 3–5 cm einwirken kann; diese Schicht, soweit sie nicht abplatzt, bildet aber gleichzeitig eine Dämmschicht und schützt so, auch wenn sie zermürbt ist, den tragenden Kern der Konstruktion vor der vollen Brandeinwirkung. Häufiger sind bei längerer Brandeinwirkung Schäden, die durch Ausdehnung des Betons entstehen; wo diese Ausdehnung behindert ist, entstehen Zwängspannungen – Verformungen – Risse.

b) Stähle

Ab Erreichen der Streckgrenze (etwa ab 600 °C) erfolgt ein Nachgeben der Bewehrung. Dadurch können bleibende Schäden an der Stahlbetonkonstruktion entstehen, die von Rissen bis zum völligen Zusammenbruch der Konstruktion reichen können. Bei Abkühlung nach dem Brand bekommen naturharte Stähle (früher Stahl I) ihre Festigkeit weitgehend zurück. Bei den hochwertigen Stählen (kalt gestreckt) muß damit gerechnet werden, daß diese Stähle ihre durch die Kaltstreckung gewonnenen höheren Festigkeitseigenschaften weitgehend verloren haben, so daß sie nach der Abkühlung nur noch als Normalstähle in Rechnung gestellt werden können. Häufiger sind allerdings die Schäden, die dadurch entstehen, daß der sich ausdehnende Stahl die Betondeckung absprengt.

c) Sonderfall PVC-Brände

Bei Brand von PVC-Materialien entstehen chlorwasserstoffhaltige Gase; die Chloride schlagen sich auf dem Beton nieder und dringen in ihn ein. Wenn auch in der Regel der Beton selbst durch die geringen Chloridmengen nicht angegriffen wird, so sind doch die im Beton eingelegten Stähle dagegen sehr empfindlich und korrodieren schon beim Zutritt kleiner Mengen. In den Fällen, in denen nach Bränden vermutet wird, daß durch verbrannte PVC-Materialien Chloride in den Beton eingedrungen sind, muß geprüft werden, ob es erforderlich ist, die angegriffenen Betonteile abzustemmen, um zu verhindern, daß nach einer Reparatur durch Wanderung der Chlorid-Ionen (Kapillar-Wirkung) die Bewehrungsstähle noch nachträglich korrodieren können.

Durch den Brand sind also fast immer Teile der Stahlbetonkonstruktion so angegriffen, daß sie durch neue Betoneinlagen ersetzt werden müssen. Häufig ist zusätzlich durch übermäßige Wärmedehnung stellenweise der Verbund gestört (Risse!). Daraus ergibt sich, daß bei der Sanierung hauptsächlich Probleme des Verbundes zwischen altem und neuem Teil der Konstruktion gelöst werden müssen. Die Tragfähigkeit einer Stahlbetonkonstruktion beruht ja im wesentlichen darauf, daß die verschiedenen in einem Verbundquerschnitt auftretenden Schnittkräfte so auf Stahl und Beton verteilt werden, daß jeder Baustoff die Kräfte aufnimmt, für die er am besten geeignet ist; also der Beton die Druckkräfte und der Stahl die Zugkräfte. Bei Entwurf und Berechnung einer Stahlbetonkonstruktion wird selbstverständlich davon ausgegangen, daß bei ordnungsgemäßer Herstellung nach den Regeln des Stahlbetonbaues ein homogener Querschnitt entsteht, und daß innerhalb dieses homogenen Querschnitts bestimmte Kräfte übertragen werden können. Aus dieser selbstverständlichen Tatsache ergeben sich die Probleme, die auftreten, falls nach einem Brand Teile einer Stahlbetonkonstruktion ersetzt oder verstärkt werden müssen. Während z. B. beim Reparieren und Verstärken einer beschädigten Stahlkonstruktion ein neues Stahlprofil ohne weiteres eingeschweißt oder genietet werden

kann, ist die Reparatur einer Stahlbetonkonstruktion nur möglich bzw. sinnvoll, wenn der neu hergestellte Beton so mit der vorhandenen Konstruktion verbunden ist, daß der homogene Querschnitt entsteht, der dem Entwurf bzw. dem Festigkeitsnachweis der Konstruktion ursprünglich zugrundegelegen hat. Wie schwierig dieses Problem ist, wenn man nur die Bestimmungen der DIN 1045 (Beton- und Stahlbetonbau – Bemessung und Ausführung) berücksichtigt, zeigt folgendes Beispiel:

Nach DIN 1045 Abschnitt 19.4 darf bei Anbetonieren an vorhandene erhärtete Betonteile keine Kraftübertragung in Rechnung gestellt werden; alle in der Anschlußfuge auftretenden Schubkräfte sind durch zusätzliche Bewehrung/Verankerung aufzunehmen. Das würde z. B. bei einer feuergeschädigten Betonplatte Bn 250, für die 50 N/cm² Schubspannung ohne Nachweis der Schubdeckung zulässig sind, bedeuten, daß 500 kN Schubkraft/m² aufzunehmen sind.

Wie können solche Kräfte durch zusätzliche Anker übertragen werden? Nehmen wir an, wie oft vorgeschlagen, durch eingebohrte Dübel. Bei Verwendung von Spreizdübeln M 10 (40 mm Einbautiefe, zulässige Belastung 4,5 kN/Stck.) wären dann hierfür 110 Stck. je m² erforderlich! Eine für die Praxis unmögliche Vorstellung!

Dieses Beispiel zeigt, daß für die Mehrzahl der Sanierungs- und Verstärkungsarbeiten ein einfaches Anbetonieren und damit die konsequente Anwendung der DIN 1045 Schwierigkeiten bringen würde. Demzufolge wurden besondere Richtlinien zur Reparatur und Verstärkung von Betonkonstruktionen im Betonspritzverfahren erarbeitet. Danach müssen folgende Punkte erfüllt sein:

1. Ausreichende Betonqualität, d. h. mindestens die Festigkeit des vorhandenen Betons.
2. Ausreichender Haftverbund zur Übertragung aller in der Anschlußfuge auftretenden Kräfte.
3. Beteiligung des neuen Betons an der Lastaufnahme, d. h. ausreichendes Verformungsvermögen des alten Betons, damit der neue Beton Last aufnehmen kann.

Bild 3. Beschädigte Betonbalken nach dem Sandstrahlen (Archivfoto der Firma Torkret).

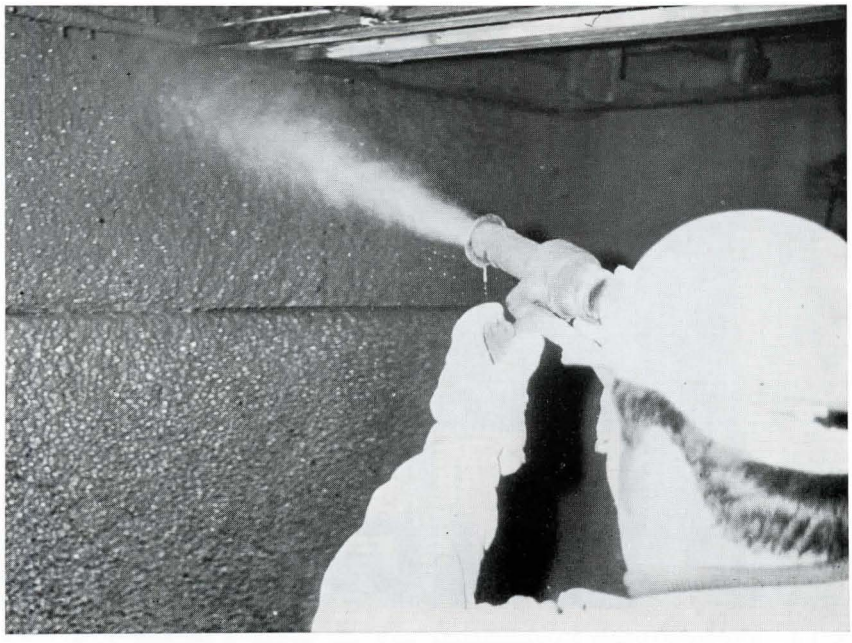

Bild 4. Torkretierung des Balkens (Archivfoto der Firma Torkret).

Wie werden nun diese Forderungen im Betonspritzverfahren erfüllt?

Zu 1: Betonfestigkeit.

Bei Anwendung der DIN 18 551, Spritzbeton, ist das Erreichen einer bestimmten Betonfestigkeit kein besonderes Problem. Die erforderliche Betongüte für den neu aufgebrachten Beton wird durch die vorhandene Betongüte bestimmt.

Zu 2: Aufnahme der in der Anschlußfläche auftretenden Spannungen.

Voraussetzung für eine ausreichende Kraftübertragung ist das gründliche Sandstrahlen der Anschlußfläche. Beim Sandstrahlen werden nicht nur alle losen Teile restlos entfernt, es werden auch die im Beton vorhandenen Poren aufgerissen. Beim Beginn des Aufspritzens werden die aufprallenden Feinstteilchen (Zement und Feinsand) in die Poren gepreßt und bilden nach der Erhärtung des Zements eine Verzahnung zwischen beiden Betonschichten. Nach den Richtlinien gemäß 4.2.2. kann davon ausgegangen werden, daß bei sorgfältiger Ausführung der im Spritzverfahren neu aufgebrachte Beton gut am vorhandenen Beton haftet, sofern die Auftragsfläche vorher gründlich, z. B. durch Sandstrahlen, gesäubert, aufgerauht sowie durch Druckwasser von Staub befreit wurde.

Die durch Spritzbeton ergänzten und verstärkten Querschnitte sind nach DIN 1045 Abschnitte 19.4, 19.7.2 und 19.7.3 zu bemessen.

Abweichend hiervon darf bei Behandlung der Anschlußflächen entsprechend vorstehendem Absatz bei Platten auf Schub- und Verbundbewehrung ver-

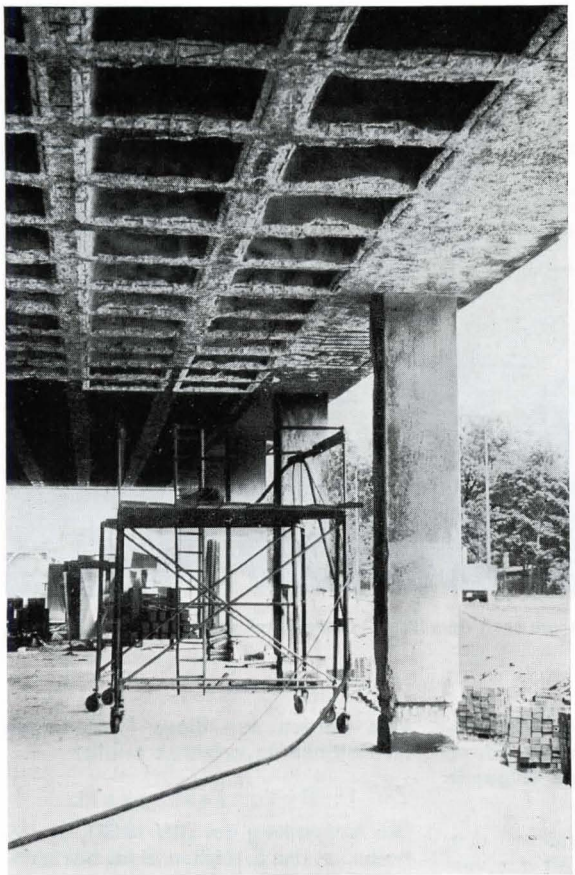

Bild 5.
Brandschaden am IBM-Haus München (Archivfoto der Firma Torkret).

zichtet werden, wenn die Schubspannung in der Anschlußfläche 70 % der Werte nach DIN 1045 Tabelle 14 nicht überschreitet.

Die Fälle, in denen die Anschlußfuge zwischen altem und neuem Beton mehr als das 0,7fache der nach DIN 1045 ohne Schubbewehrung zulässigen Schubspannungen aufzunehmen hat, sind sehr selten und kommen in der Praxis fast nur bei Decken oder in Platten von Plattenbalken vor. Bei Balken wird in den meisten Fällen ein großer Teil, wenn nicht alle Schubkraft, von dem aufgebogenen Bewehrungseisen oder den Bügeln aufgenommen, so daß sich zusätzliche Maßnahmen zur Schubsicherung in der Regel erübrigen.

Zu 3: Lastaufnahme.

Die Frage, die für das einwandfreie Zusammenwirken zwischen altem und neuem Beton und damit für die Standsicherheit des ausgebesserten bzw. verstärkten Querschnittes entscheidend ist, lautet: Beteiligt sich der neue Beton so an der Lastaufnahme, daß im alten Beton die zulässigen Spannungen nicht überschritten werden?

Zum Zeitpunkt der Reparatur bzw. Verstärkung ist der vorhandene Teil der Konstruktion durch Eigengewicht und gegebenenfalls Nutzlast belastet. Da Beton sich unter Last, wenn auch nur in ganz geringem Maße, verformt, wird der alte Beton je nach Belastung zum Zeitpunkt des Aufbringens des neuen Betons bereits eine bestimmte Verformung aufweisen. Damit nun der neue Beton nach seiner Erhärtung sich an der Lastaufnahme beteiligen kann, ist es erforderlich, daß sich der alte Beton noch weiter verformt. Zu klären ist aber jetzt, ob bei dieser weiteren Verformung des alten Betons hier nicht die zulässigen Spannungen überschritten werden. Dazu folgende Überlegung:

Die Längenänderung des Betons durch Dehnung ist abhängig von seiner Belastung. Die Längenänderung verläuft aber bis zum Bruch nicht linear mit der Belastung. Bis zur kritischen Beanspruchung, d. h. bis zu ca. 70–90 % der Bruchspannung, ist die Verformung des Betons wesentlich geringer als die Verformung von dieser Grenze bis zum Bruch. Die Verformung des Bruchs beträgt bis zur kritischen Grenze (nach Bronzel)

bei Druck (Längsstauchung) ca. 46 %

bei Zug (Dehnung) ca. 27 %

der Bruchdehnung.

Diese Aussagen über das Verformungsverhalten des Betons unter Belastung lassen den Schluß zu, daß die ab kritischer Belastung schnell zunehmende Verformung des alten Betons immer dazu führen wird, daß der neue Beton sich an der Lastaufnahme voll beteiligt, bevor die Bruchspannung im alten Beton erreicht wird. Bevor dieser Zeitpunkt erreicht ist, müßte im gesamten Querschnitt, also auch im neuen Beton, die kritische Beanspruchung weit überschritten sein. Dies kann aber bei richtiger Bemessung nie der Fall sein, da aufgrund des Standsicherheitsnachweises die kritische Beanspruchung (70–90 % der Bruchbeanspruchung) nie erreicht werden kann.

Schlußbetrachtung

Fast in allen Brandschadenfällen lassen sich die Konstruktion oder zumindest wesentliche Teile davon mit be-

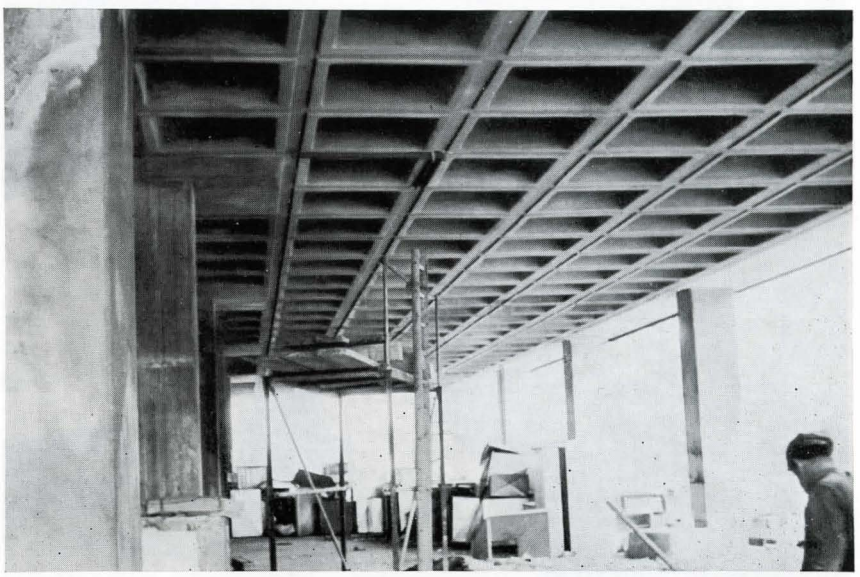

Bild 6. Brandgeschädigte Kassettendecke nach der Sanierung (Archivfoto der Firma Torkret).

währten Verfahren und — was noch wichtiger ist — nach vorliegenden Normen und Richtlinien sanieren. Da die technischen Grundlagen und Bestimmungen hierfür erst in letzter Zeit geschaffen wurden und daher noch weitgehend unbekannt sind, wird mitunter abgebrochen, wo mit wesentlich geringerem Aufwand eine vollwertige Sanierung möglich wäre.

Sanierungsarbeiten an Stahlbetonkonstruktionen dürfen nach den einschlägigen Richtlinien nur von Ingenieuren und Unternehmern ausgeführt werden, die eine gründliche Kenntnis und Erfahrung in dieser Bauart haben. Das bedeutet in der Praxis, daß immer Spezialfirmen hinzugezogen werden müssen. Wird der Auftrag zur Sanierung eines Brandschadens an eine normale Hoch- und Tiefbaufirma vergeben, dann wird sie in der Regel eine Fachfirma mit der eigentlichen Durchführung der Arbeiten betrauen müssen.

Da in vielen Fällen die zur Wiederherstellung der Konstruktion erforderliche Zeit wesentlich für die Höhe des Schadens ist, bietet die Sanierung Vorteile gegenüber einer Neuerstellung der Konstruktion.

Brandschäden auf Baustellen

- Ergebnis einer Umfrage bei den öffentlich-rechtlichen Versicherern -

Heinz Lorenzen

Karl-Wilhelm Werner

Auf Baustellen von Neu- und Erweiterungsbauten wie auch bei Bauarbeiten in bereits genutzten Gebäuden kommt es immer wieder zu erheblichen Brandschäden.

Auf die speziellen Brandgefahren einer Baustelle und die häufigen Brandursachen aus besonderen handwerklichen Arbeiten heraus — wie z. B. Schweißen, Schneiden, Löten, Schleifen, Kleben u. a. — wurde bereits mehrfach hingewiesen [1, 2].

Die Notwendigkeit eines besonderen Brandschutzes auf Baustellen und einer verstärkten Brandverhütungsarbeit ist schon vor einigen Jahren erkannt worden. Besonders die Bauaufsichtsbehörden der Länder, die Bau-Berufsgenossenschaften und die Sachversicherer nehmen sich dieser Aufgaben an [3].

Um einen Überblick über Ursachen und Ausmaß der Schäden zu erhalten, wurden nach einer unter den öffentlich-rechtlichen Sachversicherern durchgeführten Umfrage 170 Schadenfälle ausgewertet mit einer Gesamtschadensumme von rd. 37 Mio. DM. Diese Untersuchung, die durchaus einen repräsentativen Charakter trägt, hat recht aufschlußreiche Ergebnisse gebracht (Tabelle 1).

Wenn man die 19 Schadenfälle, in denen die Ursache nicht ermittelt wurde, ausklammert, bilden nach der Anzahl der Schadenfälle die vorsätzlichen Brandstiftungen mit 28,5 % die größte Gruppe.

Es folgen Schäden aus der maschinellen Einrichtung mit 24,5 %

Schäden aus der Verarbeitung brandgefährlicher Stoffe mit 18,5 %

Schäden aus sonstigen Feuer-, Licht- und Wärmequellen mit 9,9 %

Allein aus diesen drei Hauptgruppen waren also 52,9 % aller festgestellten Schadenursachen im Betrieb der Baustelle und in einigen besonders brandgefährlichen handwerklichen Arbeitsvorgängen zu finden.

Bild 1. Neubau eines Forschungsinstituts. Brandursache: Schweißarbeiten.

Heinz Lorenzen, Abt.-Dir. der Brandkasse/Provinzial, Kiel, Karl-Wilhelm Werner, Abt.-Dir. der Feuersozietät Berlin