Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 98 (1980)
Heft: 27-28

Artikel: Klebearmierung - eine neue Technik zur Erhaltung von Bausubstanz
Autor: Ruggli, Ch. / Wyss, P. / Zenobi, G.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-74152

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Klebearmierung – eine neue Technik zur Erhaltung von Bausubstanz

Von Ch. Ruggli, P. Wyss und G. Zenobi, Zürich

Der Wunsch von Bauherren, bestehende Bauwerke trotz Erhöhung der zulässigen Nutzlast oder wegen Änderungen am statischen System weiterhin nutzen zu können, wird immer häufiger an den Bauingenieur herangetragen. Der Abbruch einer Stahlbetonkonstruktion, die sich noch in gutem Zustand befindet, den heutigen Bedürfnissen aber nicht mehr genügt, wird weniger als früher in Betracht gezogen, umso häufiger dafür die Verstärkung des Tragwerks, wobei meistens mehrere konstruktive Lösungen denkbar sind.

Als wirtschaftliche, raum- und zeitsparende Variante steht heute dem Ingenieur die Methode der Klebearmierung in folgenden Fällen zur Verfügung:

- *Nutzlast-Erhöhung* von Stahlbeton- und Spannbeton-Konstruktionen (Bild 1)
- *Systemänderung* infolge nachträglicher Abänderung am Tragsystem von Stahlbeton- und Spannbeton-Konstruktionen (Bild 2 und 3)
- *Sanierung* von massiven Bauteilen mit ungenügender oder korrodierter Bewehrung (Bild 4)
- *Panzerung* von massiven Becken oder Behältern mit Stahlplatten (z. B. Strahlenschutz).

Im Gegensatz zur konventionellen Stahlbeton-Bewehrung, welche vom Beton vollständig umgeben ist, besteht die geklebte Armierung aus Stahlprofilen (meist Flachstählen), welche mittels eines speziellen Kunstharz-Klebers auf Epoxidharzbasis kraftschlüssig mit dem Beton verbunden werden. Die hohen, zuverlässigen Festigkeitseigenschaften des Klebers erlauben den Stahlprofilen, die Funktion von Zug-, Druck- oder Schubarmierungen zu übernehmen.

Die ersten Versuche mit Klebearmierungen im Bauwesen wurden schon in den Jahren 1964–65 in Frankreich durchgeführt; 1966–67 folgten die ersten praktischen Anwendungen bei einer Autobahnbrücke und an Flachdecken in zwei Geschäftshäusern [1, 2, 3]. Auch in Japan, Polen, Russland und Südafrika wurden bereits anfang der 70er Jahre solche Verstärkungsarbeiten an Brücken ausgeführt [4, 5]. In der Schweiz findet das Verfahren seit etwa 10 Jahren zunehmend im Hoch- und Brückenbau Anwendung.

Es ist für viele projektierende Bauingenieure immer noch ungewohnt, sich auf eine geklebte Verbindung im Massivbau zu verlassen. Es darf aber nicht vergessen werden, dass sich kraftschlüssige Klebeverbindungen im Leichtbau (vor allem im Flugzeugbau) seit langem bewährt haben.

Materialtechnologie

Epoxidharzkleber

Die Epoxidharze gehören zu den Duromeren, welche schon seit langem für ihre grosse Klebkraft und ihre ausgesprochene Verträglichkeit mit Beton und Stahl bekannt sind. Epoxidharzsysteme, welche für Klebearmierungen eingesetzt werden, weisen gegenüber anderen im Bauwesen gebräuchlichen Reaktionsharzen (Polyester, Polyurethane, Acrylate) folgende günstigen Eigenschaften auf:

- hervorragende Haftung auf Stahl und Beton
- geringe Feuchtigkeitsempfindlichkeit
- vernachlässigbares Schrumpfen beim Aushärten
- kleines Kriechmass
- ausgezeichnete Alkalibeständigkeit
- gute Alterungsbeständigkeit.

Für die Formulierung von Epoxidharz-Härtersystemen für Klebearmierungen sind folgende Eigenschaften bestimmend:

1. *Verarbeitbarkeit:* Die Klebermasse muss nach dem Mischen der Komponenten bei Temperaturen zwischen etwa 10 und 30 °C gut verarbeitbar sein. Mit dosierter Zugabe von geeigneten Füllstoffen und Thixotropiermitteln erreicht man eine spachtelbare Konsistenz, welche rasches Auftragen auf die Stahlbleche erlaubt und gleichzeitig das Abfliessen des Klebers vom Blech verhindert.
2. *Reaktivität:* Die Erhärtungsgeschwindigkeit ist stark temperaturabhängig. Da der Kleber bei der Applikation fast augenblicklich die Temperatur des Betonuntergrundes annimmt, muss die Reaktivität des Klebers entsprechend eingestellt werden, um eine ausreichende Reaktionsgeschwindigkeit und ein volles Aushärten des Klebers zu gewährleisten. Dies kann z. B. durch eine

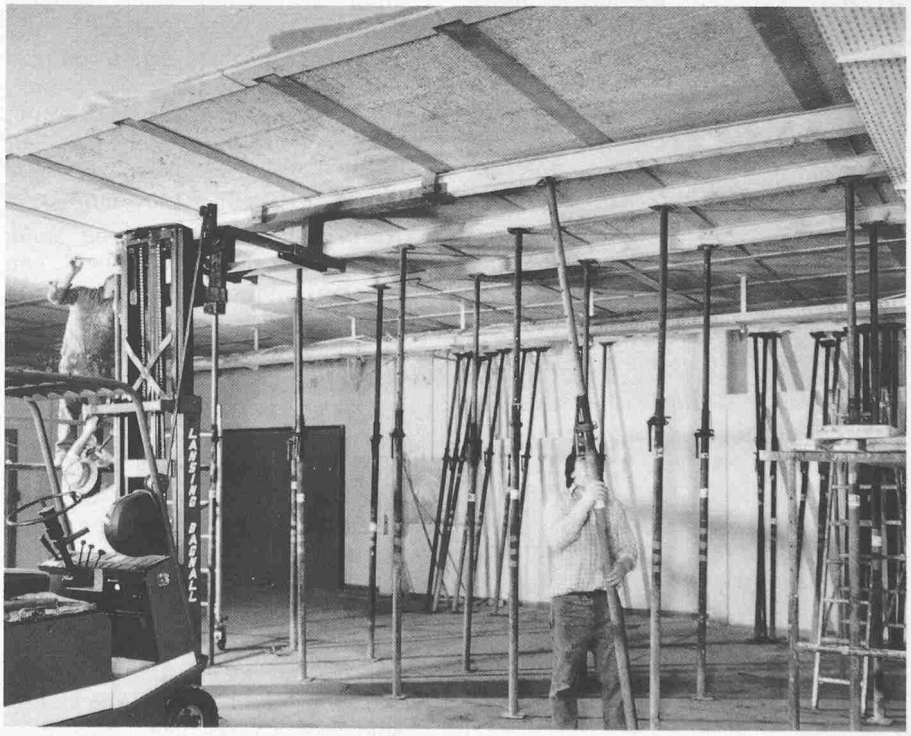


Bild 1. Kraftschlüssiges Verkleben von kreuzweise angeordneten Stahlblechen mit spezieller Montageeinrichtung an einer zu verstärkenden Decke

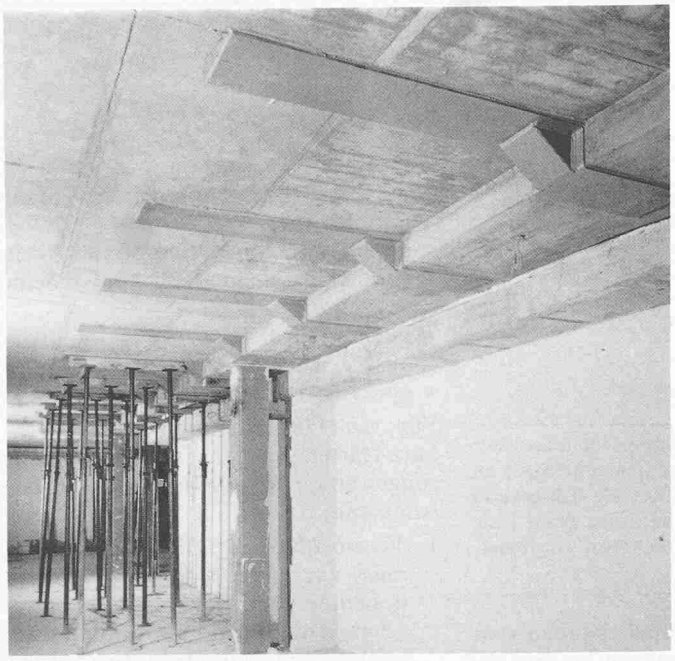


Bild 2. Die durch den nachträglichen Einbau einer Klimaanlage notwendig gewordenen Klebearmierung vor dem Ausfräsen der Deckendurchbrüche

Bild 3. Gleiches Objekt wie Bild 2. Gut sichtbar sind die für die Installation der Klimaanlage benötigten Durchbrüche sowie die thermische Isolierung der geklebten Stahlprofile

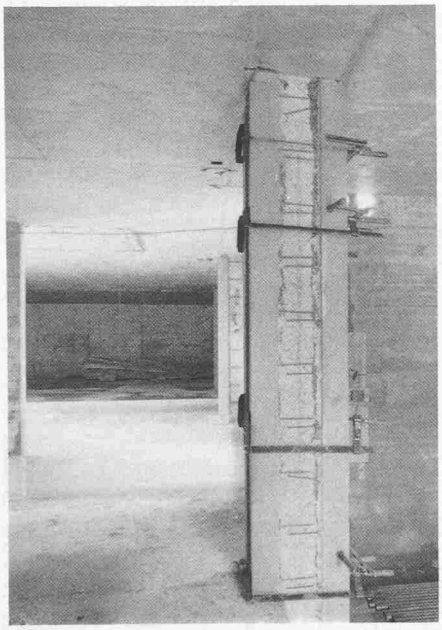


Bild 4. Kraftschlüssig verklebte Stahlwinkelprofile zur Erhöhung der Tragfähigkeit bei Ortbetonstützen

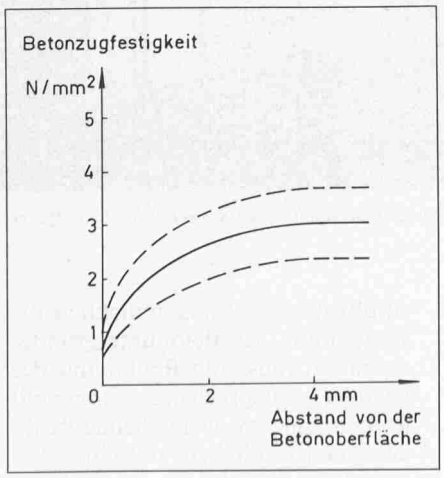


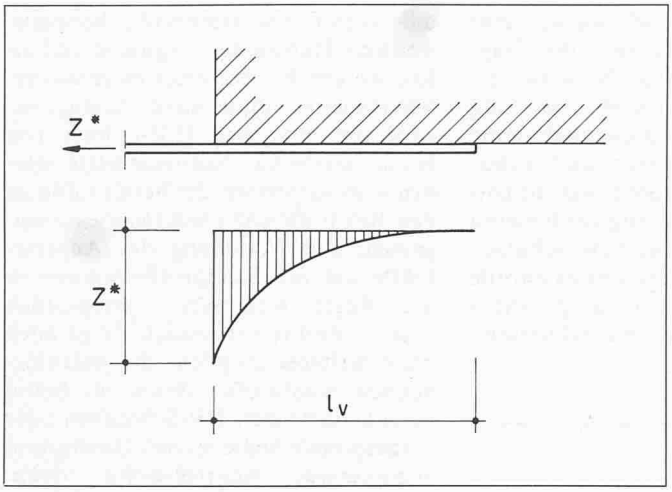
Bild 5. Typischer Verlauf der Zugfestigkeit eines Betons im oberflächennahen Bereich

«Sommer»- und «Winter»-Formulierung erreicht werden.

3. *Mechanische Festigkeiten:* Druck-, Biegezug-, Scher- und Zugfestigkeit liegen bei Epoxidharzen im allgemeinen sehr hoch und je nach Formulierung und Untergrundtemperaturen wird schon nach wenigen Stunden ein grosser Teil der Endfestigkeiten erreicht. Letztere betragen auf Druck wenigstens 80 N/mm², auf Biegezug mehr als 25 N/mm². Bei Verklebungen von Stahl auf Stahl beträgt die reproduzierbare Scherfestigkeit über 10 N/mm².
4. *Haftfestigkeit auf Beton und Stahl:* In Scherfestigkeitsversuchen von Klebeverbindungen Stahl–Beton soll der Bruch im Beton erfolgen; diese Forderung ist relativ leicht zu erfüllen.
5. *Kriechbeständigkeit unter Dauerlast:* Ein wichtiges Qualitätskriterium ist ferner die Kriechverformung im Langzeitversuch, obwohl diese in einer dünnen Klebefuge kaum messbar ist.
6. *Wasser- und Alkalibeständigkeit:* Da der Kleber in direktem Kontakt mit dem Beton steht, muss die Wasser- und Alkalibeständigkeit gewährleistet sein. Als Mass dient die Haftfestigkeit von verklebten Zementmörtelprismen nach mehrmonatiger Wasserlagerung.
7. *Einfluss von Fehldosierungen auf Endeigenschaften:* Da trotz aller Vorsichtsmassnahmen bei Arbeiten auf einer Baustelle Fehldosierungen im Harz/Härter-Verhältnis nie völlig auszuschliessen sind, sollten möglichst weite Dosiertoleranzen des Klebersystems zur Verfügung stehen.
8. *Temperaturbeständigkeit:* Die Temperaturbeständigkeit eines Epoxid-Klebesystems ist bei der Projektierung einer Klebearmierung zu berücksichtigen. Bei Temperaturen, wie sie bei einem Schadenfeuer auftreten können, ist mit einem Ausfall der Klebeverbindung zu rechnen. Dafür sind konstruktive Massnahmen vorzusehen, auf die später eingegangen wird. Bei einem Brandfall, der zum vollständigen Ausfall der Klebeverbindung führt, muss noch eine minimale statische Sicherheit der unverstärkten Konstruktion gegen Einsturz bestehen bleiben.

Beton

Da die Scherfestigkeit des Betons für die Bemessung einer Klebeverbindung wesentlich ist, muss der projektierende Ingenieur über dessen Festigkeitswerte Bescheid wissen. Als direktes Mass für die Eignung eines Betons für eine Klebearmierung dient seine Zugfestigkeit, welche mit einem Haftzug-Prüfgerät gemessen werden kann. Die minimale Zugfestigkeit eines zu verstärkenden Betons sollte 1,8 ÷ 2,0 N/mm² nicht unterschreiten. In vielen Fällen genügt eine Prüfung der Betondruckfestigkeit mit dem Betonprüfhammer, sofern das Verhältnis Zugfestigkeit/Druckfestigkeit des fraglichen Betons genau genug bekannt ist. Dabei ist darauf zu achten, dass die Zugfestigkeit an der Oberfläche eines Betons (Zementhaut) deutlich geringer ist als wenige Millimeter darunter (Bild 5); die zu verklebenden Betonflächen müssen deshalb immer vorbehandelt werden. Auf die verschiedenen Möglichkeiten der Betonvorbehandlung wird später hingewiesen.



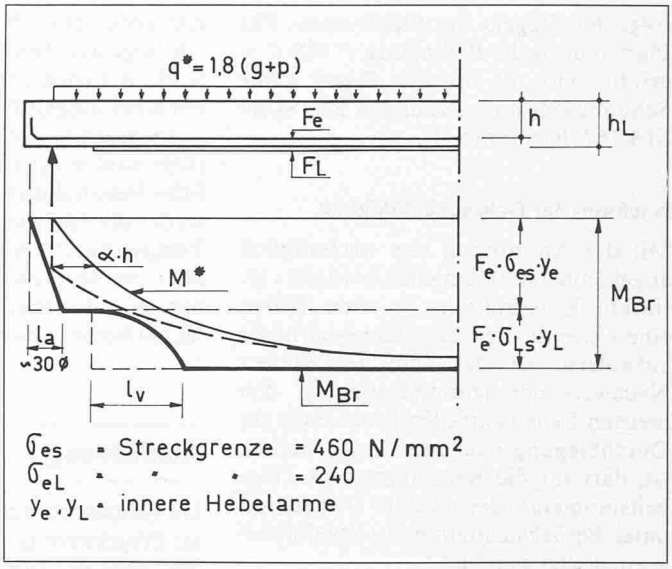


Bild 6 (oben). Verlauf der Zugkraft in der Stahllamelle

Bild 7 (rechts). Momentendeckung

Stahl

Grundsätzlich eignen sich alle Baustahlqualitäten für Klebearmierungen; normalerweise ist St37 ausreichend. Aus wirtschaftlichen Gründen sollten hochfeste oder Spezial-Stähle (z. B. rostfreie Stähle) nur dann eingesetzt werden, wenn der Mehraufwand gerechtfertigt ist.

Die üblichen Dimensionen von Flachstählen für Klebearmierungen liegen bei 60 ÷ 300 mm Breite und 5 ÷ 12 mm Dicke. Die Länge ist grundsätzlich nur von den Möglichkeiten der Montage her begrenzt. In der Regel wird sie 10 m selten übersteigen. Entsprechend der Bewehrungstechnik im Stahlbetonbau sind bei der Klebearmierung mehrere Bleche mit kleinem Stahlquerschnitt und enger Teilung wenigen grossen Blechen vorzuziehen.

Primer

Nach dem Sandstrahlen der Stahlprofile wird meistens eine etwa 20 µ starke Primerschicht auf die sandgestrahlten Flächen aufgebracht. Der Primer, ein Zweikomponenten-System auf Basis Epoxid-Zinkchromat, dient nicht als Haftvermittler, sondern als temporärer Korrosionsschutz bis zum Abschluss der Klebearbeiten, da ungeschützte sandgestrahlte Flächen schon bei geringer Luftfeuchtigkeit ausserordentlich rasch Oberflächenrost ansetzen.

Berechnung und Bemessung

Voraussetzungen

Berechnung und Bemessung von Klebearmierungen beziehen sich auf die Festlegung des Querschnitts und der Länge des notwendigen Verstärkungsprofils sowie auf die Sicherstellung der Verankerung. Dabei stehen die Gewährleistung ausreichender Tragsicherheit und Gebrauchsfähigkeit im Vordergrund. Während die Bemessung des statisch erforderlichen Querschnitts nach den Grundsätzen des Stahlbetons keine wesentlichen Probleme aufwirft, sind bei der Überprüfung der Verankerungszone der Verbundkonstruktion Beton–Stahl einige besondere Überlegungen nötig.

Verbundverhalten

Das Verbundverhalten von geklebten Bewehrungen wurde in verschiedenen Versuchsreihen untersucht. Ausser den bereits einleitend erwähnten Versuchen sind besonders an der EMPA in Dübendorf seit 1972 systematische Untersuchungen zu diesem Thema durchgeführt worden und zwar in enger Zusammenarbeit mit Ciba-Geigy, ausführenden Spezialfirmen und projektierenden Ingenieuren. In diesem Zusammenhang sind auf ein konkretes Bauobjekt bezogene Ergebnisse publiziert worden [6]. Gross angelegte Kurz- und Langzeitversuche sind z.Zt. noch im Gang und die zu erwartenden Ergebnisse werden weitere wertvolle Aufschlüsse zur Bemessung von Klebearmierungen liefern.

Diese Versuche und auch eine kürzlich von der Stahlton AG intern durchgeführte Versuchsreihe haben gezeigt, dass die Haftspannungen in der Kontaktfläche geklebter Armierungen sehr ungleichmässig über die Verankerungsstrecke verteilt sind. Während die Grösstwerte der Haftspannungen von der Verankerungslänge weitgehend unabhängig sind, ist dies bei der mittleren, ertragbaren Haftspannung nicht der Fall. Aufgrund der Versuche ist anzunehmen, dass der über etwa 1 m hinausgehende Teil einer Verankerungsstrecke nicht mehr wesentlich zur anschliessbaren Verankerungskraft beiträgt und praktisch vernachlässigt werden kann. Geht man davon aus, dass bei einer Verankerungslänge von einem Meter eine mittlere Haftspannung beim Bruch von etwa 2 N/mm² erreicht wird – ein Wert, der durch Versuche bestätigt worden ist – lassen sich somit auch bei grösseren Verankerungslängen nicht mehr als etwa 2000 N Zugkraft je 1 mm Lamellenbreite anschliessen. Will man im rechnerischen Bruchzustand die Streckgrenze der Stahl-Lamellen von 240 N/mm² erreichen, wird die Lamellenstärke vom Verbundverhalten her auf etwa t = 2000/240 ≅ 8,5 mm beschränkt. Aus konstruktiven oder montagetechnischen Gründen können allerdings auch grössere Lamellenstärken angezeigt sein. Lässt man grössere, mittlere Haftspannungen als 2 N/mm² bei kurzen Verankerungsstrecken ausser Betracht, beträgt somit die anschliessbare Verankerungskraft näherungsweise

$$Z^* = 2\ \mathrm{N/mm^2} \cdot l_v \leq 2000\ \mathrm{N/mm}$$

worin Z^* die rechnerische Bruchlast der Verankerung in N je mm Lamellenbreite und l_v die Länge der Verankerungsstrecke in mm bedeuten. Bei der Festlegung der Verankerungslänge eines Verstärkungsprofils ist zu beachten, dass die im Verankerungsbereich vorhandene Zugkraft relativ rasch vom Maximalwert Z^* gegen Null abfällt (Bild 6).

Nachweis der Tragsicherheit

Die Bruchzugkraft in der Lamelle ist durch die Kapazität Z^* der Verankerung bzw. durch die Bruchkraft $F_L \cdot \sigma_{LS}$ des eigentlichen Lamellenquerschnitts gegeben. Auch die Bruchzugkräfte $F_e \cdot \sigma_{es}$ in der im Beton liegenden normalen Stahlbeton-Bewehrung sind bekannt. Damit lässt sich das aufnehmbare Bruchmoment M_{Br} in jedem Querschnitt des verstärkten Konstruktionselements bestimmen. Es muss dafür gesorgt werden, dass für jeden Querschnitt dieses M_{Br} grösser ist als das unter rechnerischer Bruchlast q^* vorhandene Bruchmoment. Letzteres kann nach SIA 162, Art. 3.14, durch Verschiebung der Bruchmomentenlinie M^* um $\alpha \cdot h$ erhalten werden. (Bild 7) Die Kontrolle der Schubbeanspruchung

folgt den Regeln des Stahlbetons. Für Platten muss die Bedingung $\tau^* (Q) < \tau_r$ erfüllt sein, da in der Regel keine Schubbewehrung vorhanden ist (Norm SIA 162, Richtlinie 34).

Nachweis der Gebrauchsfähigkeit

Mit der Anordnung von nachträglich angeklebten Stahllamellen wird die verstärkte Konstruktion in allen Fällen eine wesentlich erhöhte Biegesteifigkeit aufweisen, so dass ein zusätzlicher Nachweis der Durchbiegung in den meisten Fällen entfallen kann. Falls ein Durchbiegungsnachweis erforderlich ist, darf für die Berechnung des Trägheitsmoments der ideelle Querschnitt unter Berücksichtigung der Stahllamelle eingesetzt werden.

Ein günstiges Rissverhalten der verstärkten Konstruktion unter Gebrauchlasten ist gewährleistet, da die Spannung in der Lamelle unter Gebrauchslast klein ist – höchstens 240/1,8 = 130 N/mm² – und die Spannung in der Bewehrung den für Stahlbeton zulässigen Wert von 240 N/mm² nicht überschreiten darf.

Sicherheitsüberlegungen

Bei Einhaltung der dargelegten Bemessungsregeln erachten wir die Anordnung zusätzlicher mechanischer Verbindungen zur Gewährleistung der Verankerung einer Klebearmierung als nicht erforderlich. Zusätzliche Verbindungsmittel (wie Bolzen, HV-Schrauben, Dübel, Spannstäbe usw.) an den Enden eines Verstärkungsprofils sind jedoch dann notwendig, wenn aus irgendwelchen Gründen die für einen vollen Klebeanschluss erforderliche Verankerungslänge nicht vorhanden ist. Dies dürfte häufiger bei Schubverstärkungsblechen der Fall sein als bei Zusatzarmierungen für Biegeträger.

Die mangelhafte Feuersicherheit einer Klebearmierung ist oft die Ursache von Unklarheiten in der Beurteilung der Sicherheit einer auf diese Weise verstärkten Konstruktion. Es ist bekannt, dass auch die für Klebearmierungen eingesetzten Kunststofformulationen ihre Festigkeit schon bei Temperaturen unter 100 °C zu verlieren beginnen. Bei lang anhaltenden Temperaturen über etwa 75 °C oder gar bei einem Schadenfeuer, wo kurzfristig Temperaturen von mehreren hundert Grad auftreten können, ist deshalb mit dem Ausfall einer Klebeverankerung zu rechnen. Auch eine Stahlbetonkonstruktion wird aber durch ein Schadenfeuer normalerweise in Mitleidenschaft gezogen, wenn sie auch deswegen nicht einstürzen soll.

Höhere Ansprüche sollten jedoch an eine durch Klebearmierung verstärkte Konstruktion nicht gestellt werden; wir betrachten deshalb im Katastrophenfall eine reduzierte, aber noch deutlich über 1,0 liegende Bruchsicherheit des Tragwerks bei voller, erhöhter Nutzlast – jedoch bei ausgefallener Klebearmierung – als tragbar. Sollte diese Bedingung nicht eindeutig erfüllt sein, sind zusätzliche Massnahmen erforderlich, die entweder die Klebearmierung vor höheren Temperaturen wirkungsvoll schützen oder welche die Verstärkungsprofile mit mechanischen Verbindungsmitteln an die Betonkonstruktion anschliessen.

Ausführung

Da Klebearmierungen hohe Ansprüche an Projektierung und Ausführung stellen, zieht der Ingenieur mit Vorteil bereits in der Abklärungs- bzw. Projektierungsphase eine auf diesem Gebiet erfahrene Spezialfirma bei. Diese wird ihn zur grundsätzlichen Eignung der Methode für seine Problem-Lösung beraten bzw. die geeigneten Materialien und Applikationsverfahren vorschlagen.

Die Ausführung einer geklebten Armierung gliedert sich in zwei Hauptphasen, die *Betonvorbehandlung* und die *Klebearbeiten*. Bei der Vorbehandlung des Betons im Bereich der aufzuklebenden Stahlprofile werden die Zementhaut, allfällige Verschmutzungen sowie lose Betonteile entfernt. Üblicherweise erfolgt die Betonvorbehandlung durch Sandstrahlen oder Schleifen. Beide Methoden sind sehr wirkungsvoll; es entstehen dabei jedoch unerwünschte Staubentwicklungen, die nicht immer in Kauf genommen werden können. In Fällen, wo Sandstrahlen und Schleifen aus diesen Gründen nicht in Frage kommen, besteht die Möglichkeit, den Beton durch Aufrauhen mit der Druckluft-Nadelpistole oder durch Abstokken mit dem Stockhammer vorzubehandeln. Der vorbehandelte Beton wird unmittelbar vor Beginn der Klebearbeiten mit Hilfe eines Industrie-Staubsaugers entstaubt. Falls nach der Vorbehandlung grössere Unebenheiten oder Hohlstellen im Beton sichtbar sind, müssen diese je nach Tiefe mit Kunststoff-, Klebe- oder Stopfmörtel ausgefüllt und ausgeebnet werden.

Das Aufkleben der vorgängig sandgestrahlten und geprimerten Stahlprofile gliedert sich in folgende Arbeitsgänge: Der Epoxid-Kleber, in zwei verschiedenfarbigen Komponenten, wird mit einem maschinellen Rührwerk intensiv gemischt und mit einem Spachtel derart auf das Stahlprofil aufgetragen, dass durch das nachträgliche Anpressen keine Luft eingeschlossen wird (Bild 8). Dann erfolgt das Anheben, Richten und Anpressen des mit Kleber beschichteten Stahlprofils an den Beton (Bild 9). Für diesen Arbeitsgang wird mit Vorteil ein Hebegerät, beispielsweise ein Hubstapler, eingesetzt. In Fällen, wo der Einsatz einer mechanisierten Hubeinrichtung nicht möglich ist, wird mit einfachen Hilfsmitteln von Hand gearbeitet. Normalerweise werden zum Anpressen der Stahlprofile an den Beton übliche Deckenspriesse eingesetzt. Zur Verteilung der Anpresskräfte auf die Stahlprofile werden in der Regel Kanthölzer, gelegentlich auch U-Profile verwendet. Es ist auch ohne weiteres möglich, die aufzuklebenden Stahlprofile durch im Beton verankerte Dübel, HV-Schrauben oder vorgespannte Stäbe an den Untergrund anzupressen; beispielsweise dann, wenn eine Spriessung nicht möglich ist, wie bei vertikalen Flächen oder grossen Raumhöhen. Die Stahlprofile werden an den Beton angepresst, bis der überschüssige Kleber seitlich herausquillt, worauf er sorgfältig entfernt wird. Die planmässige Dicke der Klebefuge sollte nicht mehr als 1 ÷ 3 mm betragen. In einem weiteren Arbeitsgang wird jedes an Decken- oder Trägerunterseiten aufgeklebte Profil durch zwei sogenannte Brandschutzdübel gesichert. Diese Dübel haben keine statische Funktion; sie sollen lediglich verhindern, dass herunterfallende Stahlprofile bei einem Schadenfeuer Lösch- und Rettungsmannschaften gefährden. Auf die mit Brandschutzdübeln gesicherten Stahlprofile kann als definitiver Rostschutz ein Anstrich auf Epoxid- oder Chlorkautschuk-Basis aufgebracht werden. Um die geklebte Armierung vor hohen Temperaturen zu schützen, ist ferner das Aufspritzen eines wärmeisolierenden Materials oder die Anordnung von Gipskartonplatten bzw. einer heruntergehängten Deckenkonstruktion möglich.

Normalerweise können bei Raumtemperatur die Anpressvorrichtungen, d.h.

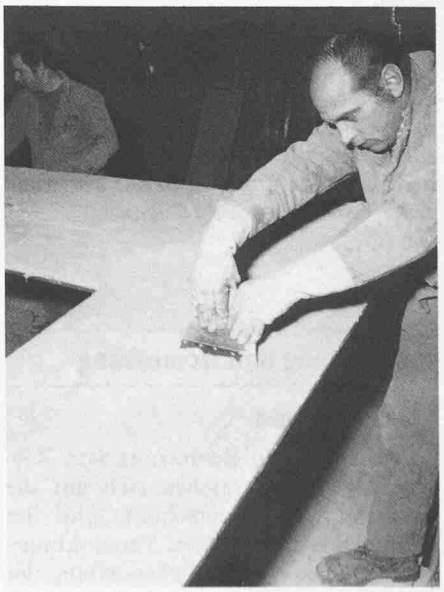


Bild 8. Auftragen von Klebemörtel mit dem Spachtel auf einen grossflächigen Flachstahlrahmen

Bild 9. Als Verstärkung einer nachträglich ausgebrochenen Öffnung werden beidseits Flachstahlrahmen auf die Betonwand geklebt

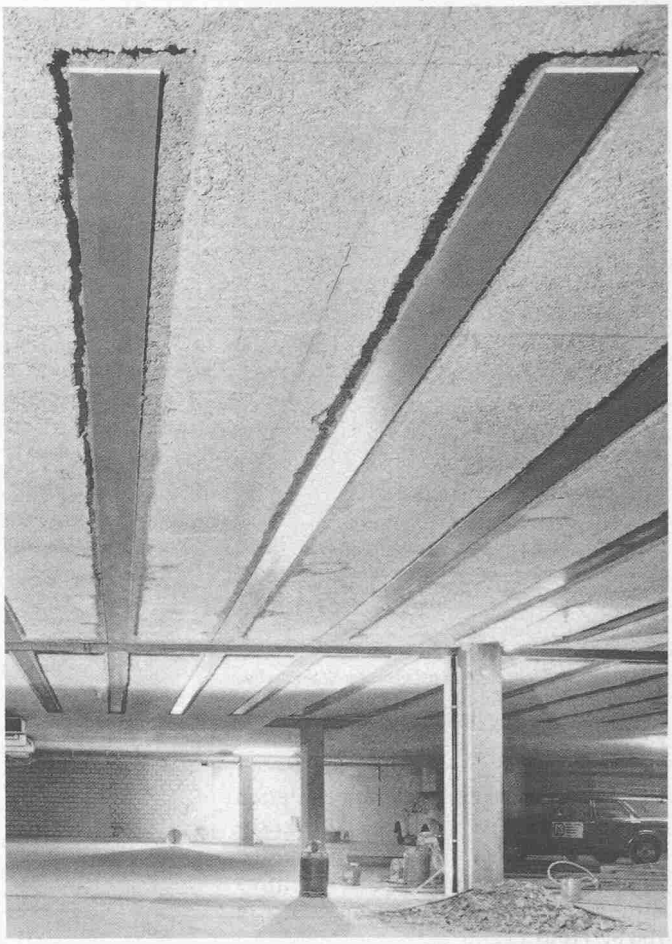


Bild 10. Verstärkung einer Flachdecke über einer Tiefgarage mit Klebearmierung. Zur Erhöhung der zulässigen Nutzlast wurde die Decke mit 216 Stahlblechen verstärkt

Spriessung, Schraubzwingen und Kanthölzer, nach etwa 24 Stunden entfernt werden. Die Klebeverbindung zwischen Beton und Stahl ist dann bereits tragfähig.
Zur Kontrolle, ob die Stahlprofile mit dem Beton vollflächig verklebt sind, können sie z.B. mit einem kleinen Hammer abgeklopft werden. Hohlstellen würden sich durch einen ganz andern Klang verraten und könnten gegebenenfalls nachinjiziert werden.

Ausführungsbeispiele

Nutzlast-Erhöhung

In der Tiefgarage eines Einkaufszentrums wurden zur Erhöhung der zulässigen Nutzlast 2280 m² Flachdecke mit AVENIT-Klebearmierungen verstärkt. Insgesamt wurden von der Stahlton AG 216 Stahlbleche in den Dimensionen 200/6–7600 mm, 200/6–7900 mm, 160/6–6600 mm kraftschlüssig auf die Deckenunterseite geklebt (Bild 10).

Systemänderung

Beim Umbau eines Grosskinos in Zürich wurde unter einem Dachträger eine Stahlbetonstütze entfernt. Die durch den Wegfall dieser Stütze geänderten statischen Verhältnisse bedingten eine starke zusätzliche Armierung des Dachträgers im Bereich des Feldmomentes. Die von der Stahlton AG kraftschlüssig auf die Trägerunterseite geklebten AVENIT-Klebearmierungen bestehen aus 4 Flachprofilen 200/16–12000 mm (Bild 11).

Sanierung

Die vorfabrizierten Betonrahmen als Auflager der Schmelzpfannen des ALBA Aluminium-Schmelzwerkes in Bahrain waren infolge Überbelastung gerissen. Zur Sanierung wurden an insgesamt 700 Betonrahmen je ein Flachstahlprofil 280/8–2850 mm kraftschlüssig auf die Rahmenunterseite geklebt. Die Ausführung der Klebe- und Injektionsarbeiten erfolgte mit AVENIT EP-Klebemörtel und EP-Injektion nach Vorschlägen der Stahlton AG durch die amerikanische Bauunternehmung Comstock International Ltd (Bild 12).

Panzerung

Die Steuerorgane des Zonenpumpwerks Hardhof, Zürich, mussten in strahlengeschützten Räumen installiert werden. Zu diesem Zweck wurden Betonboden, -wände und -decken mit Stahlblechen ausgekleidet und an ihren Stössen gasdicht verschweisst. Die zu einem wesentlichen Teil 8 m² grossen

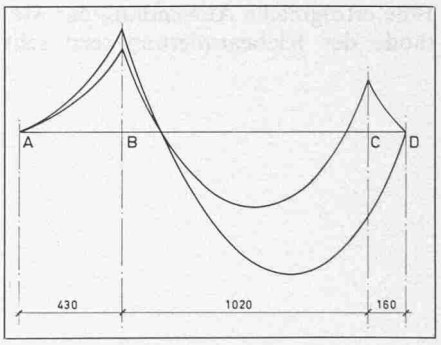


Bild 11. Systemänderung durch Wegfall einer Stütze eines Dachträgers. Momentenverlauf vor und nach Entfernung der Stütze C; Klebearmierung zwischen Stützen B und D

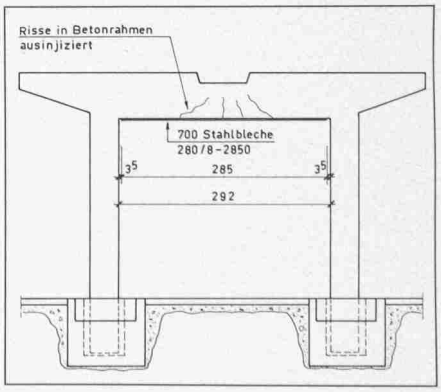


Bild 12. Mit Klebearmierung sanierte Betonrahmen des ALBA Aluminium Schmelzwerkes in Bahrain

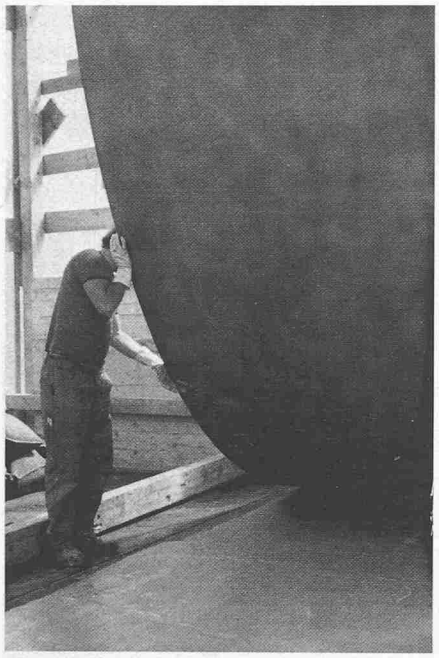


Bild 13. Aufkleben von 8 m² grossen Stahlblechen als Strahlenschutz für die Steuerorgane des Zonenpumpwerkes Hardhof in Zürich

und 4 mm starken Bodenblechplatten wurden von der Stahlton AG kraftschlüssig auf den Beton und an den Rändern auf einbetonierte Winkelprofilrahmen geklebt. Das Ausmass betrug 700 m² (Bild 13).

Schlussbemerkungen

Eine erfolgreiche Anwendung der Methode der Klebearmierung setzt sehr sorgfältige Vorabklärungen, materialgerechte Projektierung sowie hohe Zuverlässigkeit bei der Ausführung voraus. Im Vergleich zu herkömmlichen Lösungen für Verstärkungsprobleme (wie eingezogene Stahl- oder Betonrahmen) lassen sich die Vorzüge von Klebearmierungen zusammenfassend wie folgt charakterisieren:

- Die nutzbare Raumhöhe erfährt praktisch keine Reduktion
- Das zusätzliche Gewicht der Verstärkungselemente ist sehr gering
- Die Beeinträchtigung der Raumnutzung während der Montagearbeiten ist unerheblich
- Die Bauzeit ist kurz sowohl im Vergleich zu konventionellen Verstärkungsmethoden als auch erst recht im Verhältnis zu Abbruch und Neubau.

Nachdem diese neue Technik im vergangenen Jahrzehnt in der Schweiz rasch Eingang gefunden hat und von Ingenieuren, Prüfanstalten und Behörden akzeptiert worden ist, kann ihr aufgrund der bisherigen positiven Resultate eine weitere Verbreitung vorausgesagt werden.

Adresse der Verfasser: *Ch. Ruggli, P. Wyss* und *G. Zenobi*, Stahlton AG, Riesbachstrasse 57, 8034 Zürich

Literaturverzeichnis

[1] *L'Hermite, R.* u. *Bresson, J.*: Referat am RILEM-Kongress, Paris 1967.

[2] *Bresson, J.*: «Nouvelles Recherches et Applications concernant L'Utilisation des Collages dans les Structures». Béton plaqué. Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, Supplément au No 278, Février 1971. Serie: Béton, Béton armé No 116.

[3] *Bresson, J.*: «Renforcement par Collage d'Armatures du Passage inférieur du CD 126 sous l'Autoroute du Sud». Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, Supplément au No 297, September 1972. Série: Béton, Béton armé No 122.

[4] Verstärkung einer Stahlbeton-Strassenbrücke in den UdSSR. Schweizerische Bauzeitung, 92. Jg., Heft 16, 18. April 1974, S. 390/391.

[5] *Flemming, C.J.*, u. *G.E.M. King*: RILEM-Kongress, Paris, September 1967.

[6] Verstärkung von Tragkonstruktionen mit geklebter Armierung. Schweizerische Bauzeitung. 92. Jg., Heft 19, 9. Mai 1974, S. 457–474.

[7] *Zenobi, G.*: «Verbindungen unter Verwendung von Kunstharzen». Schweizer Baublatt Nr. 98, 12. Dezember 1975.

[8] *Hugenschmidt, F.*: «Epoxidharzkleber für Beton und Stahl». VDI-Bericht Nr. 225, S. 21–33.

[9] *Poschet, G.* u. *Götze, H.*: «Untersuchung der Festigkeit von Klebstoffverbindungen aus Epoxid- und Polyesterharzen mit Beton». Betonwerk und Fertigteil-Technik, Heft 1/1973.