

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 103 (1985)
Heft: 51/52

Artikel: Kunststoffsanierter Holzbauteile unter schwingender Beanspruchung
Autor: Meierhofer, Ulrich A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-75956>

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: 13.01.2026

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

zahn bringt ohne jede Bestäubung – wohlverstanden, auch ohne Eigenbestäubung – immer neue Sämlinge hervor, die schliesslich aus den wunderschönen Lichterkugeln vom Wind vertragen werden. Dieses Phänomen ist mit keiner Naturwissenschaft und auch mit keinem noch so klugen Evolutionsmärchen zu erklären. Der Sinn der Löwenzahnblüte bleibt unserem messenden und logistischen Zugriff für immer verschlossen. Die Frage nach dem Wozu der Löwenzahnblüte kann aus naturwissenschaftlicher Sicht gar nicht beantwortet werden, selbst wenn man dies wollte. Doch das Kind aus Chioggia würde vielleicht fragen: «Hast du den Engel nicht gesehen, der über Nacht die vielen Lichter in der Wiese aufgesteckt hat?»

Bei der Beantwortung der Frage nach dem Sinn der Architektur kann uns die reduktionistische Sicht der heutigen Naturwissenschaften kaum behilflich sein. Falls uns aber ganzheitliche Sicht ein Anliegen ist, müssen wir Antworten finden. Und wir können sie finden, teils wir Architekten gemeinsam, teils in der Auseinandersetzung mit den Benutzern unserer Bauwerke, schliesslich aber jeder für sich!

Nun wird man mir vorwerfen, die Forderung nach ganzheitlicher Sicht sei eine Überforderung, besonders für die Studierenden. Dazu vier Entgegnungen:

Erstens: Ich wiederhole, ganzheitliche Sicht entsteht nicht durch das Zusam-

mensetzen eines Vielerlei von Wissen, sondern sie entwickelt sich in der Sicht auf das Wesentliche des Ganzen.

Zweitens: Ganzheitliche Sicht wird nie einen Endzustand erreichen, sie ist als Tendenz zu verstehen, als Tendenz eines ständigen Bemühens. Der Studierende beginnt in diesem Bemühen, ganzheitliche Sicht bedarf jedoch lebenslanger Auseinandersetzung.

Drittens: Eine Herausforderung ist dies schon – nach soviel Oberflächlichkeit in der Architektur! Aber die Herausforderung würde nur dann zur Überforderung, wenn man sich bereits im Vielerlei von Fachwissen verirrt hätte.

Viertens: In uns allen steckt doch die Frage nach dem Sinn, und besonders die Frage nach dem Sinn unserer Arbeit. Ebenso trägt jeder Mensch in sich einige Teiltantworten auf diese Frage, einige recht naheliegende und einige eher noch unbestimmte Antworten, die es zu klären gilt. Und bei alldem bleibt unbestritten: Sinn ist niemals eine Variante von Unsinn!

Dienst am Mitmenschen und auf den Dienst an der Mitwelt ausrichten.

Es wäre nun noch Vieles und vor allem Genaueres zu sagen darüber, was dieser Dienst beinhaltet und auf was es dabei ankommt. Doch würden solche Erörterungen den Rahmen dieser Darstellung sprengen. Zudem wiederhole ich, dass es ja die Aufgabe jedes verantwortungsbewussten Architekten ist, sich selber andauernd mit der Sinnfrage unseres Berufes auseinanderzusetzen, ein Leben lang.

Zum Schluss füge ich einen Text von *Helder Camara* an: «Universität, lass dich nicht einpferchen in Curricula und Programme, die direkt oder indirekt beherrscht werden von unersättlichen Minderheiten, denen der Mut fehlt, sich den wahrhaft grossen Problemen der Menschheit unserer Tage zu stellen. Wenn die Jungen dich nicht furchtlos finden, offen für die Wahrhaftigkeit, für die Hoffnung, für die Liebe, werden die Jungen dich eintauschen gegen die Universität des Lebens!»

Schlussbetrachtung

Ich habe versucht, vom Sinn und vom Wesentlichen der Architektur zu sprechen und meine Sicht darzulegen. In dieser Sicht lässt sich die Zielsetzung der Architektentätigkeit wie folgt umschreiben: Wir sollen gute Pächter dieser Erde sein und unsere Arbeit auf den

Adresse des Verfassers: Prof. *W. Jaray*, dipl. Arch. BSA, Eierbrechtstr. 16, 8053 Zürich.

Abschiedsvorlesung von *Werner Jaray*, gehalten am 13. Juni 1985 an der ETH Zürich.

Kunststoffsanierte Holzbauteile unter schwingender Beanspruchung

Ulrich A. Meierhofer, Dübendorf

Holzbalken mit Reparaturstellen aus Epoxidharzmörtel und Armierungen aus glasfaserverstärkten Polyesterstäben wurden einer langfristigen schwingenden Biegebeanspruchung unterworfen. Die Resultate dieser Versuche lassen solche Sanierungen nicht in jedem Fall als unbedenklich und eine Optimierung der Verfahren als angezeigt erscheinen.

werbszweige und eigenständiger Technologien führte.

Auch Holzbauteile in älteren Bauten können sanierungsbedürftig werden. Bei undichten Dächern und Fassaden, bei feuchtem Mauerwerk kann Holz intensiv und langfristig durchnässt und

durch holzzerstörende Pilze befallen werden. Je nach baulicher Situation, Überwachung und Unterhalt können Bauteile auch durch Insekten, vor allem Hausböcke und Nagekäfer, angegriffen werden [1]. Abgesehen von diesen biogenen Beeinträchtigungen ist Holz dauerhaft und ändert sich auch im Laufe der Jahrhunderte nur sehr wenig.

Im Vergleich mit Bauteilen aus anderen Materialien weisen Konstruktionen aus Holz und Holzwerkstoffen beim Sanieren erhebliche Vorteile auf. Sie haben ein geringes Gewicht, sind leicht zu bearbeiten, d. h. zu modifizieren, und im allgemeinen leicht auszubauen und zu ersetzen. Trotzdem besteht gelegentlich der Wunsch, einen beeinträchtigten (z. B. teilweise vermorschten) Holzbauteil zu reparieren. Hierfür können ar-

chäologisch-kunsthistorische oder aber auch technische Gründe massgebend sein.

In der letzten Zeit sind für solche Holzsanierungen vermehrt Kunstharze, vor allem Epoxidharze verwendet worden. Diese Harze dienen vor allem zum Verkleben und - infolge der Volumenbeständigkeit der Epoxidharze - zum Füllen von Hohlräumen. Dabei ist zwischen zwei Schadentypen und entsprechenden Reparaturmethoden zu unterscheiden: Im ersten Fall geht es um die Sanierung von mechanischen Schäden, Rissen, Fugen, Delaminationen, die oftmals auch durch Schwinden und Quellen entstanden sind. Hierfür werden im allgemeinen verhältnismässig niedrig-viskose Harze mit geringem Druck in die zu sanierenden Stellen eingepresst [2, 3].

Im zweiten Fall werden grössere, insbesondere vermorschte Stellen durch folgende Arbeitsgänge saniert: Entfernen des verfaulten Holzes (evtl. Belassen der äusseren Zonen, die als Schalung dienen können), Einbau von Armierungsstangen aus glasfaserverstärktem, ungesättigtem Polyester, evtl. Einrichten einer Giessform, Füllen des Hohlräums mit Epoxidharzmörtel.

Bei dieser Methode werden im allgemeinen grössere Volumina von sehr unterschiedlichen Materialien (d. h. Holz und Kunststoffmörtel) derart miteinander verbunden, dass ein als Einheit wirkender Bauteil entstehen soll. Dies ist jedoch nur sehr bedingt der Fall: So ändert beispielsweise das Holz, nicht aber der Epoxidharzmörtel und der glasfaserverstärkte Polyester bei den auch im Innern von Gebäuden üblichen Feuchtewechseln die Dimension (Schwinden und Quellen). Demgegenüber weisen der Epoxidharzmörtel und der Polyester grössere thermische Dimensionsänderungen als Holz auf, das sich infolge der mit den Temperaturwechseln verbundenen Feuchteänderungen tendenziell eher gegenläufig bewegt. Diese unterschiedlichen Dimensionsänderungen der verschiedenen Materialien können zu erheblichen Spannungen in der Kontaktzone und u. U. zur Zerstörung der Haftung zwischen den Materialien führen.

Eine entsprechende Wirkung kann sich auch aus oft wiederholter mechanischer Beanspruchung ergeben. Da hierdurch vor allem auch hochbeanspruchte Teile erheblich beeinträchtigt werden können, ist die Ermittlung des Tragverhaltens von Interesse. Der vorliegende Versuch gibt trotz des beschränkten Umfangs einige Aufschlüsse hierüber.

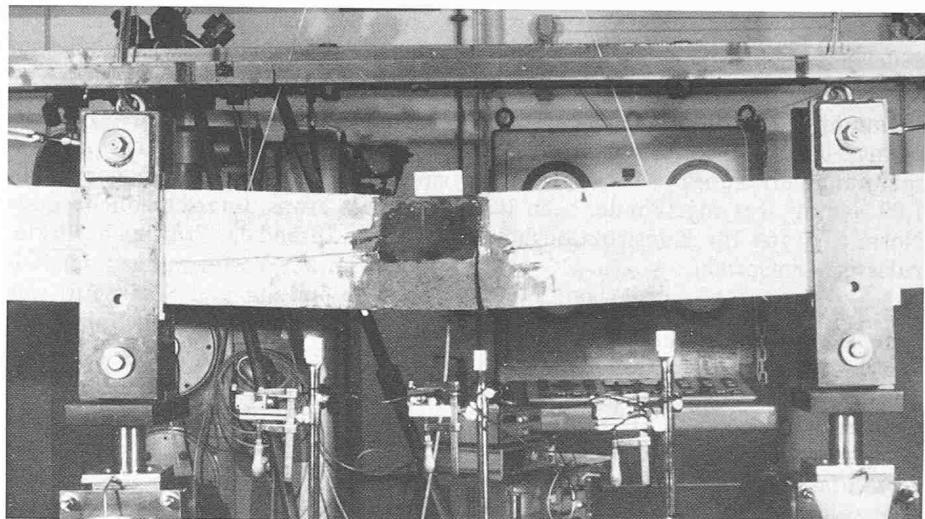


Bild 1. Versuchsbalken D mit Mittelstoss nach der Zerstörung der Reparaturstelle

Material

Zur Prüfung gelangten vier Balken (mit A, B, C und D bezeichnet) aus Fichtenholz von rund 3,2 m Länge, 12 cm Breite und 20 bis 22 cm Höhe. Die Balken waren älteren Datums, aber gesund und lufttrocken. Sämtliche Balken enthielten das Mark und wiesen daher Schwindrisse auf. Die Holzqualität des Balkens B entsprach der Festigkeitsklasse FK II, die übrigen der FK I nach der Norm SIA 164 (1981).

Die durchschnittlichen Darrdichten der Balken A bis D betragen 350 kg/m^3 , 450 kg/m^3 , 440 kg/m^3 und 430 kg/m^3 . Der Balken A wies demnach eine unterdurchschnittliche, die übrigen Balken etwas überdurchschnittliche Dichten auf.

Bei den Balken A und B wurde je ein Ende mit einem etwa 35 cm langen Balkenkopf aus Epoxidharzmörtel versehen, der mit 4 runden Stäben aus glasfaserverstärktem Polyester rund 25 cm tief im Balken verankert wurde. Diese Anordnung entspricht der Reparatur eines angefaulten Balkenkopfs, wie er in älteren Gebäuden gelegentlich anzutreffen ist, wenn die Balken (z. B. einer Balkendecke) ungeschützt in feuchtem Mauerwerk aufgelagert sind.

Die Balken C und D erhielten demgegenüber in der Mitte einen Stoss, wobei der Zwischenraum von rund 20 cm mit Epoxidharzmörtel gefüllt wurde und vier durchlaufende Polyesterstäbe beidseitig 32 cm tief ins Holz eingeführt wurden.

Die Verankerungsstäbe hatten einen Durchmesser von 20 mm und wiesen entweder eine glatte (Balken A und D) oder eine gekerbte Oberfläche auf (Balken B und C). Die Stäbe wurden in vorbohrte Löcher (Durchmesser 30 mm) im Holz eingeführt und wiesen Abstän-

de zur unteren und oberen Fläche der Balken von rund 5 cm und etwa 2,5 cm zu den Seitenflächen auf. Der Hohlräum zwischen Bohrloch und Polyesterstäben wurde bei den Balken A und B mit reinem Epoxidharz, bei den anderen beiden Balken mit Epoxidharzmörtel ausgegossen. Für die Bildung des eigentlichen Kunststoffkörpers war die Bereitstellung einer Schalung notwendig, die mit hochviskosem, aber giessfähigem Epoxidharzmörtel (Epoxidharz und Quarzsand) gefüllt wurde.

Die Herstellung der Proben wurde nicht im Labor, sondern unter Praxisbedingungen vorgenommen.

Biegeversuch

Sämtliche Balken wurden zunächst statisch auf Biegung vorbelastet, was beim Balken C bereits zur Zerstörung führte. Die anderen drei Balken wurden dann einer schwingenden Biegebeanspruchung unterzogen, wobei zwei hydraulisch aufgebrachte Lasten in den Vierelpunkten der Spannweite von 2800 mm eingeleitet wurden (vgl. Bild 1).

Bei den beiden «endverstärkten» Balken A und B befanden sich die Kontaktzonen zwischen Holz und Kunststoff in rund 25 cm Abstand vom Auflager.

Die sinusförmig pulsierende Last oszillierte zwischen einer nominellen Unterlast, entsprechend einer Biegespannung von rund $0,6 \text{ N/mm}^2$, und einer variablen, sich im Laufe des Versuchs steigernden Oberlast. Die niedrigste Oberlast entsprach einer Biegespannung von etwa 5 N/mm^2 , die höchste einer solchen von etwa 15 N/mm^2 (vgl. Tabelle 1). Die Lasten sind demnach als praxisüblich zu bezeichnen, d. h. sie

gingen nicht wesentlich über den normgemässen Lastbereich hinaus.

Die maximalen rechnerischen Schubspannungen (bei max. Biegebeanspruchung und parabelförmiger Schubspannungsverteilung) betrugen $1,09 \text{ N/mm}^2$, was ungefähr der nach der Norm SIA 164 für Konstruktionsholz zulässigen entspricht.

Die gewählte Belastungsfrequenz von 2 Hz ist ein Kompromiss zwischen den maschinentechnischen Möglichkeiten und der Notwendigkeit, auf höhere Frequenzen zu verzichten, da solche eine unerwünschte Erwärmung der Prüflinge verursachen. Mit der gewählten Frequenz wurden für 1 Mio. Lastwechsel 6 Tage benötigt.

Folgende Grössen wurden während des Versuchs gemessen bzw. registriert:

- Belastung (mittels Öldruck)
- Anzahl Lastzyklen
- Durchbiegung « f » im querkraftfreien Mittelteil der Balken über eine Basis von 1000 mm; Messung mit einem kapazitiven Wegaufnehmer auch während der dynamischen Beanspruchung.
- Messung der Einsenkung « δ » in Balkenmitte mit einer Messuhr (nur statisch). Diese Messung ist von geringerer Genauigkeit, da Verformungen

des Belastungsrahmens und Auflagereinsenkungen mitgemessen wurden.

Bedingt durch die praxisnahen Herstellungsbedingungen waren die Abmessungen der vier Balken nicht ganz identisch, was etwas unterschiedliche Lastniveaus während der Prüfung bewirkte. Infolge starker Verformungen der Balken (Verwindung und Schütteln) war ein massgeblicher Querschnitt nur schwer festzulegen. Die eher qualitativ als quantitativ zu wertenden Resultate dieses Versuchs werden durch die nur mässige Präzision der Probengeometrie nicht beeinträchtigt.

Nach Abschluss der Biegeversuche wurden die Proben B und D aufgeschnitten, um die Haftflächen zwischen den verschiedenen Materialien zu untersuchen (siehe Bilder 4 und 5).

Ergebnisse

Eine Übersicht über die Beanspruchungsbedingungen und die daraus resultierenden Verformungen gibt Tabelle 1.

Auffällig ist zunächst das ungünstige Verhalten der beiden Proben C und D

mit Mittelstoss. Bei der ersten wurde der Stoss bereits nach 26stündiger statischer Last entsprechend einer Biegespannung von rund 10 N/mm^2 zerstört, während die zweite bei nur halb so grosser Beanspruchung lediglich 44 200 Lastzyklen überdauerte. Die Ursache des Versagens liegt in beiden Fällen in der mangelnden Verankerung der Polyesterstäbe im Holz (siehe Bilder 2 und 3), dies trotz einer verhältnismässig geringen rechnerischen Schubspannung von weniger als $0,9 \text{ N/mm}^2$ bei gleichmässiger Schubspannungsverteilung längs der Stäbe. Durch das Herausziehen der Polyesterstäbe aus dem Holz öffneten sich auch die Fugen zwischen der Holzquerschnittsfläche und dem Kunststoffmörtel (vgl. Bilder 1 und 2), wobei offensichtlich auch hier die Hafung sehr gering war.

Auch bei den Proben A und B, wo die Reparaturstellen nur einer geringen Momenten-, aber einer erheblichen Schubbeanspruchung ausgesetzt waren, konnte bei schon relativ wenigen Lastwechseln ein Öffnen der Fuge zwischen Holzquerschnittsfläche und Epoxidharzmörtel beobachtet werden. Diese Fugen öffneten sich langsam und stetig, bis allmäthlich weitere Zerstörungen sichtbar wurden: Rotation des Kunststoff-Endabschnitts, Öffnen von längslaufenden Schwindrissen, teilweise Vertikalverschiebung des Holzes gegen den Endabschnitt (siehe Bild 3). Die erreichten Lastzyklen sind jedoch insbesondere bei der Probe B beachtlich (25 Mio. Lastwechsel).

Geringer als erwartet ist die Zunahme (10% bis 20%) der Durchbiegungen Δf im Verlauf von mehreren Millionen Lastwechseln (siehe Tabelle 1).

Weitere Beobachtungen

Beim Aufschneiden der Proben A und D zeigte es sich, dass eine satte Füllung des Raums zwischen Polyesterstab und der Holzoberfläche des Verankerungslochs nicht erreicht wurde. Während bei der Probe D eine geringere Anzahl von Hohlstellen zu beobachten war (Bild 4), weist die entsprechende Epoxidharzfüllung bei der Probe A eine blasige Struktur in grösseren Bereichen auf (Bild 5). Die Ursachen hiefür sind nicht bekannt; sie könnten jedoch in einer ungenügenden Entlüftung während der Füllung der Löcher liegen. Durch die dynamische Beanspruchung wurde die Festigkeit des «Epoxidharzschaums» beim Balken A teilweise überschritten, was den Bruchverlauf zweifellos erheblich beeinflusste.

Im weiteren konnte festgestellt werden,

Tabelle 1. Biegeversuche mit schwingender Belastung, Verformungen, Verformungsmodul

Balken	Laststufe [N/mm ²]	Anzahl Lastzyklen	δ^1 [mm]	$\Delta\delta$ [mm]	$E(\Delta\delta)^3$ [kN/mm ²]	f^2 [mm]	Δf [mm, %]	$E(\Delta f)^3$ [kN/mm ²]	Bemerkungen
A	0	0	0	4,91	4,91	9,36	0 0,554 0,599	0,554 + 8,1%	Bruch
	5,5	1 033 300	0	2,33	7,14	8,95	0,025 0,792 0,915	0,767 + 15,5%	
	7,5	1 702 200	0	9,47	10,18	8,95	0,132 1,207 1,410	1,075 + 16,8%	
	10,9	4 972 200	0	3,92 14,10	13,48	8,82	0,280 1,698 1,708	1,418 + 0,5%	
	0	0	6,58	20,06					
	14,2	163 800	0						
	14,2	350 000							
	14,2								
B	0	0	0	8,01	8,01	11,27	0 0,918 1,042	0,918 + 13,5%	Bruch
	9,8	3 179 800	0	1,94 11,83	9,89	11,83	0,107 1,258 1,496	1,151 + 18,9%	
	9,8								
	0	9 584 000	0						
	12,7								
	12,7								
C	0	0	0	5,14	12,55	11,48	0,216 1,738 1,896	1,522 + 9,1%	Bruch nach 26 h
	15,6	9 801 700	0	17,69					
	15,6	12 220 700							
	15,6								
D	0	0	0	25,40	25,40	3,47	0 4,134	4,134	2,97
D	5,5	0	0	5,34	5,34	8,61	0 0,766	0,766	8,35
D	5,5	44 200							Bruch

¹ Gesamtdurchbiegung der Probekörper

² Durchbiegung im querkraftfreien mittleren Teil der Balken, über eine Distanz von 1000 mm gemessen

³ Aus den entsprechenden Verformungsunterschieden ermittelt

dass sowohl bei der Probe A als auch bei der Probe D mit gekerbten Stäben die Haftung zwischen Stäben und Füllharz zerstört wurde, während die Kontaktzone zwischen Holz und Harz bzw. dem Kunstarzmörtel nicht beeinträchtigt war. Das Herausziehen der Polyesterstäbe aus dem Holz ist demnach eindeutig auf eine ungenügende Haftung zwischen Epoxidharz(-Mörtel) und den Polyesterstäben zurückzuführen. Die Ursache hiefür ist nicht offensichtlich, doch scheint dieses Phänomen nicht mit der ungenügenden Füllung der Verankerungslöcher im Zusammenhang zu stehen.

Folgerungen

Die im Versuch aufgebrachte schwiegende Belastung der Balken dürfte größer sein als die in der Praxis normalerweise auftretenden Beanspruchungen. Dennoch haben die Untersuchungen gezeigt, dass trotz Verwendung von hochwertigen Materialien die mit Polyesterstäben verstärkte Verbindung zwischen Holz und Epoxidharzmörtel als Reparatur nicht in jedem Fall statisch unbedenklich ist. So kann aus noch ungeklärten Gründen die Haftung zwischen der Oberfläche von glasfaserverstärkten Stäben aus ungesättigtem Polyester und dem Verguss-(Epoxid-)Harz kritisch tiefe Werte annehmen. Damit ist die notwendige Kraftübertragung nicht mehr gewährleistet.

Eine geringe Haftung wurde auch bei der Fuge zwischen Holzquerschnittsfläche und dem Epoxidharzmörtel beobachtet. Zugkräfte können demnach offensichtlich nicht übertragen werden. Infolge der hohen Verformbarkeit des Holzes (im Gegensatz zum armierten Beton) kann die Fuge zwischen Holz und Mörtel bereits bei geringer Belastung so breit werden, dass auch die Schubübertragung nicht mehr gewährleistet ist. Die Querkraft wird dann zu einem erheblichen Teil via Polyesterstäben als Querdruck ins Holz eingeleitet, eine Beanspruchung, die ebenfalls zu Schwierigkeiten führt.

Beim Einsatz der beschriebenen Reparaturmethode ist deshalb vor allem Vorsicht am Platze, wenn die zu sanie-

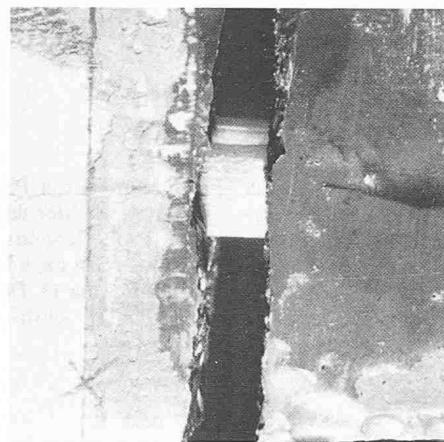


Bild 2. «Bruchstelle» des Versuchsbalkens D: Der Epoxidharzmörtel (rechts) hat sich von der Holzquerschnittsfläche gelöst, und die glasfaserverstärkten Polyesterstäbe wurden teilweise aus dem Holz herausgezogen.

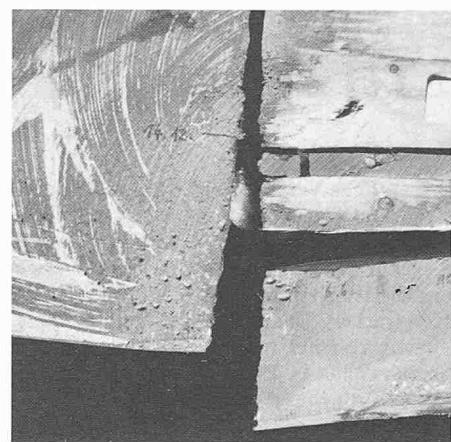


Bild 3. Versuchsbalken B mit Balkenkopf aus Epoxidharzmörtel (links) nach der Zerstörung des Anschlusses: Der Balkenkopf hat sich gegen den Balken verdreht und verschoben. Längs den Schwindrissen wurde das Holz aufgerissen, und die Armierungsstäbe sind stark verformt bzw. zerstört.

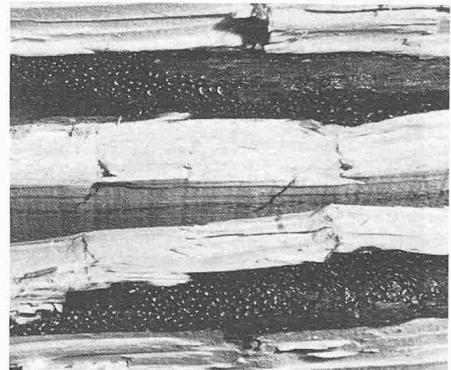
Bild 4. Detail von Bild 4 nach dem Auf trennen der Verbindung. Die Verformung und Kerbung des Armierungsstabs ist ebenso deutlich zu erkennen wie die Separierung vom Füllharz.



renden Stellen mechanisch hohen Beanspruchungen ausgesetzt sind.

Für eine Optimierung des Verfahrens ist offensichtlich der Haftung zwischen den glasfaserverstärkten Polyesterstäben und dem Epoxidharz(-Mörtel) ein besonderes Augenmerk zu widmen, wobei durch geeignete Verarbeitungsmaßnahmen eine vollständige Füllung des Raumes zwischen Stab und Oberfläche des Verankerungslöchls sicherzustellen ist. Im weiteren dürfte sich durch eine geeignete Profilierung der Stirnholzfläche die Querkraftübertragung wesentlich verbessern lassen.

Bild 5. Versuchsbalken D. Nach dem Auf trennen der Anschlüsse lässt sich die infolge ungenügender Verarbeitung blasige Struktur der Harzfüllung zwischen Polyesterstab und der Oberfläche des Verankerungslöchls im Holz erkennen (aufgetrennte Teile nebeneinandergelegt).



Literaturverzeichnis

- [1] EMAP/Lignum, 1983, Richtlinie «Holzschutz im Bauwesen», Eigenverlag.
- [2] Gliese, L.: 1980. Sanierung von Brettschichtträgern mit Epoxidharz. Bauen mit Holz 1980 (7), S. 401 ... 406.
- [3] Avent, R. R. et al.: 1979. Structural Repair of Heavy Timber with Epoxy. For. Prod. J. 29 (3), S. 15 ... 18.

Adresse des Verfassers: U. A. Meierhofer, dipl. Bauing. ETH, Abteilung Holz, EMAP, 8600 Dübendorf.