

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 87 (1969)  
**Heft:** 11

**Artikel:** Das Kleben von Beton mit Kunstharzen: Vortrag  
**Autor:** Kelterborn, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-70618>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 06.02.2025

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

## Das Kleben von Beton mit Kunstharzen

DK 679.56:668.3:666.97

Von P. Kelterborn, dipl. Ing. ETH, Kaspar Winkler & Co. Zürich

Vortrag, gehalten an der Studientagung der FGBH über aktuelle Ingenieurprobleme vom 18. und 19. Okt. 1968 in Zürich

Gerade weil dieses Bauverfahren noch in voller Entwicklung steht, benötigten bisher alle erfolgreich ausgeführten Betonverklebungen eine ganz besonders enge Zusammenarbeit zwischen dem Projektverfasser, dem Unternehmer und dem Bauleiter. Das Ziel dieses Berichtes ist deshalb eine Darstellung der aktuellen Lage, und zwar von den erwähnten drei Blickrichtungen aus gesehen.

### A. Überlegungen des Projektverfassers

Wohl die erste Feststellung, die ein Statiker machen wird, der sich in dieses Gebiet einzuarbeiten beginnt, ist unzweifelhaft die, dass die Praxis der Theorie vorauslaufen konnte. Dies hat unter anderen folgende besonders einleuchtende Gründe:

- Die Kunstharzleime zeigen meistens einen markanten Festigkeitsüberschuss gegenüber dem Beton.
- Gegenüber den Bauwerksausdehnungen sind die Leimschichten häufig sehr dünn, weshalb auch die elastischen und plastischen Verformungen des Leimes ausserordentlich gering bleiben.
- Die Neuheit der ganzen Verleimungstechnik verlangte zu Recht die Wahl eines grossen Sicherheitsfaktors.

Lange wird sich dieser Zustand nicht mehr halten können. Erstens besteht ein grosses Bedürfnis nach preiswerteren Klebern, welches nur durch Produkte erfüllt werden kann, die keinen so ausgeprägten Festigkeitsüberschuss mehr haben. Zweitens werden sich die Fälle häufen, wo die Dicke der Kleberschicht gegenüber den anderen Ausdehnungsrichtungen nicht mehr vernachlässigt werden kann. Und schliesslich nimmt die Zahl der Unbekannten auf der Rohmaterial- und auf der Ausführungsseite ständig ab. Die Aufgabe, eine Theorie der Kunstharzverklebungen aufzubauen, ist nicht einfach, handelt es sich doch immer um ebene oder räumliche Spannungszustände in einem Baukörper, der Zonen mit verschiedenen Elastizitäts- und Schubmoduli aufweist, je nachdem ob man den Beton, den Kunstharzkleber oder eventuell ein umhülltes Armierungseisen betrachtet. Dazu

kommen noch die Unterschiede in den Festigkeiten und im Zeitverhalten. Die Anforderungen, die der Projektverfasser an diese Theorie stellen muss, sind sehr hoch. Sehr hoch deshalb, weil es ihm nicht darum geht, eine möglichst vollständige und deshalb auch sehr komplizierte und vielleicht unübersichtliche Berechnungsweise zu besitzen, sondern weil er sowohl mathematisch als auch gedanklich vereinfachte und doch genügend treffsichere Verfahren unbedingt braucht.

Bis zum Bekanntwerden dieser wissenschaftlichen Arbeiten stützt sich die heutige Projektierungspraxis auf generelle Erfahrungsregeln, auf Ausreissversuche bei Verankerungseisen und bei Flächenverklebungen, auf klassisch gerechnete Spannungsnachweise in den kritischen Schnitten. Diese kritischen Schnitte liegen sehr oft unmittelbar neben der Leimstelle im Beton und besitzen keinerlei Armierungen. Auf die unerwartete Aufwertung der Erfahrungen und Normen über unarmierten Beton sei speziell hingewiesen. Hier verdient eine erneute Betrachtung der Betonfestigkeit unser Interesse. Wir haben uns an die Betonzugfestigkeit gewöhnt, welche aus dem Biegeversuch am einfachen Balken ermittelt wird. Sie gilt also für das Innere des Materials. Bei Flächenverklebungen wird aber die Kraft über die Oberfläche in den Körper eingeleitet. Zahlreiche Versuche haben nun gezeigt, dass die oberflächliche Zugfestigkeit in der Grenzschicht des Betons von derjenigen im Innern stark verschieden sein kann. Wir wollen hier den Begriff der Grenzschichtfestigkeit festhalten und an einigen Beispielen näher betrachten. Die Bilder 1 und 2 geben eine Darstellung der äusseren Erscheinung. Die weiteren Bilder 3, 4, 5 und 6 zeigen Schlißbilder durch verklebte Betonkörper mit grossen Unterschieden in der Struktur ihrer Grenzschichten.

Das Thema Grenzschichtfestigkeit ist sicherlich noch nicht abschliessend erforscht. Deutlich haben sich aber jetzt schon einige feste Tatsachen herausgeschält:

**Rauhigkeit der Betonoberfläche:** Bei Verklebungen mit Kunstharzen dient die übliche Aufrauung der Betonoberfläche ausschliess-

Bild 1. Druckversuch an Betonprismen  $12 \times 12 \times 36$  cm mit schräger ( $45^\circ$ ) Verklebung. Darstellung eines normalen Bruches durch das Betonmaterial (P 300) und entlang der Verklebung in der Grenzschicht

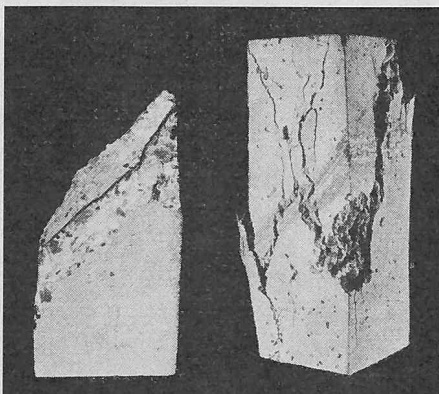
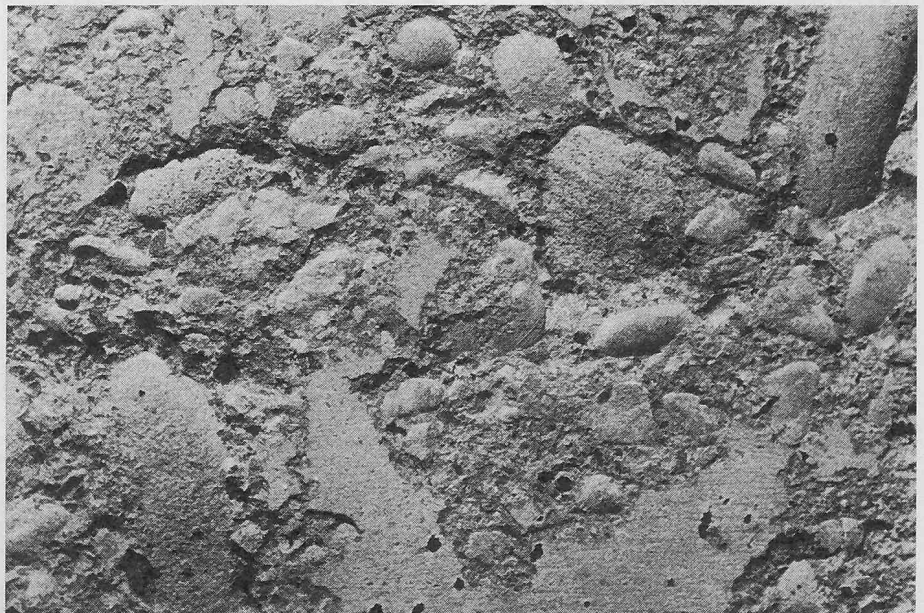


Bild 2. Nahaufnahme eines Bruches in der Grenzschicht. Typisch ist die einseitige Freilegung der mittleren und grösseren Zuschlagskörner und das Auftreten von schuppenartigen Kleberresten, welche manchmal noch mit einer äusserst feinen Zementschicht bedeckt sind



lich der Verbesserung der Grenzschichtfestigkeit und nicht der Erhöhung der Rauigkeit oder Griffigkeit. Für Kunstharzleime, mit denen man ja auch Metalle kleben kann, sind nämlich auch die glattesten Betonoberflächen immer noch rau.

Wege zur Erhöhung der Grenzschichtfestigkeit: Sehr positive Ergebnisse, nämlich Grenzschichtfestigkeiten bis zu 100% der inneren Festigkeit, wurden auf die verschiedensten Arten erzielt: Sandstrahlen, Schleifen, Bürsten, leichtes Abspitzen, flache Waschbetonbehandlung, usw. Allen Methoden ist gemeinsam, dass die äusserste Zementhaut entfernt oder zumindestens so stark beansprucht wird, dass schwache Zonen sich lösen. Das Optimum ist spätestens dann erreicht, wenn die mittleren oder grösseren Kieskörner einseitig freigelegt sind. Aber besonders bei jungem, unverwittertem Beton ist ein so tiefes Aufschliessen der Betonoberfläche nicht immer notwendig. In Form einer Nebenbemerkung sei noch daran erinnert, dass auch für die Weiterleitung der Kräfte im Tragwerk gesorgt werden muss. Eine feine Netzarmierung unmittelbar hinter der Verleimungsfuge leistet dazu sehr gute Dienste.

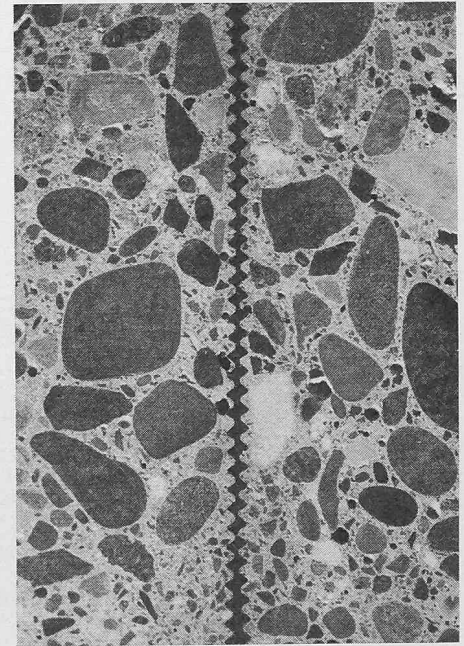
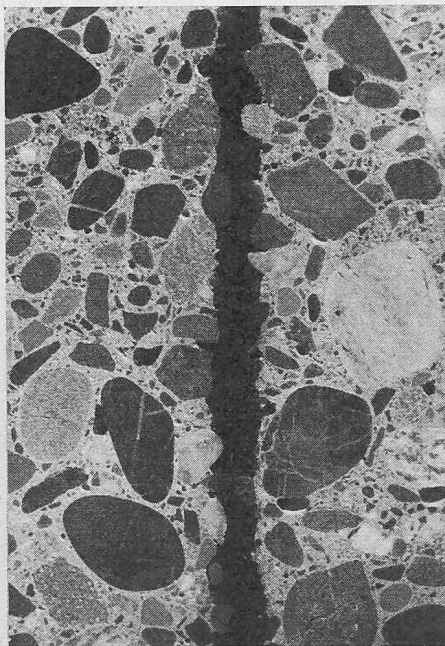
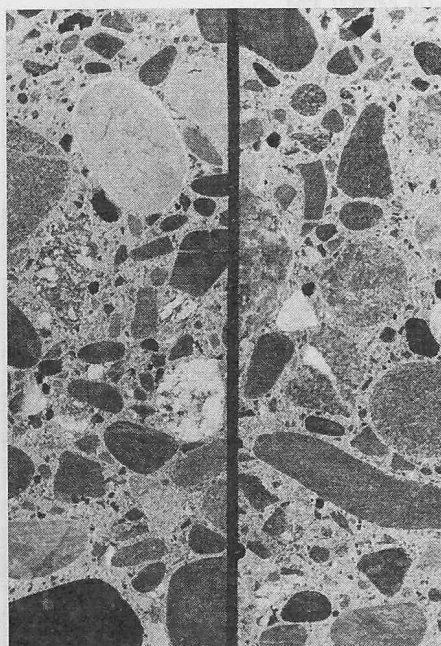
Unbedingt zu vermeiden: Es folgt nun wohl von selbst die Tatsache, dass alte, verwitterte oder zersetzte Betonoberflächen, sowie durch Farbe, Öle oder andere Chemikalien imprägnierte Zonen keine genügende Grenzschichtfestigkeit sicherstellen können. Dasselbe gilt für zu tief profilierten Waschbeton, abstaubende Schalflächen (verbrannter Zement) und freie, nicht abgeschaltete Oberflächen.

## B. Forderungen des Unternehmers

Er sieht sich vor die konkrete Frage gestellt, eine wirksame Klebung mit minimalem Aufwand und maximalem Effekt auf der Baustelle durchzuführen. Dazu benötigt er einfache, narrensichere Kleber mit den genauen technischen Kenndaten. Diese Vereinfachung des Problems mag im ersten Moment erstaunen. Sie folgt aus der sich immer wiederholenden Erfahrung, dass gerade in der Verklebungstechnik die Anfangsschwierigkeiten wie Wahl der Mischgeräte, rationale Methoden zum flächenhaften Auftragen, Fixierungs- und Anpressvorrichtungen für die Werkstücke, Toleranzprobleme, usw. sehr schnell abklingen. Was aber immer übrig bleibt, ist die Sorge um die Verhinderung eines menschlichen Versagens und die Notwendigkeit, auf der Arbeitsstelle Entscheidungen zu treffen, welche mit der Koordination oder Eingliederung der Klebearbeit in den ganzen Bauablauf zusammenhängen.

Bild 3. Hier wurde Beton P 300, max. Korn  $\varnothing$  32 mm mit der Diamantsäge geschnitten und zwei derartige Oberflächen mit schwarz eingefärbtem Epoxykleber verbunden. Man sieht deutlich, dass die mittleren und grösseren Steinkörner direkt an der Verklebung beteiligt sind. Die Grenzschichtfestigkeit dieser Oberflächen beträgt immer 100% der inneren Biegezug- oder Zugfestigkeit

Bild 4. Gleiche Verklebung wie in Bild 3, aber mit Waschbetonstruktur von sehr tiefer Penetration. Da einige Zuschlagskörner bereits aus dem Verband gelockert sind, kann hier die Grenzschichtfestigkeit beträchtlich reduziert sein (Messwerte zwischen 70% und 90%). Waschbetonstrukturen mit geringer Penetration besitzen eine Grenzschichtfestigkeit von 100%



Epoxyharzkleber im Bau bestehen grundsätzlich aus drei oder vier Komponenten, wie Harz, Härter und verschiedenen Zuschlägen oder Zusätzen. In bestimmten stöchiometrischen Gewichtsverhältnissen werden zuerst Harz und Härter zusammengegeben, gerührt und anschliessend mit den Zuschlagstoffen zum fertigen Leim weitervermischt. Dieser Prozess ist nicht frei von Fehlerquellen. Welche Vereinfachungen kann man als Unternehmer verlangen? Es sind folgende:

- Sämtliche Zuschlagstoffe, wie Thixotropiemittel, Abbinderegler, ofengetrocknete Quarzsande, usw. müssen in den Harz- oder Härterkomponenten bereits vorgemischt enthalten sein, derart dass die Transport- und Lagerfähigkeit nicht beeinträchtigt wird. Auf der Baustelle dürfen also immer nur zwei Komponenten in Erscheinung treten.
- Das umständliche Abwiegen der Komponenten auf der Baustelle muss entfallen. Brauchbar sind vordosierte Fertigpackungen oder einfache volumetrische Mischverhältnisse bei grossen Gebinden.
- Die beiden Komponenten sollen verschieden eingefärbt sein und zusammen eine dritte Farbe ergeben. Grobe Dosier- oder Mischfehler sind damit optisch erkennbar.

Die Literatur über Kunstharzmaterialien ist schon sehr gross, und auch Prospekte und Gebrauchsanweisungen enthalten viele Zahlenwerte. Darunter befindet sich wahrscheinlich jeweilen auch eine Angabe über die Verarbeitungszeit und über die Endfestigkeit. Nun ist aber die Verarbeitungszeit wesentlich von der Temperatur und dem Klebervolumen abhängig; die Endfestigkeit von der Umgebungstemperatur und von der Zeit. In den Bildern 7 und 8 ist dafür ein Beispiel festgehalten. Eine nähere Betrachtung führt zum Schluss, dass der Unternehmer auf der Baustelle von allen Kenndaten wohl keine so dringend braucht, wie gerade die hier abgebildeten. Der Aussagewert dieser Kurven kann nur in ganz ungenügender Weise durch ein einziges Zahlenpaar wiedergegeben werden.

## C. Massnahmen der Bauleitung

Im allgemeinen sieht sich der Bauleiter der doppelten Aufgabe gegenüber, gewisse Kontrollfunktionen auszuüben und gleichzeitig durch aktives Mitwirken zum Gelingen des Bauwerkes beizutragen.

Bild 5. Gleiche Verklebung wie in den Bildern 3 und 4, aber mit gerillter Schalung. Gegenüber einer normal und flach abgeschalteten Oberfläche bedeckt nun eine dickere und schwächere Zementmörtelhaute das gesamte Korngefüge. Die Rillung hat das frühe Wasserverdunsten beim Jungbeton und das schnellere Verwittern des Altbetons begünstigt und in keiner Weise einen Mehrwert gebracht. Vernünftigerweise kann von dieser Oberflächenart, sowie von der normalgeschalteten Betonoberfläche, keine Angabe über die Grenzschichtfestigkeit gemacht werden, weil grundsätzlich diese Oberflächen nie ohne Nachbehandlung bleiben dürfen.

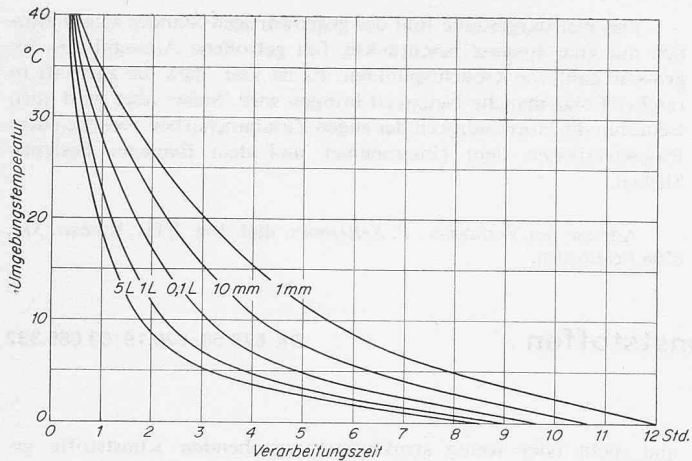


Bild 7. Die Verarbeitungszeit (Potlife) eines Epoxylebers in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur und des Volumens, bzw. der aufgetragenen Schichtdicke

Um hier erfolgreich zu sein, muss er einerseits den Aufwand und die Art der Kontrollen in ein gesundes Verhältnis zur Bedeutung der Verklebung im Bauwerk bringen. Und andererseits müssen alle Prüfungen und Probeentnahmen als ein Hilfsmittel zum Treffen von richtigen Entscheidungen aufgefasst werden. Sie sind ja keine Beiträge zur Forschung und auch keine Speisungen der Archive mit Belegexemplaren, um zur gegebenen Zeit die Nichtverantwortung des einen oder anderen Teilnehmers beweisen zu können. Nachfolgend machen wir einen Vorschlag für ein Prüfungskonzept, das diesen Anforderungen gerecht wird. Es beruht auf der klaren Festlegung der Wichtigkeitsstufe und einem dazu passenden Minimalprogramm für die auszuführenden Prüfungen.

**Wichtigkeitsstufe: sehr gross**

**Situation:** Klebung von höchster statischer oder finanzieller Bedeutung. Verfügbare Zeit bis zum Entscheid: Mehrere Monate bis 1 Jahr.

Bild 6. Gleiche Verklebung wie in den Bildern 3, 4 und 5, aber mit horizontalen, nicht abgeschalteten, sondern frei abgezogenen Oberflächen. Gegenüber den anderen Schlißbildern fällt auf, wie wenig grosse Körner im Bilde sichtbar sind. Die freie Betonoberfläche ist für kraftschlüssige Verklebungen ungeeignet, da aufsteigendes Wasser, Anreicherungen von Zementschlümmen, Verdunstungsverluste und Schwindspannungen die Grenzschichtfestigkeit vermindert haben

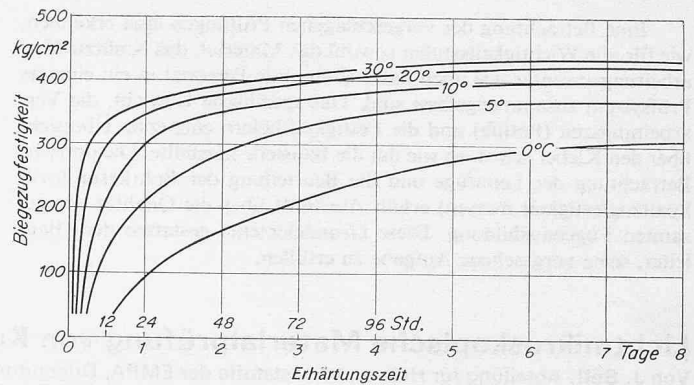
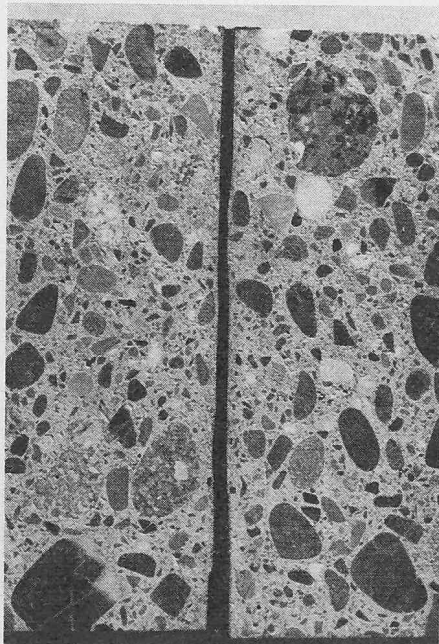


Bild 8. Die Entwicklung der Biegezugfestigkeit eines Epoxylebers in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur und der Zeit. Besonders während der ersten drei Tage ist der Temperatureinfluss beträchtlich. Die Messung wurde an Prismen  $4 \times 4 \times 16$  cm durchgeführt. Die zugehörige Würfel-druckfestigkeit ergibt einen sehr ähnlichen Kurvenverlauf. Bei  $20^\circ\text{C}$  Aushärtungstemperatur erreicht in 8 Tagen die Druckfestigkeit den Wert von  $685 \text{ kg/cm}^2$

**Gesucht:**

- Berechnungsunterlagen oder Dimensionierungsversuche für eine konkrete Bauaufgabe.
- Auswahl oder Vergleich verschiedener Klebmaterialien für eine konkrete Bauaufgabe.
- Kontrolle und Führung der laufenden Baustelle.

**Prüfungen:** Zu a) Vergleichsversuche im Labor, abgestimmt auf das zu lösende Problem. Ausführung mehrere Monate vor Baubeginn.

Zu b) Vergleichsversuche im Labor. Gegebenenfalls Vervollständigung der technischen Daten. Ausführung mehrere Monate vor Baubeginn.

Zu c) Kleber auf der Baustelle herstellen und Verarbeitungszeit, spezifisches Gewicht und Festigkeiten an  $4 \times 4 \times 16$  cm Prismen feststellen. Gelegentlich Bohrkerne aus den fertigen Fugen entnehmen (Bild 9). Ausführung während den Bauarbeiten.

**Wichtigkeitsstufe: mittel**

**Situation:** Klebung von mittlerer statischer und finanzieller Bedeutung.

**Gesucht:** Kontrolle und Führung der laufenden Baustelle.

**Prüfungen:** Kleber auf der Baustelle herstellen und Verarbeitungszeit, spezifisches Gewicht und Festigkeit von  $4 \times 4 \times 16$  cm Prismen feststellen. Im Zweifelsfalle Bohrkerne aus der fertigen Fuge entnehmen.

**Wichtigkeitsstufe: klein**

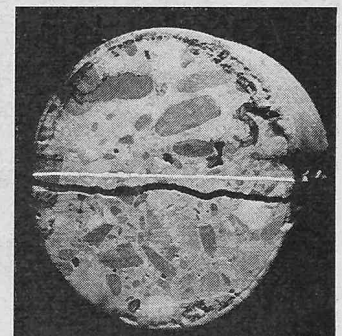
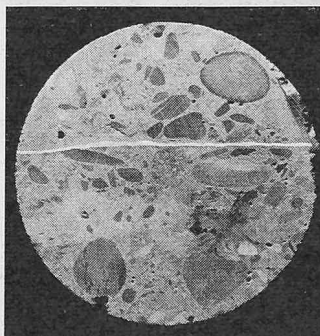
**Situation:** Klebung von sekundärer statischer und finanzieller Bedeutung.

**Gesucht:** Minimale Kontrolle des Materials und der Arbeitsausführung.

**Prüfungen:** Kleber auf der Baustelle herstellen. Verarbeitungszeit und spezifisches Gewicht feststellen.

Bild 9. Entnahme von Bohrkernen aus dem fertigen Bauwerk

Sofortige Beurteilung auf der Baustelle durch Augenscheinnahe Spaltzugversuch zur Kontrolle der Grenzschichtfestigkeit im Labor



Eine Betrachtung der vorgeschlagenen Prüfungen lässt erkennen, wie für alle Wichtigkeitsstufen sowohl das Material, das benützte Verarbeitungsinventar wie auch das ausführende Personal in ein einziges Prüfsystem zusammengefasst sind. Das spezifische Gewicht, die Verarbeitungszeit (Potlife) und die Festigkeit liefern eine erste Übersicht über den Kleber selbst, so wie ihn die Baustelle herstellt. Die optische Betrachtung der Leimfuge und die Beurteilung der Bohrkerne (evtl. Spaltzugfestigkeit messen) erteilt Auskunft über die Qualität der gesamten Fugenausbildung. Diese Grundelemente gestatten dem Bauleiter, seine vorgesehene Aufgabe zu erfüllen.

Das hier dargestellte Bild des gegenwärtigen Standes zeigt natürlich nur eine äusserst beschränkte, frei getroffene Auswahl aus der grossen Zahl von Gesichtspunkten. Es ist klar, dass die Zukunft in rascher Folge manche Neuigkeit bringen wird. Sicher aber wird auch weiterhin die Notwendigkeit der engen Zusammenarbeit zwischen dem Projektverfasser, dem Unternehmer und dem Bauleiter bestehen bleiben.

Adresse des Verfassers: P. Kelterborn, dipl. Ing. ETH, Rainstr. 372, 8706 Feldmeilen.

## Lichtmikroskopische Materialprüfung von Kunststoffen

DK 679:56:620.19:53.085.332

Von J. Sell, Abteilung für Holz und Kunststoffe der EMPA, Dübendorf

### Einleitung

Die Anwendung der Kunststoffe in der Bautechnik ist noch relativ jung. Die ausserordentliche Vielfalt der chemischen Grundmaterialien der Kunststoffe, die Tendenz, durch Zusätze mannigfacher Art die Verarbeitungs- und Anwendungseigenschaften zu ändern, die Möglichkeit namhafter Streuungen und Einflüsse, die aus dem Verarbeitungsverfahren erwachsen u. a. m., machen dem Projektierenden und dem Verarbeiter die Materialwahl und -beurteilung sehr schwierig. Wenn auch die makroskopische Betrachtung manchmal Anhaltspunkte zur Beurteilung der Verarbeitungsqualität liefern kann, so sind die Möglichkeiten der raschen Erkennung und Bewertung von Materialfehlern begrenzt und noch wenig ausgebaut.

Wo man praktisch nicht ohne weiteres zu einer apparativen Ermittlung spezifischer Eigenschaften schreiten kann, bietet die mikroskopische Untersuchung auf andern Materialgebieten oft relativ einfache Handhaben zur Erkennung spezifischer Strukturmerkmale und Materialfehler [1]. So sind auch an der EMPA erste Versuche, die Lichtmikroskopie bei der Untersuchung von Kunststoffen einzusetzen, recht positiv ausgefallen. Es schien daher gerechtfertigt, solche Untersuchungsmöglichkeiten anhand einiger Beispiele zu erörtern, hauptsächlich im Sinne einer Anregung, die auch für den Baufachmann und den Verbraucher von Kunststoff-Halbfabrikaten aufschlussreich sein kann. Je mehr eine unmittelbare Vorstellung von der Struktur der oft undifferenziert

und nicht oder wenig strukturiert aussehenden Kunststoffe geschaffen wird, um so besser wird der Verbraucher mit der Zeit auch diese neuen Materialien in die Hand bekommen.

### Lichtmikroskopische Verfahren

Eine mikroskopische Beobachtung von Materialteilen ist im Auflicht und, wenn das Material transparent oder zumindest durchscheinend ist, im Durchlicht möglich. Zunächst ist es meist am einfachsten und auch anschaulichsten, das Objekt bei nicht zu starker Vergrösserung (höchstens 50fach) im Auflicht, am besten mit Hilfe eines Stereomikroskopes zu betrachten. Die hierbei gewonnenen Beobachtungen können entscheiden, ob umfangreichere mikroskopische oder auch andere Untersuchungen zweckmässig sind. Geeignete Instrumente geben im weiteren dann die Möglichkeit, das Präparat bei Hell- oder Dunkelfeldbeleuchtung im Auflicht bzw. im Durchlicht zu prüfen. Die Dunkelfeldbeleuchtung erlaubt es, farblose Objekte mit feinsten Strukturen auch quantitativ zu erfassen. Sehr wirksam im Hinblick auf die Kontraststeigerung farbloser Objekte kann auch das Phasenkontrastverfahren sein. Eine besondere Stellung nimmt schliesslich die polarisationsoptische Mikroskopie ein, die auch bei Kunststoffen vielerlei Kenntnisse über Struktur und Spannungen eines Körpers vermitteln kann [2]. Wenn die Moleküle ausgerichtet bzw. die Struktur eines Objektes anisotrop ist, so beeinflusst dies

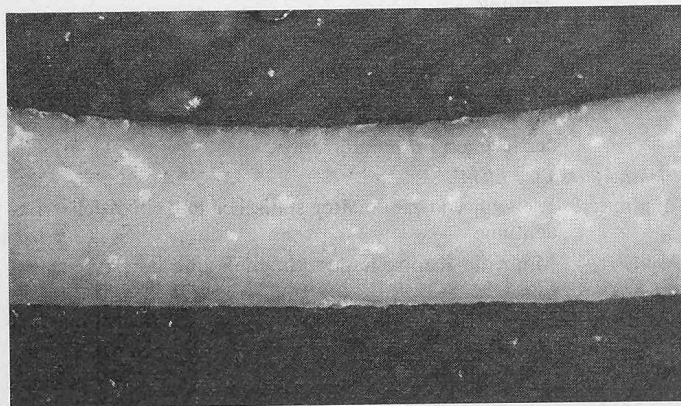


Bild 1 (oben)

Bild 2 (unten)

Bilder 1 bis 3. Querschnittsteile von PTFE-Dichtungsringen

In Bild 1 sind bereits bei Auflichtbeleuchtung des in Epoxydharz eingebetteten Objektes Gefügestörungen zu erkennen. Diese werden in einem Dünnschnitt im Durchlicht (Bild 2) noch deutlicher. Bild 3 zeigt einen Dünnschnitt eines einwandfreien Ringes. Vergrösserung etwa 40:1

Bild 3

