

# Verwendung von Epoxyharz zum Beschichten und Kleben von Beton in den USA\*)

Von Kurt Walz, Düsseldorf

## 1. Allgemeines

Die California Division of Highways (Cal. Div. Highw.) in Sacramento hat sich bereits 1953, wohl als erste Stelle, mit der Verwendung von Kunstharzen zu Ausbesserungsarbeiten an Betonstraßen und -brücken befaßt. Sie hat dabei die besonderen Vorteile, die das Epoxyharz bietet, erkannt und entdeckt, daß durch eine Epoxyharz-Haftschrift auch eine sehr gute Verbindung zwischen altem und neuem Beton zu schaffen ist. Von dort wird auch darauf hingewiesen, daß andere Kunststoffe, wie Polyvinylacetate, Polyester, Neoprenemulsionen (Chlorkautschuk) und Styrol-Butadiencopolymer-Dispersionen in Wasser, sich in Verbindung mit Beton nicht so günstig wie passend zusammengesetzte Epoxyharzsysteme verhalten. Letztere gewährleisten eine feste und dauernde Verbindung von erhärteten Betonteilen und auch mit frisch angetragenem Beton, da sie nicht alkaliempfindlich sind. Richtig abgestimmte Epoxyharzsysteme haften daher auch auf mäßig feuchtem Beton. Sie vermindern ihr Volumen beim Erhärten nur ganz unbedeutend, sind wasserfest und besitzen eine überragende Beständigkeit gegen Witterungseinflüsse sowie gegen alle normalerweise bei Betonbauteilen in Frage kommenden chemischen Einwirkungen. Mit ihnen ist eine höhere Druck- und Biegezugfestigkeit als mit Beton und bei besonderer Behandlung schon nach wenigen Stunden eine ausreichende Gebrauchsfestigkeit erreichbar. Wegen des hohen Preises – von verschiedenen Stellen je nach Bezugsart mit rd. 2,5 bis 5 \$ je Liter angegeben – kommt das zähflüssig gelieferte Epoxyharz vorwiegend als Verbindungs- oder Klebeschicht und für Ausbesserungen in Frage. Es wird als Bindemittel zur Herstellung von Epoxyharz-Beton nur in Sonderfällen für größere, massige Ausbesserungen oder Bauteilergänzungen benutzt, obwohl das Mischungsverhältnis (Epoxyharz zu Kiessand) bis 1 : 18 gestreckt werden kann. Bei dem zur Zeit noch im Gang befindlichen Umbau der San Francisco-Oakland Bay Bridge wurden auch verhältnismäßig massige Anschlüsse aus Epoxyharz-Beton hergestellt, weil sie schon nach wenigen Stunden beansprucht werden konnten.

Als Kosten von 1 Kubikmeter Epoxyharz-Beton wurden je nach Mischungsverhältnis rd. 260 \$ (Cal. Div. Highw.) bis 540 \$ für eine Mischung 1 : 7 (U.S. Bureau of Reclamation, Denver; USBR) angegeben.

Nach Mitteilung der Cal. Div. Highw. kommt neuerdings auch eine billigere, dehnbarere Kombination der Chemical Shell Co.

\*) Feststellungen anläßlich einer Studienreise in den USA im Oktober 1961

aus einem flüssigen Epoxyharz und einem besonders behandelten bituminösen Stoff (meist Steinkohlenteer) für eine dünne Beschichtung geschädigter Straßenoberflächen und Brückenfahrbahnplatten zur Anwendung. Die Farbe ist jedoch dunkel. Nach den dortigen Versuchen ist die Haftung beim Auftrag auf trockenen Beton sehr gut, fällt aber auf frischem Beton verhältnismäßig gering aus; die Aushärtung verläuft u. U. sehr langsam, was manchmal erwünscht sein kann.

Mehrjährige Erfahrungen in der praktischen Anwendung und Bewährung von normalen Epoxyharzsystemen liegen also bei der Cal. Div. Highw. vor. Umfangreiche Untersuchungen laufen noch oder wurden vom U. S. Bureau of Reclamation ausgeführt (jüngster Bericht: Epoxy resins for concrete construction and repair - Interim report; Denver 1961). Eine ausführliche Anweisung über die Ausbesserung von Rissen und Oberflächen von Flugplatzdecken aus Beton gab das Department of the Air Force (Dep. A. F.) in Verbindung mit dem Corps of Engineers, Dep. of the Army, heraus (Air Force Pamphlet, AFP 88-116-1; Washington 1959: Repairs to airfield rigid pavement).

## 2. Zusammensetzung

Der Epoxyharz-Binder wird erst am Verwendungsort grundsätzlich aus der Epoxykomponente und einem Härter (Katalysator) zusammengesetzt, weil die Erhärtung sofort nach dem Zusammenmischen einsetzt. Es steht, je nach Härter und Temperatur, nur eine Verarbeitungszeit von etwa 20 bis 45 min zur Verfügung, so daß nur eine begrenzte Bindermenge gemischt werden darf. Epoxyharz, das nur mit dem Katalysator aushärtet, wird verhältnismäßig hart und ist wegen seiner Sprödigkeit nicht immer brauchbar; in der Regel wird daher ein Weichmacher zugemischt. Es handelt sich dabei meist um Polysulfide (z. B. Thiocole), die den Härter schon enthalten, oder seltener um Polyamide, die selbst gleichzeitig auch als Härter wirken. Bei der Cal. Div. Highw. setzt sich z. B. der Epoxyharz-Binder im Durchschnitt zusammen aus:

- 10 Gew.-Teilen Epoxyharz,
- 4 Gew.-Teilen Polysulfidpolymer (Weichmacher),
- 1 Gew.-Teil Härter.

Nach der Anweisung des Dep. A. F. besteht der Binder aus 2 Teilen Epoxyharz und 1 Teil Polysulfid einschließlich Härter. Man kann den an den 3 genannten Stellen durchgeführten Arbeiten folgendes entnehmen:

Als Epoxyharze finden die der Diepoxyd- und der Polyepoxyd-Gruppe Verwendung.

Als Härter werden das 2,4,6-Tri(dimethylaminomethyl)phenol und das Dimethylaminomethylphenol benutzt.

Das USBR verwendet als Weichmacher in erster Linie Polysulfide oder Polyamide. Erstere enthalten den Härter (primäre, sekundäre oder tertiäre Amine), letztere benötigen zusätzlich keinen Härter, obwohl sie in manchen Handelsprodukten zur Verstärkung bestimmter Eigenschaften zusätzlich vorhanden sind.

Nach den Feststellungen des USBR sollen Verdünnern, durch die die Viskosität erniedrigt und das Verarbeiten erleichtert werden, nicht zugesetzt werden, da sie in jedem Falle die physi-

kalischen Eigenschaften des erhärteten Systems herabsetzen (u. a. geringere Dichte, starkes Schwinden, mäßige mechanische Eigenschaften).

Die Temperatur beeinflusst in hohem Maße die für das Aushärten erforderliche Zeit; hohe Temperatur wirkt beschleunigend, niedere verzögernd. Eine Erhöhung der Temperatur der Betonfläche, an die Epoxyharz angetragen wird, und anschließende Erwärmung des angetragenen Epoxyharzes durch Wärmestrahler haben sich bewährt.

In der Anleitung des Dep. A. F. sind zwei Typen von Epoxyharz-Bindern für Lufttemperaturen von 20 bis 40 °C und von 4,5 bis 20 °C aufgeführt, die sich wahrscheinlich durch den dem Polysulfid beigegebenen Katalysator unterscheiden.

Für die *Kennzeichnung der Eigenschaften* der Epoxykomponente (u. a. spezifisches Gewicht, Viskosität, Gehalt an Epoxygruppen) und des Weichmachers einschließlich Härter (u. a. Wassergehalt, Viskosität, Flammpunkt, Schwefelgehalt) werden in der Anleitung des Dep. A. F. Grenzwerte und eingehende Prüfverfahren aufgeführt.

Wiederholt wird darauf hingewiesen, daß eine Vielzahl von „Epoxyharz-Bindern“ angeboten wird und daß nur dann Fehlschläge vermieden werden, wenn die Zusammensetzung des ganzen Systems auf die Anforderungen abgestimmt und auch bekanntgegeben wird. Förderlich in dieser Hinsicht sind zweifellos so ausführliche Anweisungen, wie sie das Dep. A. F. herausbrachte und wie sie auch beim USBR für dessen Aufgabenbereich in Vorbereitung sind.

Epoxyharz-Mörtel werden nach der Anleitung des Dep. A. F. aus 1 Teil Epoxyharz-Binder mit 3 bis 7 Teilen Sand und Epoxyharz-Betone aus 1 Teil Binder mit 6 bis 10 Teilen Kiesand hergestellt.

### **3. Eigenschaften**

Verschiedene Feststellungen mit Epoxyharz-Mörteln und -Betonen, vor allem auch die umfangreichen Untersuchungen des USBR, lassen erkennen, daß bei sachgemäßem Vorgehen und einem *günstig zusammengesetzten Binder*, ziemlich unabhängig vom Mischungsverhältnis und dem Größtkorn des Zuschlagstoffes, Druckfestigkeiten von etwa 1200 kp/cm<sup>2</sup> sowie Zugfestigkeiten von etwa 90 kp/cm<sup>2</sup> zu erzielen sind. Als Frühfestigkeit werden in der Anweisung des Dep. A. F. für 20 Stunden alte Epoxyharz-Binder nach Erhärten bei normaler Temperatur eine Druckfestigkeit von 490 kp/cm<sup>2</sup> und eine Biegezugfestigkeit von 70 kp/cm<sup>2</sup> genannt.

Der Elastizitätsmodul wurde erwartungsgemäß in hohem Maße vom Mischungsverhältnis beeinflusst und lag zwischen 140 000 kp/cm<sup>2</sup> und 335 000 kp/cm<sup>2</sup> (guter Zementbeton 350 000 bis 450 000 kp/cm<sup>2</sup>). Interessant ist (nach einigen wenigen Versuchen mit Mörtel 1 : 3 und einem besonders guten Binder), daß die Proportionalität zwischen Spannung und Dehnung immerhin bis zu einer Spannung von rd. 450 kp/cm<sup>2</sup> vorhanden war; von hier ab setzte zunehmendes Kriechen ein.

Durch viele Biege-, Schlag- und Scherversuche wurde die hohe Haftfestigkeit zwischen dem Epoxyharz-Binder und altem Beton

sowie auch zwischen Epoxyharz-Binder und frisch angetragenem Mörtel oder Beton immer wieder bestätigt. Es war die Regel, daß bei sachgemäßem Vorgehen der Bruch nicht durch die Haftfläche, sondern durch den Zementbeton ging.

Bei Versuchen der USBR wurden ein sehr hoher Widerstand gut aufgebauter Epoxyharz-Binder gegen Kavitation und ein hoher Widerstand gegen mechanischen Verschleiß nachgewiesen, der den von Zementbeton erreichte oder sogar übertraf.

Probezylinder, die 950 Frost-Tauwechseln ausgesetzt wurden, ließen erkennen, daß schlecht aufgebauter und daher frostanfälliger Beton durch einen aufgespritzten Epoxyharzfilm gegen sehr strenge Witterungsbedingungen wirkungsvoll geschützt werden kann.

#### **4. Anwendung**

Es würde hier zu weit führen, auf alle Anwendungsmöglichkeiten und zugehörigen Arbeitsweisen im einzelnen einzugehen. Hier soll allgemein aus den besonders vielseitigen Praxis- und Versuchserfahrungen des USBR nur das Wesentlichste herausgestellt werden.

Erhärtete Betonflächen, an die Epoxyharz-Binder, -Mörtel oder -Beton direkt angetragen werden, müssen sauber sein. In der Regel hat sich eine Reinigung mit Sandstrahl am wirkungsvollsten erwiesen. Ebenso gute Haftung wurde erhalten, wenn die Betonfläche vor Auftrag einer Epoxyharz-Haftschrift mit verdünnter Salzsäure behandelt, abgeflößt und getrocknet wurde. Bei fettigen und öligen Flächen hat sich eine Behandlung mit einem entsprechenden Reinigungsmittel und anschließend mit dem Sandstrahl oder ein Waschen mit folgendem Absäuern als zweckmäßig erwiesen. Die Flächen sollen vor dem Antragen des Binders, Mörtels oder Betons möglichst trocken sein; sie können ohne Nachteile auch noch feucht erscheinen, sollen jedoch nicht naß sein.

Wird eine Epoxyharz-Binder- oder -Mörtelschicht als Haftbrücke zwischen altem und neuem Beton benutzt, so darf diese aufgeschachtelte oder mit weicher Bürste eingeriebene Haftschrift nur wenig ansteifen, bis der frische Mörtel oder Beton angestampft oder angerüttelt wird. Um einen guten Verbund zu erzielen, soll jedoch der frische Mörtel oder Beton möglichst steif sein (Setzmaß nicht größer als 5 cm).

Beim Auftrag von Epoxyharz-Mörtel oder -Beton in Schichtdicken von mehr als 5 cm, wie z. B. beim Ausgleich unterschiedlich hoher Fahrbahnplatten oder Anbringen von Kurvenüberhöhungen bei Straßen, wird wegen der Wärmeentwicklung beim Aushärten empfohlen, den Epoxyharz-Mörtel in Lagen aufzutragen und die neue Lage erst dann folgen zu lassen, wenn die Temperatur der unteren Lage wieder deutlich zurückgegangen ist.

Ausreichende Griffigkeit wird bei Mörtel-Ausbesserungsschichten auf Betonbelägen entweder durch starke Magerung des Epoxyharz-Mörtels oder durch nachträgliches Aufstreuen und Einreiben von Sand oder Schmirgel in die Oberfläche der frischen Epoxyharzschicht erzielt. Auf direkt befahrene, rissige Betonplatten von Stahlbrücken wurde Epoxyharz-Binder aufgespritzt und zur Erlangung ausreichender Griffigkeit mit Schmirgel be-

streut. Die Stahlkonstruktion konnte so durch das Verschließen der Risse vor einer erhöhten Korrosion durch die bei der Winterwartung durchsickernde Tausalztlösung geschützt werden [1]. Selbstverständlich kann mit Epoxyharz-Binder oder -Mörtel auch ein ausgezeichneter Haftverbund für Stahldübel, -anker oder Verbindungsstäbe geschaffen oder Fertigteil-Einzelglieder zusammengeklebt werden. Ein Beispiel hierfür ist die Verlängerung von gerammten Spannbetonpfählen (Ben Gerwick, San Francisco) mittels eingeklebter Stäbe und beschichteter Stoßflächen oder die Stoßverbindung von 5 m langen Schleuderrohr-Abschnitten zu 50 m langen, vorgespannten Rohrpfählen für die Chesapeake Bay Bridge bei Norfolk. Durch Umlegen von elektrisch beheizten Manschetten kann die Epoxyharz-Stoßverbindung innerhalb von wenigen Stunden ausgehärtet und der verlängerte Pfahl weiter gerammt werden.

Das Verkleben von Rissen mit Epoxyharz-Bindern bietet unter gewissen Voraussetzungen die Möglichkeit, gerissene Bauteile wieder kraftschlüssig zu verbinden. Einzelne Rißüberbrückungen wurden wiederholt ausgeführt, z. B. bei Brücken von der Cal. Div. Highw. Als Beispiel besonders interessanter und umfangreicher Rißüberbrückungen (insgesamt rd. 1500 lfm) erstmals zur Wiederherstellung eines ganzen Bauwerks seien die Ausbesserungsarbeiten an einer 40 Jahre alten, auf Betonrammpfählen stehenden Kaianlage im Hafen von Los Angeles angeführt [2]. Die Hauptträger 0,75 m x 0,90 m x 16,5 m der Stahlbetonrippenplatte, die von Eisenbahnzügen befahren wurde, wiesen im Bereich der Auflagerung auf den Pfählen senkrechte, z. T. feine, z. T. sehr kräftige Risse auf. Ihre Ursache war nicht sicher bekannt (vermutlich Überlastung). Ein langwieriger Neubau der Anlage, die nach der Inspektion, bei der die Risse entdeckt wurden, für den Verkehr gesperrt worden war, wäre nötig gewesen, wenn nicht das Auspressen mit flüssigem Epoxyharz einen Ausweg geboten hätte.

Durch Bohrkernuntersuchungen konnte festgestellt werden, daß die Rißflächen sauber waren. Nach eingehenden Vorversuchen an einzelnen Rissen und nach Prüfung von Proben im Laboratorium wurde in üblicher Weise vorgegangen: Zunächst wurden die Risse etwas ausgefräst (Nut 0,6/1,2 cm) und im Abstand von 25 cm Löcher (Durchmesser 19 mm) gebohrt. In diese wurden Rohrstützen 19 mm tief mit Epoxyharz-Mörtel eingesetzt. Nachdem ein gleichzeitig in die Nut eingestrichener, den Riß nach außen abschließender, steifer Epoxyharz-Mörtel erhärtet war, wurde der Rißspalt, am untersten Stützen beginnend, mit dem flüssigen Epoxyharz mit einem Druck bis rd. 8,7 atü ausgepreßt. Zwischendurch wurde auf die jeweilige Teilfüllung immer wieder von oben her ein Druck von 6,3 atü mit einem Inert-Gas aufgebracht, um sicher alle Haarrisse und Hohlräume zu füllen.

Sowohl die Eigenschaften des Binders als auch die des Verschlusmörtels in der Nut waren bis ins einzelne festgelegt worden (z. B. Zusammensetzung und physikalische Eigenschaften der Komponenten; Druckfestigkeit mind. 1120 kp/cm<sup>2</sup>, Biegezugfestigkeit mind. 700 kp/cm<sup>2</sup>, Haft-Zugfestigkeit mind. 84 kp/cm<sup>2</sup>). Die nach dem Auspressen dem Bauwerk entnommenen Bohrkernbestätigten die bei den Vorversuchen gemachten gün-

stigen Feststellungen. Die Zugfestigkeit bei Beanspruchung quer zur verklebten Ribfläche fand sich an Abschnitten von Bohrkernen mit geringen Unterschieden im Mittel zu 26,6 kp/cm<sup>2</sup> und war damit noch etwas größer als bei den Vorversuchen und größer als beim ungestörten Beton (19,5 kp/cm<sup>2</sup>). Der Bruch verlief außerhalb der Klebefläche im Beton. Schließlich wurden noch Messungen am Bauwerk unter statischen und dynamischen Probelastungen durchgeführt. Von den Meßwerten konnte ebenfalls auf die volle Wirksamkeit der Ribverbindungen geschlossen werden.

Die Kosten der Wiederherstellung mit Epoxyharz-Verbund und einiger Spritzbetonarbeiten beliefen sich auf 92 890 \$, die eines Abbruchs mit Neuerrichtung der Kaianlage einschließlich längerem Ausfall der Benutzungsgebühren waren auf 450 000 \$ veranschlagt worden.

## 5. Schlußbemerkung

Schon dieser gedrängten, durchaus nicht umfassenden Darstellung ist zu entnehmen, daß in den USA sehr weitreichende Untersuchungen und Erfahrungen über das Vorgehen bei der Anwendung von Epoxyharzen zur Ausbesserung von beschädigtem Beton, zur Verbindung oder Ergänzung von Bauwerksteilen und zur kraftübertragenden Füllung von Rissen vorliegen. Die in Deutschland da und dort bekannt gewordenen Ansätze zu Untersuchungen und zur Verwendung von Kunstharzen als Hilfsstoffe sollten die amerikanischen Erkenntnisse nutzen. Vor allem ist zu beachten, daß sich in der amerikanischen Entwicklung bisher für die ingenieurmäßig interessierenden Anwendungsgebiete der Epoxyharz-Binder mit seinem Optimum an Eigenschaften durchsetzte.

Für diese bei uns noch am Anfang stehende Verwendung von Epoxyharzen würde es sicher förderlich sein, wenn die kennzeichnende Zusammensetzung und die technischen Eigenschaften der einzelnen Erzeugnisse auch dem Abnehmer bekanntgegeben und nach einheitlichen Prüfverfahren beurteilt werden könnten. Die Versuche des USBR stellen sehr eindringlich heraus, daß auch „Epoxyharz-Binder“, je nach der Zahl ihrer Epoxygruppen und dem Molekulargewicht der Epoxykomponente und je nach den für den Systemaufbau benutzten anderen Stoffen (Weichmacher, Härter oder gar Verdüner), sich in ihren Eigenschaften sehr stark unterscheiden können.

Laboratoriums- und bautechnische Untersuchungen mit einem Erzeugnis, das nur mit einem Markennamen ohne ausreichende Angaben über das gesamte Stoffsystem oder nur als „Epoxyharz“ bezeichnet ist, führen zu keinen allgemein nutzbaren Erkenntnissen und für die Zukunft auch zu keinem Fortschritt in der sachgemäßen Auswahl angebotener Erzeugnisse nach den jeweils zu bevorzugenden Eigenschaften einzelner Systemgruppen.

## SCHRIFTTUM :

- [1] Goldberger, H. W.: Corrective measure employing epoxy resins on concrete bridge decks. Proc. Highw. Res. Board 40 (1961) S. 489/496 (u. a. mit Angaben über Mischen, Aufspritzen, Einstreuen des Schmirgels und Arbeitsleistung).
- [2] Wakeman, C. M., Stover, H. E., and E. N. Blye: Glue! For concrete repair. Materials Research & Standards 2 (1962) Nr. 2, S. 93/97.