

# Fussgängerbrücke Pontresina in GFK: Schweizer Premiere und Weltneuheit

Autor(en): **Keller, Thomas / Künzle, Otto / Wyss, Urs**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **116 (1998)**

Heft 12

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79468>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Thomas Keller, Otto Künzle und Urs Wyss, Zürich

# Fussgängerbrücke Pontresina in GFK

## Schweizer Premiere und Weltneuheit

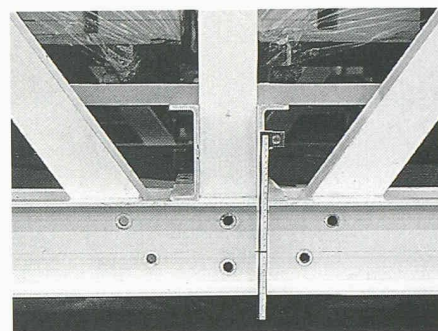
**Beschrieben wird die erste Brücke der Schweiz aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK), die jeweils in den Wintermonaten als Fussgänger-Verbindung in Pontresina über den Flaz zum Einsatz kommt (Bild 1). Eine Weltneuheit besteht darin, dass die Verbindungen des einen Brückenfelds erstmals vollständig geklebt wurden.**

Faserverbundwerkstoffe werden heute vor allem im Maschinen-, Fahrzeug- und Flugzeugbau eingesetzt. Bekannt sind auch Anwendungen für Sportgeräte. Im Baubereich wurden sie bisher nur vereinzelt verwendet. In der Schweiz sind vor allem die handlamierten Kunststoffdächer von Heinz Isler und Heinz Hossdorf in den 60er Jahren sowie die an der Empa von Urs Meier entwickelten Ver-

stärkungslamellen und Schrägkabel aus kohlefaserverstärktem Kunststoff (CFK) bekannt.

Die Vorzüge dieser anisotropen, aus Kunststoffmatrix und Verstärkungsfasern zusammengesetzten Baumaterialien liegen in der grossen Festigkeit der Fasern, dem geringen Gewicht sowie der Korrosionsbeständigkeit beispielsweise gegen Tausalze. Nachteilig wirken sich vor allem die nicht immer genügende UV-Beständigkeit sowie bei Glasfasern der geringe E-Modul aus.

Gründe, warum diese an sich zukunftsweisenden Materialien im Bauwesen nicht häufiger eingesetzt werden, sind in drei Bereichen zu finden. Einerseits sind die Materialkosten infolge der geringen Nachfrage noch relativ hoch, andererseits bestehen aus demselben Grund noch keine verbindlichen Anwendungsnormen. Der dritte Grund liegt in der heute



2  
Geklebter Knoten unter Vollast (ohne Sicherungsschrauben)

noch gebräuchlichen Anwendungstechnik. Als standardisierte Bauteile stehen nur Stabprofile zu Verfügung, die sich im Querschnitt und in der Verbindungstechnik von gewalzten Stahlprofilen nicht unterscheiden (Bild 2). Wie auch die folgenden Ausführungen zeigen, können dadurch die vorzüglichen Materialeigenschaften nur ungenügend genutzt werden, und die vorhandene Anisotropie des Materials wirkt sich ungünstig aus.

Dank den innovativen Gemeindebehörden von Pontresina und guten Kontakten zu einem Profilversteller von GFK-Profilen in Dänemark bot sich die Möglichkeit, an der ETH Zürich die erste Fussgängerbrücke der Schweiz aus glasfaserverstärktem Polyester zu bauen. Ziel war es unter anderem, dieses Baumaterial kennenzulernen sowie dessen Potential für die breitere Anwendung im Baubereich zu ergründen. Als Innovation und Weltneuheit wurden dabei bei einem Brückenfeld erstmals nur vollständig geklebte Stabverbindungen ausgeführt.

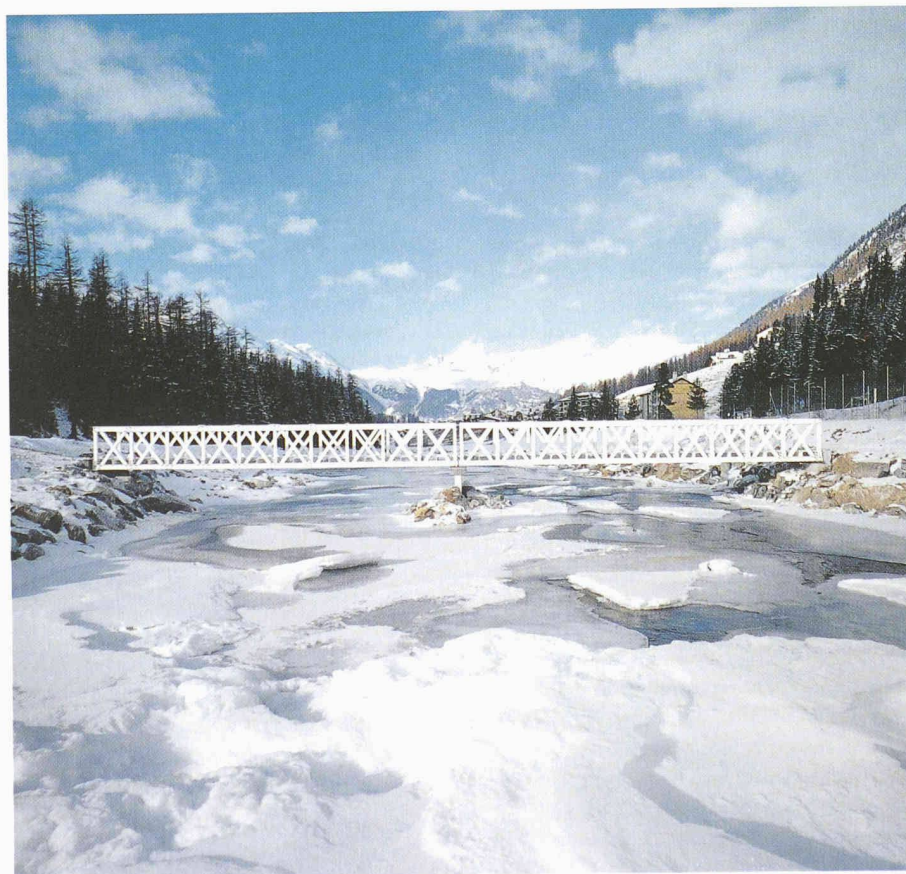
Die neue Brücke in Pontresina wird jeweils in den Wintermonaten als Fussgänger-Verbindung über den Flaz eingesetzt. Im Hochwasserbereich des Flaz liegend, muss die Brücke jeden Frühling wieder entfernt werden.

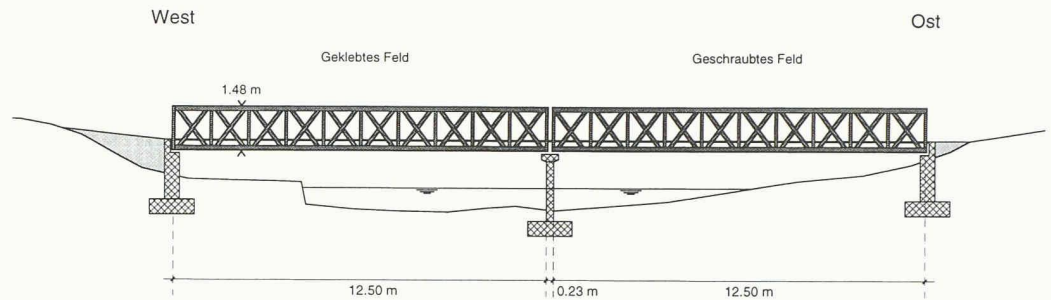
### Konstruktions-Profile

Die beiden Brückenfelder sind aus Standardprofilen der dänischen Herstellerfirma aufgebaut. In der Schweiz werden keine vergleichbaren, im Baubereich einsetzbaren Profile hergestellt.

Die Matrix der Profile besteht aus Isophthalsäure-Polyester, einem Kunststoff, der gute mechanische Eigenschaften sowie erhöhte Hitze- und Korrosionsbeständigkeit aufweist. Zur Erzielung einer optimalen Wetterbeständigkeit wurde zudem ein Oberflächenvlies eingelegt. Weitere Zusatzstoffe erhöhen die UV-Beständigkeit.

1  
Fussgängerbrücke Pontresina in GFK





3  
Ansicht/Längsschnitt der Brücke

Fasern aus E-Glas verstärken die Matrix. Die Fasern setzen sich aus Rovings (Faserbündel in Profillrichtung) und komplexen Gewebematten zusammen. Letztere tragen zur Erhöhung der Schubfestigkeit und der Festigkeit in Querrichtung sowie zur besseren Beständigkeit gegen Kriechen bei Langzeit-Beanspruchung bei. Der Mindestfasergehalt der Profile beträgt, bezogen auf das Profildgewicht, 50%. Die Zug- und Druckfestigkeit der Profile liegt bei  $240 \text{ N/mm}^2$ , die Schubfestigkeit bei  $25 \text{ N/mm}^2$ . Der E-Modul beträgt  $23\,000 \text{ N/mm}^2$  und die Raumlast  $18 \text{ kN/m}^3$  oder rund  $\frac{1}{4}$  derjenigen des Stahls.

Die Farbe der Profile ist grundsätzlich frei wählbar. Angesichts der temporären Verwendung der Brücke nur im Winter und im hochgelegenen schneereichen Pontresina wurden die Profile in ihrer Grundfarbe - Weiss - belassen.

Die Profile werden im sogenannten Pultrusions- oder Strangziehverfahren hergestellt. Die Fasern werden dabei durch ein formgebendes Werkzeug gezogen, unter gleichzeitiger Zugabe der unter Druck stehenden flüssigen Matrix, die dann durch Wärme und Zusatz von Katalysatoren aushärtet.

**Beschreibung der Brücke**

**Konzept, statisches System und Einwirkungen**

Die niedrige Höhe über Terrain, die geforderte Brückenlänge von rund 25 m sowie die für die Konstruktion vorgegebenen Stabprofile schränkten den Spielraum bei der Konzeption der Brücke stark ein. Es lag deshalb nahe, die Brücke als zweifeldriges Tragwerk mit seitlich angeordneten, obenliegenden Fachwerkträgern auszubilden, die zugleich den Handlauf bilden. Die beiden Brückenfelder weisen eine Spannweite von je 12,5 m auf (Bild 3), die Breite beträgt aussen 1,93 m, innen 1,50 m (Bild 4). Mit einer Höhe von 1,48 m sind sie aufgrund der geforderten einfachen Demontier- und Transportierbarkeit als einfache Balken ausgebildet. Im weiteren sind die Felder in Längsrichtung bei den Widerlagern und in Querrichtung bei

Widerlagern und Mittelpfeiler gehalten sowie aufgrund des geringen Konstruktionsgewichts gegen Abheben gesichert. Die Lager sind dabei in einfachster Weise aus verzinkten Stahlblechen aufgebaut.

Die Eigenlast eines Brückenfeldes beträgt  $16,5 \text{ kN}$  (Profile  $12 \text{ kN}$ , Roste  $3 \text{ kN}$ , Schrauben und Lagerplatten  $1,5 \text{ kN}$ ). Die weiteren Einwirkungen wurden gemäss Norm SIA 160 für Fussgängerbrücken bestimmt. Einzig die Schneelast wurde im Einvernehmen mit der Gemeinde Pontresina und unter der Vereinbarung, dass die Brücke jeweils raschmöglichst geräumt wird, abgemindert. Die Norm-Schneelast von rund  $9 \text{ kN/m}^2$  auf  $1790 \text{ m.ü. M.}$ , die einer Schneehöhe von rund  $4 \text{ m}$  entspricht, wurde dabei auf eine  $30 \text{ cm}$  dicke, kompakte Nass-Schneedecke von  $1,2 \text{ kN/m}^2$  reduziert.

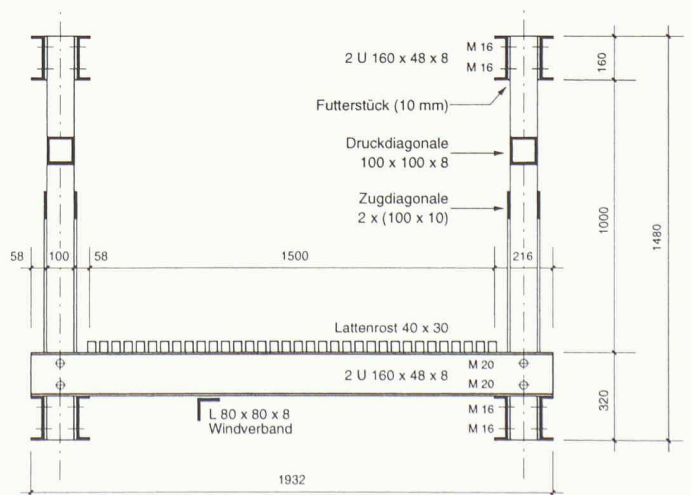
**Aufbau der Fachwerkträger**

Massgebend für die Profilwahl sämtlicher Profile waren die Stabverbindungen in den Knoten des geschraubten Feldes. Die unvermeidbaren Krafteinleitungen von konzentrierten Schraubenkräften quer zu den Fasern der Profile sind sehr ungünstig, erfordern grosse Randabstände und bestimmen so die Profilgrößen. Um die Knotenkräfte zu reduzieren, wurden deshalb in den Fachwerkträgern gekreuzte Ausfachungsstäbe eingesetzt. Dennoch ist der Ausnutzungsgrad der Profile zwi-

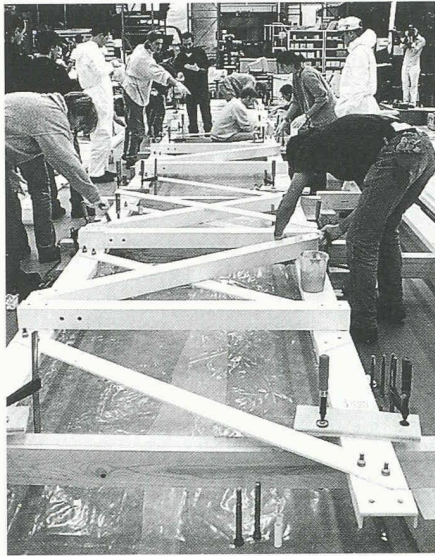
schen den Knoten mit nur rund 30% unbefriedigend. Klar zeigten sich hier die Folgen der nicht materialgerechten Verbindungstechnik. Zusätzlich nachteilig wirkte sich aus, dass die Anzahl der zur Verfügung stehenden Profile eingeschränkt ist und so vor allem bei den relativ schweren Druckdiagonalen und Pfosten gewichtsbezogen nicht die optimalen Querschnitte eingesetzt werden konnten.

Die Krafteinleitung bei Klebeverbindungen erfolgt grossflächig in günstigerer Weise und nicht derart konzentriert wie bei Schrauben. Zudem besteht eine enge Materialverwandtschaft zwischen Kleber und Kunststoffmatrix. Die Profilgrößen des geklebten Feldes hätten aufgrund dieser materialgerechteren Klebeverbindungen markant reduziert werden können - aus Vergleichsgründen wurden jedoch dieselben Profile verwendet wie beim geschraubten Feld.

Der weltweit erstmalige Einsatz einer vollständig geklebten Brücke aus GFK erforderte entsprechende Sicherheitsmassnahmen: Die Klebeverbindungen wurden für den Einsatz in Pontresina nachträglich zusätzlich verschraubt. Sie werden dadurch jedoch nicht entlastet, da die Schraubverbindungen viel nachgiebiger sind. Letztere würden erst beim Ausfall einzelner Klebeverbindungen aktiviert. Die innere statische Unbestimmtheit des Fachwerks mit den gekreuzten Diagona-



4  
Querschnitt der Brücke



5  
Bau durch Studenten an der ETHZ

len erlaubt, vor dem Einsturz der Fachwerkträger, zusätzlich den Ausfall mehrerer Verbindungen.

Sämtliche Gurte der Fachwerke bestehen aus je zwei U-Profilen 160x48x8 mm (Bild 4). Die oberliegenden Druckgurte sind durch Rahmenwirkung der Pfosten, im Zusammenspiel mit den Querträgern, gegen seitliches Ausknicken gehalten. Ausgehend vom Lochspiel wurde dabei die rechnerische Anfangsimperfektion des Druckgurts bestimmt. Die Rahmenmomente des geschraubten Feldes werden über zwei Schrauben M20 übertragen. Da diesen Rahmenknoten zentrale Bedeutung zukommt, wurden je eine geschraubte und eine geklebte Ausführung vorgängig im Labor getestet.

Die Ausfachung, bestehend aus Druck-, Zugdiagonalen und Pfosten, ist zwischen den U-Profilen der Gurte angeordnet. Druckdiagonalen und Pfosten bestehen aus quadratischen Hohlprofilen

100x100x8 mm. Die Zugdiagonalen verlaufen - doppelt als Flachprofile 100x10 mm geführt - beidseits der Druckdiagonalen. Der dadurch zwischen Gurten sowie Druckdiagonalen und Pfosten entstehende Spalt wird durch 10 mm dicke Futterplatten ausgefüllt.

**Querträger, Windverband, Roste**

Die Querträger - mit zwei U-Profilen 160x48x8 mm die Pfosten umfassend - sind über den Längsträgern angeordnet. Der Windverband verläuft als einfacher Strebenzug aus Winkelprofilen L 80x80x8 mm unter den Querträgern. Die Krafteinleitung in die Querträger erforderte dabei die Anordnung spezieller Knotenbleche. Die Roste, ebenfalls aus GFK bestehend, sind aus längslaufenden Hohlprofilen 40/3x30/4,5 mm, jeweils mit 15 mm Zwischenraum, aufgebaut. Sie wurden hellgrau eingefärbt.

**Schrauben, Kleber**

Beim geschraubten Feld wurden Chromstahlschrauben von M10 bis M20 mit Unterlagsscheiben beidseits der Profile verwendet.

Als Klebstoff beim geklebten Feld wurde ein Zweikomponenten-Epoxidklebstoff mit einer Zugscherfestigkeit in Anlehnung an DIN 53 283 von rund 19 N/mm<sup>2</sup> sowie einer Schälfestigkeit nach DIN 53 282 von rund 2,1 N/mm eingesetzt. Die Topfzeit dieses Klebers beträgt 2-3 Stunden, die Endfestigkeit wird nach rund 48 Stunden erreicht - beides bei Raumtemperatur. Die Klebstellen mussten vorgängig durch Anschleifen von der obersten Matrixschicht befreit und danach sorgfältig gereinigt werden.

**Widerlager, Mittelpfeiler und Foundationen**

Widerlager, Mittelpfeiler und Foundationen sind in einfachster Weise aus Stahl-

beton ausgebildet und mittels Blockstein-schüttungen gegen Hochwasser gesichert.

**Bau, Belastungsprobe und Montage**

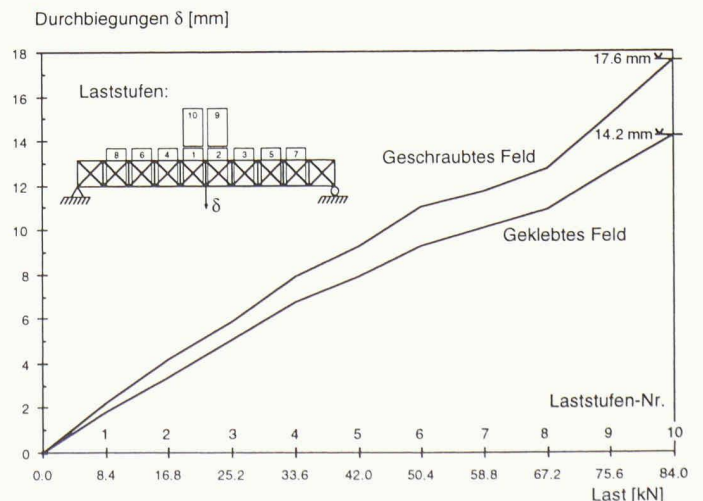
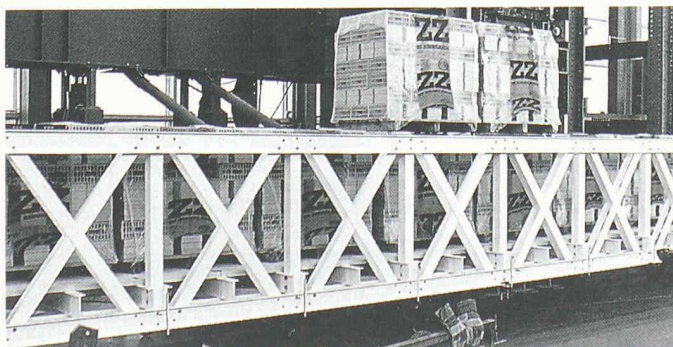
Die beiden Brückenfelder wurden anlässlich einer Seminarwoche im November 1997 von insgesamt 25 Studentinnen und Studenten der Architekturabteilung der ETH Zürich zusammengebaut (Bild 5). Die Arbeiten umfassten Einmessen, Schneiden, Schleifen, Bohren, Zusammenschrauben sowie Kleben der Profile.

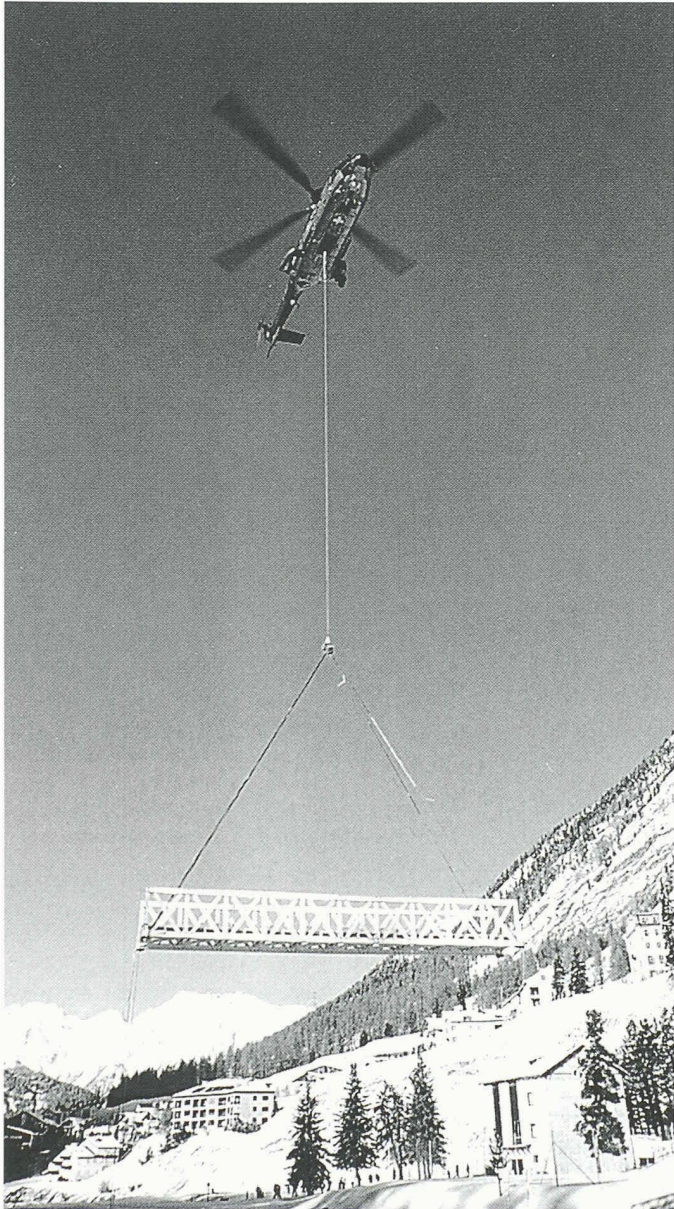
Am letzten Tag wurden die beiden Brückenfelder einem Belastungstest unterzogen. Mittels Backsteinpaletten wurde eine Last von rund 500 kg/m<sup>2</sup> aufgebracht (Bild 6). In Übereinstimmung mit der Berechnung erwies sich das geschraubte Feld mit einer maximalen Durchbiegung in Feldmitte von 17,6 mm (1/710) etwas weicher als das geklebte Feld mit 14,2 mm Durchbiegung (1/880, Bild 7). Die hohe Steifigkeit der Brücke in Längsrichtung äussert sich auch im Schwingungsverhalten. Die erste Eigenform ist mit einer rechnerisch hohen Eigenfrequenz von 6,3 Hz eine Torsions- und keine Biegeschwingung. In der zweiten Eigenform schwingen die Druckgurte bei 12,5 Hz seitlich aus.

Die beiden Brückenfelder wurden anschliessend mit einem Lastwagen nach Samedan transportiert. Angesichts des bereits liegenden Schnees wurden sie von dort am 15. Dezember 1997 mit einem Superpuma eingeflogen und problemlos auf die in den Beton eingegossenen Lagerplatten aufgesetzt (Bild 8). Zur allgemeinen Überraschung wies dabei der Gewichtsanzeiger im Helikopter statt der 16,5 kN pro Feld jeweils 23 kN auf - eine Folge des durch den Rotor verursachten Winddrucks auf den Brückenrost. In Zukunft erfolgen Montage und Demontage jeweils mit einem Pneukran.

7  
Last-Durchbiegungsverhalten der beiden Brückenfelder (rechts)

6  
Belastungsprobe geklebtes Feld ohne Sicherungsschrauben (unten)





8  
Helikoptermontage in  
Pontresina

### Kosten

Die Kosten für die insgesamt 2400 kg schweren, abgelängten Profile betragen rund Fr. 30 000.-, die 600 kg schweren Roste kosteten Fr. 13 300.-. Ein wesentlicher Anteil davon sowie der Transport von Dänemark nach Zürich wurde von den Herstellerfirmen finanziert. Lagerkonstruktionen, Widerlager, Mittelpfeiler und Foundationen wurden verdankenswerterweise von der Gemeinde Pontresina zur Verfügung gestellt.

Einzubeziehen in die Kostenbetrachtung sind dabei nebst den relativ hohen Materialkosten der geringe Unterhaltsbe-

darf der Brücke sowie, angesichts des geringen Gewichts, der reduzierte Aufwand bei der jährlichen Montage und Demontage. Im weiteren liessen sich Materialaufwand und -kosten durch die konsequente Auslegung der Profile auf Klebeverbindungen sowie durch eine Erweiterung der Profilpalette markant reduzieren.

### Schlussfolgerungen

Der Bau der Brücke Pontresina ermöglichte wertvolle Erfahrungen im Umgang mit Faserverbundwerkstoffen. Insbesondere beeindruckte die einfache Verarbeit-

### Am Bau Beteiligte

Projekt und Bau:  
ETH Zürich, Institut für Hochbautechnik  
Foundationen, Mittelpfeiler und Lager:  
Gemeinde Pontresina  
Herstellung und Lieferung Profile:  
Fiberline Composites A/S, Dänemark, und  
Maagtechnic Dübendorf (Vertretung Fiberline  
in der Schweiz)

barkeit der leichten Profile - vergleichbar mit Holz. Andererseits wurde bei Transport und Montage offensichtlich, dass das Material wesentlich schlagempfindlicher ist als beispielsweise Stahl.

Klar kam auch zum Ausdruck, wie wichtig die Entwicklung materialgerechter Konstruktionsweisen und Verbindungstechniken ist. Diese bilden eine wesentliche Voraussetzung für die Nutzung der vorzüglichen Materialeigenschaften und für den verbreiteten Durchbruch dieser an sich zukunftsweisenden Materialien im Baubereich.

### Ausblick

Im Frühling 1998 - vor dem zweiten Einsatz im Winter 1999 - werden beide Brückenfelder an die ETH Zürich zurücktransportiert und schwerpunktmässig das geklebte Feld nach Entfernen der Sicherungsschrauben weiter getestet. Schwingungs-, Ermüdungs- und Kriechverhalten stehen dabei im Vordergrund. Im weiteren sollen über die Jahre das Langzeitverhalten insbesondere der Klebeverbindungen sowie die UV-Beständigkeit untersucht werden.

Parallel dazu werden im Rahmen eines Forschungsprojekts materialgerechte Profilverbindungen - auch im Zusammenhang mit neuen materialgerechteren Profilverbindungen - weiter untersucht und entwickelt. Die Ergebnisse sollen jeweils in weiter optimierten Brückenfeldern für die Brücke Pontresina zur Anwendung kommen.

### Adresse der Verfasser:

Thomas Keller, dipl. Bauing. ETH, Prof. Dr. sc. techn., Otto Künzle, dipl. Bauing. ETH, Prof. Dr. sc. techn., Urs Wjss, dipl. Bauing. ETH, Institut für Hochbautechnik, ETH Höggerberg, 8093 Zürich