

Erste Schweizer Holz-UHFB-Verbundbaubrücke Neubau der Gletschersandbrücke

■ ■ ■ von Marc-André Berchtold, Armin Hemmi, Guido Lauber



1 2 Projektstandort in Grindelwald
© Emch+Berger AG Bern



Die durch Hochwasser zerstörten Vorgängerbauwerke im Gletschersand von Grindelwald wurden durch die schweizweit erste Holz-UHFB-Verbundbaubrücke ersetzt. Die Konstruktion ist 40 m lang und führt als Teil eines Hauptwanderweges in eleganter Bogenform über die Schwarze Lütschine. Im «Baukasten-Prinzip» und durch Anwendung von Ultra-Hochleistungs-Faserbeton (UHFB) realisiert, wurde das Projekt im Sommer 2018 erfolgreich abgeschlossen. Die Verwendung von Ultra-Hochleistungs-Faserbeton im Verbund mit Brettschichtholzträgern brachte zahlreiche Vorteile mit sich: Der innovative UHFB überzeugt nicht nur durch seine mechanischen Eigenschaften, sondern ist zudem wasserundurchlässig und übernimmt daher neben der Funktion als Tragwerk auch jene der Brückenabdichtung.

1 Ausgangslage, Auftrag

Die Einwohnergemeinde Grindelwald in der Schweiz plante, das seit 2011 bestehende, durch Hochwasser gefährdete Provisorium über die Schwarze Lütschine im Gletschersand durch eine neue Brücke zu ersetzen. Das Provisorium war weder durch wasserbauliche Massnahmen geschützt noch auf einem stabilen Widerlager gegründet. Die sichere Überquerung des Wildbachs konnte nicht mehr gewährleistet werden.

Die Gemeinde wünschte sich als beliebte Tourismusdestination ein attraktives und innovatives Ersatzbauwerk aus heimischen Materialien, welches zum überwiegenden Teil von lokalen Unternehmungen erstellt werden konnte.

Die Emch+Berger AG Bern nahm diese Herausforderung an und erhielt von der Gemeinde den Gesamtauftrag für Konzeptentwicklung, Planung, Bemessung und Bauleitung. Nach dem Studium der lokalen Gegebenheiten und der historischen Vorgängerbauwerke konnten der Gemeinde Grindelwald erste Brückentwürfe präsentiert werden.

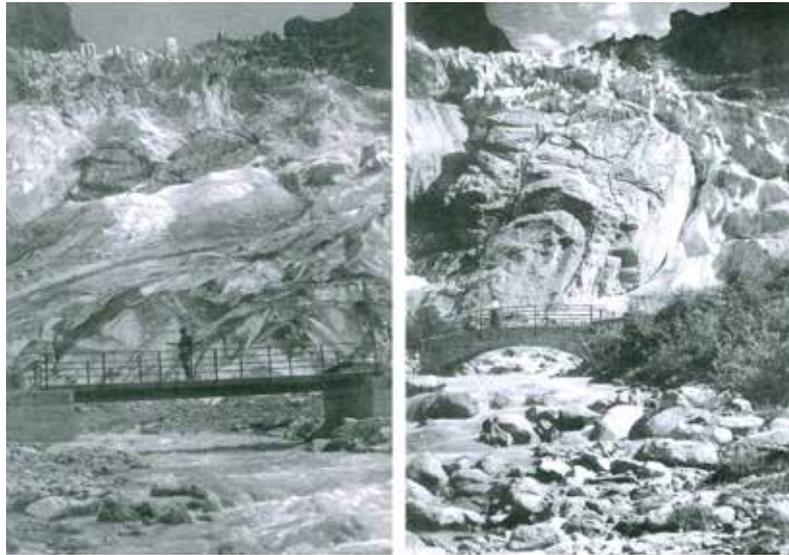


3 Zu ersetzendes Brückenprovisorium
© Emch+Berger AG Bern

2 Konzept und Strategie

2.1 Variantenstudium

Für das Variantenstudium hat sich das Planerteam unter anderem von den historischen Bauwerken inspirieren lassen (Bild 4, 5). Es ist immer interessant, zu wissen, was zuvor am Projektstandort für Bauwerke standen, und beinahe noch wichtiger, wieso diese nicht mehr vorhanden sind. Diesbezüglich konnte auf alte Fotos und Postkarten von Anwohnern zurückgegriffen werden. Es stellte sich heraus, dass schon viele kleinere Brücken am (damaligen) Fuße des Oberen Grindelwaldgletschers erbaut und auch wieder zerstört wurden. Die Hauptursachen für die Zerstörung waren vor allem Hochwasser aus Gletscherseeausbrüchen und Lawenniedergänge in der näheren Umgebung. Diese Gefährdungsszenarien flossen anschließend in die Projektierung mit ein. Im Rahmen des Vorprojektes wurden diverse Varianten studiert und dem Bauherrn präsentiert. Das Variantenstudium beinhaltete Stahl-, Beton- und Holzvarianten als Ein- oder Mehrfeldbrücken sowie Bogen- und Hängebrücken (Bild 6).



4 5 Frühere Brückenbauwerke am Projektstandort
© Privat



6 Skizze von Variantenentwürfen
© Emch+Berger AG Bern

2.2 Holzverbundbrücke

Die Holzverbundbrücke überzeugte aufgrund der optischen Anlehnung an die historischen Bogenformen (Attraktivität) und durch die Verwendung von Holz (heimisches Baumaterial). Innovativ wurde das Brückenprojekt durch den Miteinbezug von Ultra-Hochleistungs-Faserbeton (UHFB). Schweizweit wurde dieser für eine Brücke im Verbund mit Holz hier erstmalig verwendet.

Die Tragwerkstruktur von Holzbrücken wird häufig durch eine Überdachung oder mit aufwendigen Fahrbahnabdichtungen vor Nässe und Zerstörung geschützt. Da sich die Gletschersandbrücke im hochalpinen Gelände befindet und in der näheren Umgebung regelmäßig gewaltige Staublawinen niedergehen,

musste eine Lösung mit einer möglichst geringen seitlichen Winddruckangriffsfläche gefunden werden. Eine Überdachungslösung entfiel aus diesem Grunde, und man fand mit der Verbundkonstruktion eine Möglichkeit, die Brücke im Längsprofil möglichst schlank auszubilden. Der Oberbau war ursprünglich mit Ort beton oder Betonfertigelementen in Kombination mit einer herkömmlichen Abdichtung aus Polymerbitumen-Dichtungsbahnen (PBD) und Walzasphalt geplant. Ort beton oder vorfabrizierte Betonelemente erwiesen sich für die Fußgängerbrücke aber einerseits als zu aufwendig und zu schwer sowie andererseits als zu teuer. Zudem ist ein Walzasphaltaufbau in der Konstellation der

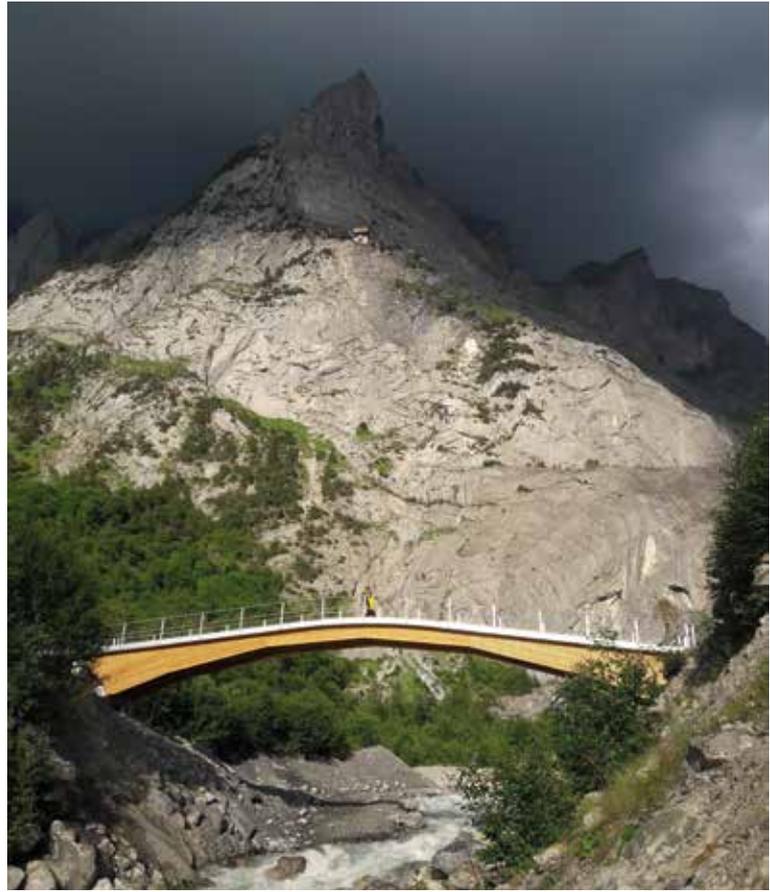
vorgesehenen Bogenform technisch schwierig einzubringen und auch etwas fragwürdig hinsichtlich der »Wanderwegoptik«. Deshalb erarbeitete man schrittweise weitere Varianten.

Vor allem im Querschnittaufbau der Fahrbahnplatte und im Verbund mit den Holzträgern bestand Optimierungspotential. Mit fortschreitender und detailintensiver Projektarbeit wurde im Planerteam auch der innovative Ultra-Hochleistungs-Faserbeton zum Thema einer möglichen Anwendung. Mangels Erfahrungen mit dem (noch) ungewohnten Baumaterial überzog jedoch zu Beginn eine allgemein skeptische Haltung.

Der UHFB zeichnete sich bei näherem Befassen mit seinen physikalischen und mechanischen Eigenschaften aber rasch als elegante Lösung für die Gletschersandbrücke ab, da er durch Verbund statisch mitwirkt, durch seine Wasser- undurchlässigkeit die Abdichtung und den Witterungsschutz des Holzunterbaus gewährleistet und überdies in beeindruckend geringer Schichtdicke ausgeführt werden kann. Von den erwarteten Vorteilen des UHFB ließ sich anschließend auch der Bauherr überzeugen. Er erklärte sich bereit, den neuartigen Baustoff UHFB im Verbund mit Brettschichtholz (BSH) als Schweizer Premiere ins Projekt aufzunehmen.

2.3 Randbedingungen

Im alpinen Gelände wird ein Bauprojekt oft nicht nur durch die erschwerte Zugänglichkeit beeinflusst, sondern auch durch das nur relativ kurz zur Verfügung stehende Zeitfenster für die Bauarbeiten. Deshalb setzte man sich im vorliegenden Fall zum Ziel, die Brücke so zu entwerfen, dass ihre Aufrichtzeit möglichst kurz gehalten werden kann. Der Terminplan sah vor, die Widerlager im Herbst vorzubereiten und die eigentliche Brückenplatte nach der Schnee- und Lawinensaison im Frühjahr rasch aufzurichten und noch vor der Wanderzeit fertigzustellen und ins Wanderwegnetz zu integrieren. Die Strategie bestand also darin, so viel wie möglich in den Wintermonaten vorzufabrikieren, damit sich die Aufrichtzeit im Frühjahr zwischen Schneeschmelze und Wandersaisonbeginn stark reduzieren ließ.



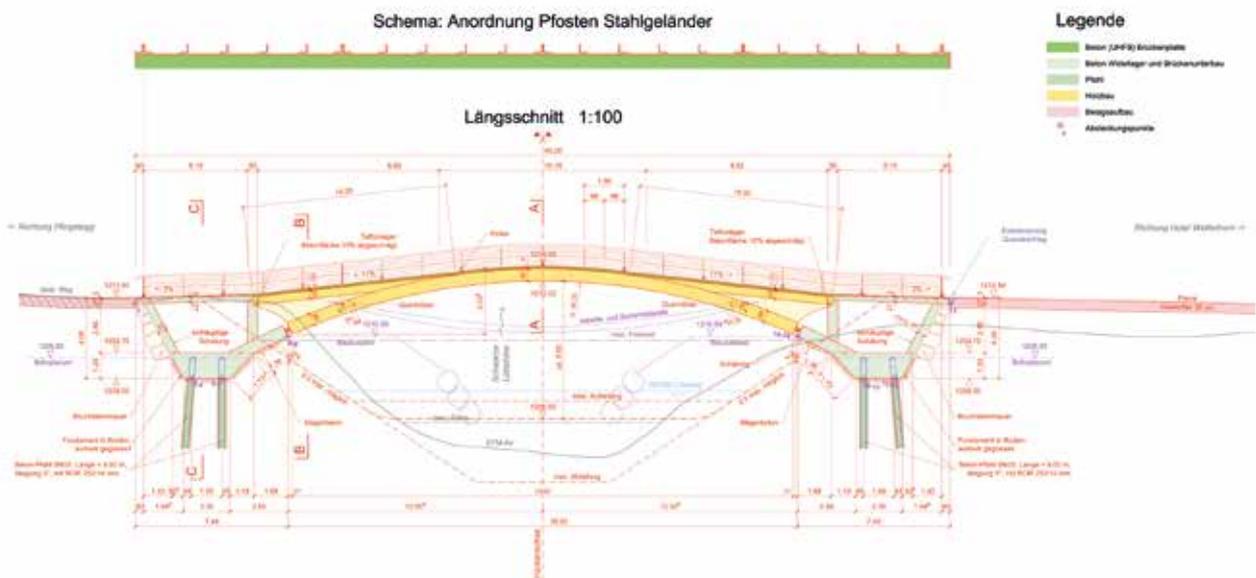
7 Gletschersandbrücke vor dem Berner Alpenmassiv
© Emch+Berger AG Bern

3 Entwurf und Umsetzung

3.1 Tragwerksentwurf

Das Bauwerk wurde als Fußgängerbrücke konzipiert, welche zudem gelegentlich von kleineren Forstfahrzeugen ≤ 10 t überquert wird. Die Spannweite der Gletschersandbrücke wurde aufgrund der Hochwassergefährdung im Vergleich zum vorhandenen Provisorium erhöht.

Die Gesamtlänge beträgt 40 m und überspannt den Gebirgsbach in Bogenmitte auf einer Höhe von ca. 7 m. Die Brückenfahrbahn bzw. -gefälle hat eine lichte Breite von 3 m und weist, ausgehend vom Scheitelpunkt, ein beidseitiges Längsgefälle $\leq 11\%$ auf.



8 Längsschnitt des Neubaus
© Emch+Berger AG

3.2 Unterbau

Der Holzunterbau (Bild 9) besteht aus drei 25 m langen GL 24c Brettschichtholzträgern von 60 cm x 30 cm mit je zwei Aufschieblingen à 40 cm x 30 cm. Die Geometrie, also Länge sowie Stichhöhe, der Längsträger wurde unter anderem durch den Straßentransport begrenzt. Die Träger mit einer Lamellendicke von 4 cm sind auf einer Breite von 30 cm blockverleimt. Die Oberfläche wurde grundiert und mit einem Endanstrich versehen. Der vorfabrizierte seitliche Holzrost ist der Linienführung der Brücke angepasst (Bild 10). Er besteht aus rhomboidförmigen Lamellen (C24) und schützt den Unterbau seitlich vor der Witterung. Die Fahrbahnplatte aus wasserundurchlässigem UHFB übernimmt dabei den Witterungsschutz von oben. Die Holzschalungselemente als Vergussform für den UHFB der Gehfläche wurden aus 4 cm dicken Nut- und Kambrettern hergestellt und vor Ort auf die Längsträger montiert.

Die Unterkonstruktion trägt die Lasten als Holzbogen über die pfahlfundierten, aufgelösten Betonwiderlager in den Baugrund ab. Die Aufschieblinge liegen dabei in Betonnischen ebenfalls direkt auf den Betonwiderlagern auf. Die Kraftübertragung der Holzbogenträger erfolgt über ein entsprechendes Stahlgelenk auf die Betonwiderlager.



9 Struktur des Holzunterbaus
© Emch+Berger AG Bern



10 Anordnung von seitlichen Holzrostelementen
© Emch+Berger AG Bern

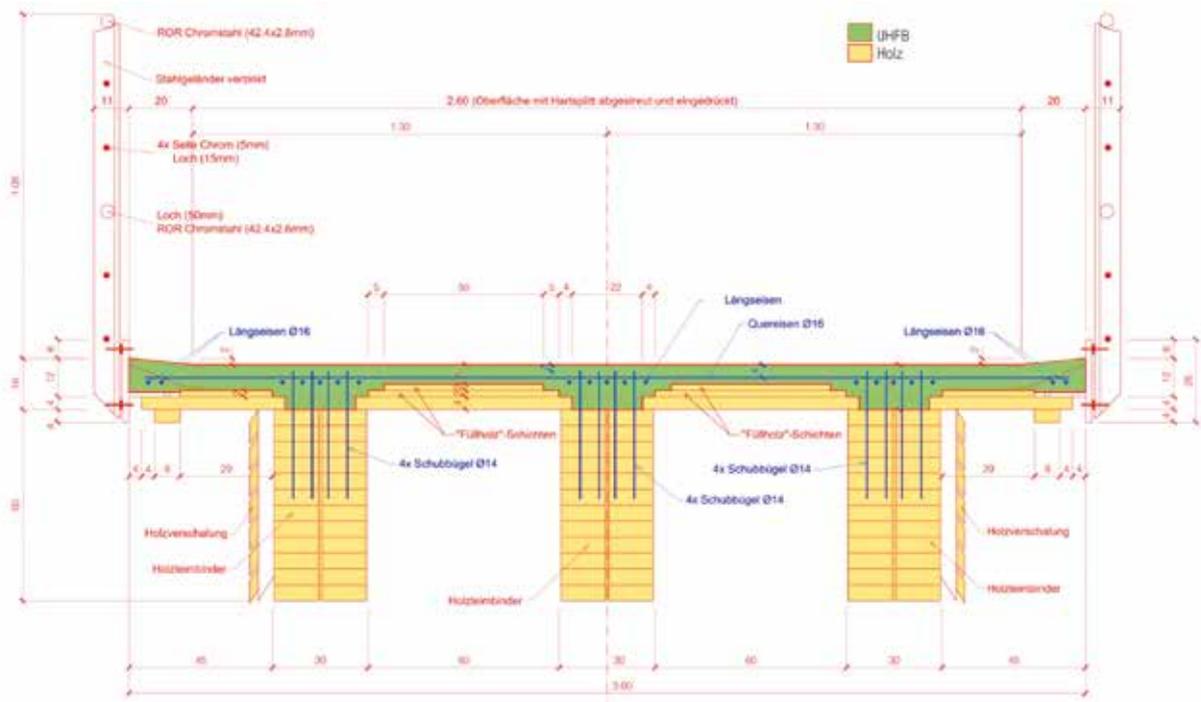
3.3 Schubverbindung

Die Schubverbindung verzahnt das Brettschichtholz (BSH) mit dem UHFB, damit beide Baustoffe statisch zusammenwirken (Bild 11). Der Verbund wird durch Stahlgewindestangen gewährleistet, die mit Epoxidharz in das Brettschichtholz eingeklebt sind: GSA®-Technologie von der Firma »neue Holzbau« AG. [3] Die Bohrung und die Verklebung der 14-mm-Gewindestangen aus Armierungseisen wurden aufgrund der geringen

Maßtoleranzen (Überdeckung) bereits im Holzwerk und nicht erst auf der Baustelle ausgeführt. Im Schnitt wurde etwa alle 60 cm eine Schubverbindung eingebaut. Eine Schubverbindung besteht dabei aus vier Bügeln sowie einem Quereisen, um zusammen mit der Kerbe als Aussparung in der Holzschalung mit Vertiefung und Verdickung der UHFB-Schicht eine steife Verbundwirkung zu erreichen.



11 Schubverbinder mit Bewehrung
© Emch+Berger AG Bern



12 Querschnitt nach Optimierung
© Emch+Berger AG Bern

3.4 Oberbau

Für den Oberbau wurde ein sogenannter Ultra-Hochleistungs-Faserbeton (UHFB) verwendet. Dabei handelt es sich um einen Verbundwerkstoff aus Zement und Zusatzstoffen mit kurzen Stahlfasern. Dieser Verbundwerkstoff weist eine hohe Packungsdichte auf und ist daher im elastischen Bereich flüssigkeitsdicht. Der charakteristische Wert seiner Würfeldruckfestigkeit nach 28 Tagen ist in der Regel höher als 120 N/mm^2 . [1] Im Infrastrukturbereich wird er deshalb in jüngster Vergangenheit oft für Instandsetzungen und Verstärkungen eingesetzt. Der UHFB überzeugt in diesem Projekt sowohl durch seine hervorragenden mechanischen – Druckfestigkeit $f_{\text{Uck}} \geq 120 \text{ MPa}$, elastische Grenzzugspannung $f_{\text{Utek}} \geq 7 \text{ MPa}$ [1] – als auch durch seine außerordentlichen physikalischen Eigenschaften: wasserundurchlässig im elastischen Bereich. Es wurde ein Ultra-Hochleistungs-Faserbeton der Sorte UA verwendet, der als befahrbare Oberfläche zugleich die Abdichtung und damit den Witterungsschutz des Holzunterbaus übernimmt. Die Fahrbahnränder wurden leicht erhöht ausgeführt, um das Regenwasser in Längsrichtung abzuleiten. Um die UHFB-Menge möglichst gering zu halten, wurde der Querschnitt zwischen den Trägern zudem mit längslaufendem »Füllholz« belegt (Bild 12). Auf diese Weise ließen sich Materialverbrauch und Ökobilanz weiter optimieren.

Über den Längsträgern ist die UHFB-Schicht mit 10 cm am dicksten, davon ausgenommen sind die jeweiligen Schubverbindertiefungen mit 14 cm Dicke, welche durch diese Kerbwirkung einen optimalen und direkten Verbund vom UHFB mit den Holzlängsträgern gewährleisten. Ansonsten wurde die Schichtdicke gemäß Kraftverlauf bis auf 6 cm mit »Füllholz« reduziert. Das Füllholz wurde auf die vorgefertigten Schalungselemente vormontiert und konnte anschließend direkt übergossen werden. Insgesamt wurde ca. 10 m^3 UHFB verbaut.

3.5 Oberfläche

Die rutschfeste und auch befahrbare Oberfläche wird durch eine Splittschicht gebildet, welche direkt in den UHFB eingestreut wurde. So ließ sich optisch ein fließender Übergang vom Wanderweg auf die Brücke schaffen. Dadurch und durch die moderne Umsetzung historischer Bogenformen integrierte sich die Brücke ideal in die eindruckliche Berglandschaft. Zu Aufbau und Gestaltung einer rutschfesten Oberfläche wurden eigens Versuche durchgeführt. Man entschied sich, auf ein Zweischichtenprinzip zurückzugreifen. Dabei bringt man auf den erhärteten UHFB eine zweite, ca. 5 mm dicke, faserlose UHFB-Schlämme auf, in welche der Splittkies direkt eingepresst wird (Bild 13).

In den Vorversuchen zeigte das Einstreuen einer 4–8 mm Splittkieschicht optisch, also beim Übergang zum Wanderweg, die besten Ergebnisse. In diesem Zusammenhang passte die Unternehmung die Unternehmung die UHFB-Schlämme an die spezifischen Gegebenheiten an. Selbige durfte aufgrund des Gefälles nicht zu dünnflüssig sein und musste eine genügende Haftung erzeugen. Mit der gefundenen Mischung wurden anschließend Testplatten erstellt, welche bezüglich mechanischer Beanspruchung und Zughaftung (Schichtenverbund und Splittbettung) getestet wurden. Die Versuche waren zufriedenstellend und erfüllten die Projektanforderungen.



13 Splittstreuung in UHFB-Schlämme
© Emch+Berger AG Bern



14 Montage der Längsträger
Brawand Zimmerei AG

4 Realisierung

Die Pfahlfundationen inklusive Betonwiderlager wurden im Herbst 2017 erstellt. Im darauffolgenden Winter konnten die drei BSH-Bogenträger mit je zwei Aufschieblingen vorfabriziert und mit den Schubverbindern versehen werden. Zudem wurden in derselben Zeit die zwölf Holzschalungselemente sowie der seitliche Witterungsschutz produziert. Nachdem sich der Schnee im Gletschersand zurückgezogen hatte, konnten im Mai die Bauarbeiten vor Ort wieder aufgenommen werden. Am Projektstandort wurde der senkrechte Witterungsschutz als vorfabrizierter Holzrost an die äußeren Träger montiert und die so vorbereiteten Bauteile mit dem mobilen Kran direkt in die vorgesehenen Auflager positioniert (Bild 14).

Anschließend erfolgte die Montage der horizontalen Holzschalungselemente auf die drei Träger. Der Metallbauer befestigte danach den verzinkten Stahlrand mit dem integrierten Geländer direkt an den Schalungselementen (Bild 15).

Damit ließen sich einerseits die seitliche Betonabschalung und andererseits die Absturzsicherung gewährleisten, ohne ein aufwendiges Baugerüst über den Wildbach erstellen zu müssen. Die Aufrichtzeit des Unterbaus wurde somit auf

ein Minimum reduziert. Innert Wochenfrist war die Holzkonstruktion inklusive Abschalung und Geländer errichtet und vorbereitet, um in der nächsten Phase den Ultra-Hochleistungs-Faserbeton einzubauen.



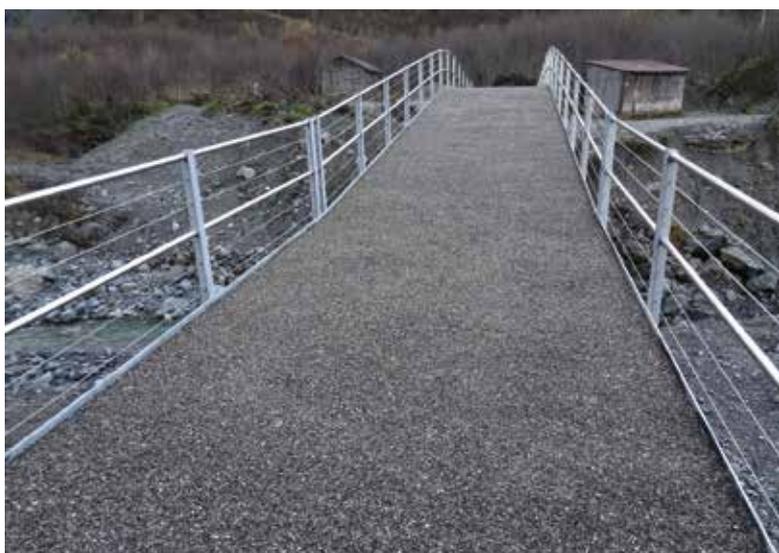
15 Vorgefertigte Schalungselemente mit Geländer
© Emch+Berger AG Bern

Die Unternehmung baute das UHFB-Produkt »ahadur« von Kibag ein. Da sich in der näheren Umgebung des Projektstandortes keine entsprechenden Betonwerke befanden, entschied man sich, den UHFB mit einer mobilen Betonanlage direkt vor Ort zu produzieren. Die eigens von der Unternehmung entwickelte Anlage wurde beim nördlichen Widerlager installiert. Die Bestandteile für ca. 10 m³ verbauten UHFB wurden in Bigbags als Trockengut angeliefert und dann vor Ort zusammengemischt. Der frische UHFB wurde in gewöhnlichen Betonkübeln mit Hilfe eines mobilen Krans auf die Brücke transportiert, dort auf die vorbereitete Brückenoberfläche gekippt und anschließend über deren Breite verteilt. Die Einbringung wurde maschinell mit einem Tremixbalken vorgenommen (Bild 16). Zur regelmäßigen Führung des Tremixbalkens wurden vorgängig Laufschiene am vormontierten Geländer befestigt. In einer ersten Phase wurde vom südlichen Widerlager bis ca. 1 m über den Brückenscheitel hinaus betoniert. Danach wurde der Tremixbalken an das nördliche Widerlager verschoben und von dieser Seite aus in Richtung Scheitel betoniert. Der Einbau von ca. 10 m³ UHFB konnte so an einem Tag vollzogen werden. Durch die mobile Produktion vor Ort, die vorherrschenden und sich im Tagesverlauf verändernden Umwelteinflüsse und aufgrund eines Brückenlängsgefälles $\leq 11\%$ war der Einbau jedoch schwieriger als vorhergesehen. Damit Konsistenz und Verarbeitbarkeit stimmten, musste



16 UHFB-Einbringung mittels Tremixbalken
© Emch+Berger AG Bern

die Mischung in der mobilen Anlage schrittweise den Gegebenheiten angepasst werden. Ein eingespieltes Einbauteam sowie die fortlaufenden Rückmeldungen über das Verhalten des UHFB ans Produktionsteam waren dabei unabdingbar. Nachdem der UHFB ausgehärtet war, wurde die Oberfläche mit einer faserlosen UHFB-Schlämme überzogen, in welche der saubere Splitt Kies direkt eingepresst wurde. Somit konnten die herausstehenden Fasern der UHFB-Konstruktionsschicht überdeckt und ein fließender Übergang vom Wanderweg auf die Brücke geschaffen werden (Bild 17).



17 Brückenoberfläche nach Fertigstellung
© Emch+Berger AG Bern

5 Fazit und Ausblick

Obwohl es am Anfang mit einigen Unsicherheiten behaftet war, den noch teilweise unbekanntem Baustoff UHFB ins Projekt einfließen zu lassen, gewannen alle Beteiligten im Verlauf der Planungsarbeit durch das Befassen mit diesem neuartigen Baumaterial und dank dessen enormer physikalischer und mechanischer Eigenschaften eine immer höhere Sicherheit und Überzeugung für dessen Einsatz. Schlussendlich überwogen die Vorteile der statischen Mitwirkung und der passenden Oberfläche, welche zugleich als Brückenabdichtung dient, berechtigterweise alle Zweifel.

Das bei der Gletschersandbrücke verwendete Verbundprinzip mit dem UHFB-optimierten Querschnitt hat inzwischen auch weitere Brückenprojekte inspiriert. In diesem Frühling wurde in der Schweiz die erste Holz-UHFB-Brücke für Schwerlasten realisiert. Sie setzte sich im Variantenstudium ebenfalls aufgrund geringerer Kosten, besserer Ökobilanz und der kürzeren Bauzeit gegen eine herkömmliche Betonbrücke durch.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich das Material UHFB im Verbund mit den BSH-Trägern bei der Gletschersandbrücke als gelungene Kombination herausstellt, die einen innovativen mit einem heimischen Baustoff gewinnbringend verbindet.

Der UHFB bietet vor allem im Bereich der offenen Holzbrücken neue Möglichkeiten in Bezug auf die Fahrbahn respektive Oberflächenabdichtung. Im Gegensatz zu herkömmlichen Beton-Holz-Verbundbrücken lässt sich aufgrund der besseren mechanischen Eigenschaften des UHFB viel Material einsparen und auf eine zusätzliche Abdichtung verzichten.

6 Danksagung

Bedanken möchten wir uns vor allem bei den Behördenvertretern und der Bauverwaltung der Gemeinde Grindelwald, die uns das Vertrauen geschenkt haben, mit ihnen zusammen dieses elegante und innovative Projekt auszuführen. Ebenfalls ein großer Dank gilt Professor Eugen Brühwiler von der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Lausanne, der seit vielen Jahren mit dem Baustoff UHFB forscht und praxisbezogene Anwendungen fördert – und der uns mit seinem Fachwissen beratend zur Seite stand und uns jederzeit und in allen Projektphasen unterstützte. Zudem bedanken wir uns bei allen Beteiligten für die gute interdisziplinäre Zusammenarbeit, ohne deren Denkanstöße und Engagement diese Brücke nicht hätte realisiert werden können.

Autoren:

Marc-André Berchtold, Dipl. Bauingenieur ETH
 Armin Hemmi, Dipl. Bauingenieur HTL
 Guido Lauber, Dr. sc. techn., Dipl. Bauingenieur ETH
 Emch+Berger AG Bern
 Bern,
 Schweiz

Literatur

- [1] Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein: Merkblatt SIA 2052:2016 »Ultra-Hochleistungs-Faserbeton (UHFB). Baustoffe, Bemessung und Ausführung«. Zürich, 2016.
- [2] Emch+Berger AG Bern: Technischer Bericht Gletschersandbrücke. Bern, 2018.
- [3] Neue Holzbau AG: GSA-Technologie. <https://neueholzbau.ch/produkte/gsa-technologie>. Lungern, 2018.



18 Gletschersandbrücke im Winterkleid
 © Emch+Berger AG Bern

Bauherr

Einwohnergemeinde Grindelwald, Grindelwald,
 Schweiz

Entwurf und Tragwerksplanung

Emch+Berger AG Bern, Schweiz

UHFB-Beratung

Prof. Dr. sc. techn. Eugen Brühwiler, ETH Lausanne,
 Schweiz

Baumeister

Christian Zumbrunn Hoch- und Tiefbau, Grindelwald,
 Schweiz

Bohrpfähle

Ghelma Spezialtiefbau AG, Meiringen, Schweiz

Holzbau

Brawand Zimmerei AG, Grindelwald, Schweiz
 Neue Holzbau AG, Lungern, Schweiz

Metallbau

Bhend Metallbau GmbH, Grindelwald, Schweiz

UHFB-Herstellung

Implenia AG, Dietlikon, Schweiz

