



*Beat Lauber
dipl. Holzbauing. FH
Lauber Ingenieure für Holzbau &
Bauwerkserhalt
Luzern, Schweiz*

Verstärkung von Anschlüssen und Bauteilen

**Sanierungs- und Verstärkungsmöglich-
keiten von Verbindungen**

Verstärkung von Anschlüssen und Bauteilen

Sanierungs- und Verstärkungsmöglichkeiten von Verbindungen

Inhalt

Dieser Beitrag beschreibt die Vorgehensweise bei der Ertüchtigung bestehender Holzverbindungen und Bauteilen. Neben den wichtigsten Grundregeln werden Beispiele aus der Praxis näher erläutert. Es wird auf verschiedene Problemstellungen eingegangen und deren Lösungen aufgezeigt.

Einleitung

Seit den Anfängen des Holzbaus wurde eine grosse Vielfalt von Holzverbindungen gebaut. Neben den einfachen Anschlüssen wie zum Beispiel die Verzapfung, die Überblattung oder der Schwalbenschwanz gelangte in den letzten Jahrzehnten eine grosse Anzahl mechanischer Holzverbinder auf den Markt. Von den Nagelverbindungen über Bolzen mit Einpress- und Einfräsdübel zu den Blechformteilen werden heute für leistungsfähige Verbindungen insbesondere Stabdübel mit Schlitzblechen sowie Vollgewindeschrauben und eingeklebte Gewindestangen verwendet. Im Rahmen von Sanierungen ist es oft notwendig neben den Bauteilen auch die bestehenden Verbindungen und Anschlüsse zu verstärken um den heutigen Anforderungen gerecht zu werden. Umso wichtiger ist die genaue Analyse des Bauwerks mit Hilfe einer detaillierten Bestandesaufnahme um den Sanierungserfolg zu gewährleisten.

Normung

Die neue SIA 269/5 „Erhaltung von Tragwerken – Holzbau“ bildet die normative Grundlage für das Bauen im Bestand im Holzbaubereich. Zusammen mit der SIA 269 „Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken“ sowie der SIA 269/1 „Erhaltung von Tragwerken – Einwirkungen“ ist sie ab dem 1. Januar 2011 in Kraft getreten.

Grundlagen der Bestandesaufnahme

Bei der Ertüchtigung von Holztragwerken steht das Bemühen dahinter, möglichst viel Bausubstanz zu erhalten. Das setzt voraus, dass bei Schäden die Schadensursache bekannt ist und dass der Planer sich mit den Sanierungsmassnahmen auskennt. Bevor mit den Reparaturen oder den Verstärkungsmassnahmen begonnen wird, ist die Schadensursache zu beseitigen. Eine detaillierte Zustandsanalyse des geschädigten Tragwerks ist als Grundlage für eine optimale Massnahmenplanung erforderlich. Schäden treten unabhängig vom Baustoff auf und sind auf verschiedene Ursachen zurückzuführen. Grundsätzlich kann die Ursache des Fehlers in der Planung, in der Produktion/Montage oder in der Nutzungsphase liegen.

Eine genauere Untersuchung des Tragwerks drängt sich insbesondere auf:

- Bei Nutzungsänderungen
- Vor grossen Sanierungs- oder Umbauarbeiten
- Nach ungenügenden Unterhaltsarbeiten in der Vergangenheit
- Vor dem Kauf oder Verkauf einer Liegenschaft
- Bei mangelhaft ausgeführten Reparatur- oder Restaurierungsarbeiten
- Nach Elementarschäden wie Brand, Wasser, etc.

Bauen im Bestand setzt eine hohe Fachkompetenz und viel Erfahrung voraus. Wie eine hölzerne Konstruktion zu untersuchen ist, hängt insbesondere vom Ziel der Instandsetzung ab. Daher sind grundlegende Überlegungen und klar definierte Ziele unabdingbar – stets in

Zusammenarbeit mit den beteiligten Auftraggebern, Bauherren, Eigentümer, Behörden, Architekten, Restauratoren, Denkmalpflegern und Fachplanern. Aus den Zielen und Bedürfnissen der Bauherrschaft ergeben sich Umfang und Genauigkeit/ Präzision der Bestandserfassung.

Ablaufsystematik der Bauwerksinstandsetzung

Eine Bestandesaufnahme erfolgt in zwei Schritten. Als Erstes werden der allgemeine Zustand und die Notwendigkeit einer genaueren Untersuchung ermittelt. Äusserlich erkennbare Schäden, fehlende Bauteile und grosse Verformungen, unsachgemässe Eingriffe und Reparaturen sowie bauphysikalisch ungünstige Verhältnisse erfordern eine genauere Betrachtung des Bauwerks. Als Zweites erfolgt eine genaue Untersuchung, die alle Bauteile der Konstruktion einschätzt. Daraus resultieren ein Bestandesplan oder eine Zustandskartierung. Die Ablaufsystematik einer Bauwerksinstandsetzung sieht wie folgt aus:

Zustandserfassung	Zielanalyse	Zweck der Zustandserfassung Bedürfnisse, Ziele, Rahmenbedingungen
	Zustandsaufnahme	Unterlagenbeschaffung Massaufnahme Ist-Zustand Geometrie und statisches System Visuelle / Technische Untersuchung Bauphysikalische Eigenschaften Standicherheit
	Zustandsanalyse	Schadensumfang Einwirkungen / Ursachen Auswirkungen auf die Bausubstanz Statisches Konzept
	Bauzustandsbewertung	Beurteilung der Resttragfähigkeit Prüfung der Funktionsfähigkeit Ermittlung der Sanierungsdringlichkeit Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit Massnahmenkatalog
Bauwerksinstandsetzung	Instandsetzungsplanung	Erarbeiten des Prioritätenkataloges Variantenstudium, Vorprojekt / Bauprojekt Absprache mit Behörden, Denkmalpflege, etc Bestimmung der Baumassnahmen Planung / Ausschreibung der Sanierung
	Bauwerksinstandsetzung	Soll-Ist Vergleich der Massnahmen Ausführungsprojekt Bewertung der Ausführungen
	Unterhalt / Instandhaltung	Regelmässige Gebäudeinspektion Gebäudewartung

Abbildung 1: Ablaufsystematik Zustandserfassung / Bauwerksinstandsetzung

Die Bestandesaufnahme enthält Informationen über die Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Qualität und Wert der Bauten. Auch bewahrt sie den historischen, künstlerischen oder kulturellen Wert eines Bauwerks. Dies gilt sowohl für die Bauteile wie auch für die Verbindungen. Als Dokumentationsgrundlage reichen meist Systemskizzen mit den Hauptverformungen; bei komplexen, denkmalgeschützten Bauten kann ein verformungsgerechtes Aufmass hilfreich sein. Die visuelle Untersuchung des Holztragwerks erfolgt zuerst durch handwerkliche Methoden. Ergänzend und soweit erforderlich kommen projektspezifisch technische Geräte zum Einsatz – damit bleibt der Eingriff in die bestehende Struktur klein und aufwändige Sondieröffnungen erübrigen sich.

Ertüchtigung von Verbindungen

Die Ertüchtigung von Verbindungen und Anschlüssen ist noch komplexer als die der Bauteile. Eine grosse Vielfalt von Verbindungsmitteln erfordert ein hohes Fachwissen und Fachkompetenz der Planer und Ingenieure. Verbindungsmittel können verschiedenartig beansprucht sein und werden vom Umfeld stark beeinflusst. Die Auswirkungen von Schädigungen bei Verbindungen sind zu berücksichtigen (SIA 269/1, Absatz 4.5.1). Dies gilt insbesondere für

- Risse infolge Spaltwirkung der Verbindungsmittel
- Schwindrisse im Verbindungsbereich
- Schädigungen infolge Überbeanspruchungen des Holzes
- Schädigungen infolge Überbeanspruchungen der Verbindungsmittel
- Auflösung des Klebverbundes (Delaminierung)
- Querschnitts- und Festigkeitsminderungen des Holzes infolge Pilz- und Insektenbefall
- Querschnitts- und Festigkeitsminderungen der Verbindungsmittel infolge Korrosion

Gemäss Absatz 5.4.1 der SIA 269/5 stehen als Grundlage für die Überprüfung folgende Eigenschaften der Verbindungen im Vordergrund:

- Art und Wirkungsweise der Verbindung, Abmessungen der Holzteile und Verbindungsmittel, Anzahl der Verbindungsmittel mit ihren Abständen untereinander und zu den Rändern
- Strukturstörungen des Holzes (Festigkeitsklasse) im Verbindungsbereich
- Baustoff der Verbindungsmittel (Festigkeitseigenschaften)
- Holzfeuchte im Verbindungsbereich
- Passgenauigkeiten der Verbindungen bzw. der Verbindungsmittel
- Holzrisse infolge der Spaltwirkung der Verbindungsmittel oder des Schwindens
- Verformungen (Verschiebungen, Verdrehungen) der Verbindung
- Schädigungen infolge Überbeanspruchungen des Holzes (Eindrückungen, Stauchungen, Längs-, Schub- und Querschnittsrisse) und der Verbindungsmittel (plastische Verformungen, Risse)
- Querschnitts- oder Festigkeitsminderungen des Holzes infolge Pilz- und Insektenbefall sowie der Verbindungsmittel infolge Korrosion

Beispiele aus der Praxis

Spreuerbrücke Luzern

Die Spreuerbrücke ist neben der Kapellbrücke und der im 19. Jahrhundert abgebrochenen Hofbrücke die dritte gedeckte Holzbrücke in der Stadt Luzern. Neben dem 67-teiligen Gemäldezyklus Totentanz des Malers Kaspar Meglinger (1626 – 1635) beeindruckt das Bauwerk durch historische Handwerkskunst aus drei Jahrhunderten. Die beiden äusseren Brückenfelder der Hängewerkbrücke wurden 1568 gebaut, das mittlere Hängewerk stammt aus dem Jahr 1785 und die Bogenbrücke im nördlichen Teil von 1805. Soweit auseinander diese Daten liegen, so unterschiedlich sind auch die Konstruktionsweisen und die zu ergreifenden Sanierungsmassnahmen. Im Rahmen einer Gesamtsanierung in den Jahren 2010 / 2011 mussten mehrere Bauteile und Verbindungen verstärkt werden um die heutigen Anforderungen zu erfüllen.



Abbildung 2: Ansicht Hängewerk von Norden



Abbildung 3: Innenansicht Brückenfeld 2 erbaut 1785.

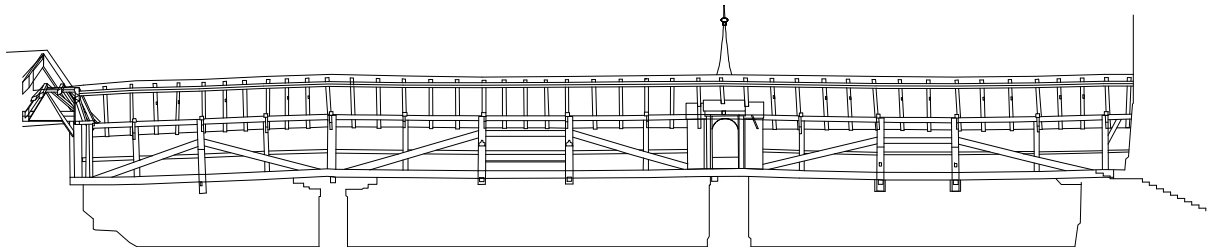


Abbildung 4: Aufmass Längsschnitt Oberwasser Hängewerkbrücke

Bereits im Jahre 2004 zeigte eine detaillierte Bestandsaufnahme, dass bei den Hängewerken der Anschluss der Bundstreben auf die Zuggurte kritisch war. Bei allen drei Brückenfeldern sorgte ein einfacher Versatz mit Zapfen für die Kraftübertragung. Nach dem heutigen Standard war die Verbindung deutlich unterdimensioniert. In Zusammenarbeit mit der Bauherrschaft, der kantonalen Denkmalpflege, dem Restaurator und den Fachplanern wurde nach eingehender Prüfung eine für alle Beteiligten optimale Lösung gefunden. Hierbei mussten insbesondere folgende Bedingungen beachtet werden:

- Bauteile oberhalb des Gehbelags Feuchtklasse II, unterhalb des Gehbelags FK III
- Holz aus dem stadteigenen Wald
- Minimale Eingriffe in die bestehende Substanz
- Gewährleistung der Reversibilität
- Dauerhafte Lösung (60 Jahre oder mehr)

- Vorhandene Holzfeuchten zum Teil deutlich über 20 %
- Viele Schwundrisse im alten Holz
- Messungen mit Ultraschall ergaben hohe E-Moduli mit $14'000 \text{ N/mm}^2$ und mehr
- Die Wirtschaftlichkeit musste gewährleistet sein.
- Kurze Bauzeit im Frühjahr bei niedrigem Wasserstand
- Alle Stahlteile in Chromstahl
- Minimale Abspriessungen ins Flussbett
- Werkleitungen unter dem Gehbelag mussten bestehen bleiben

Um den Eingriff minimal zu halten, war es notwendig zuerst die Schnittkräfte zu reduzieren. Dies wurde möglich durch den Einbau von neuen Bugstreben unter dem Zuggurt. Anhand von alten Ausblattungen, Auflagernischen in den Brückenpfeilern und alten Zeichnungen war ersichtlich, dass früher bei allen Brückenfeldern solche Streben eingebaut waren. Vermutlich wurden diese bei früheren Hochwassern weggespült oder bei früheren Umbauten und Sanierungen ausgebaut. Mit Hilfe dieser Bauteile war es möglich die Schnittkräfte im Primärtragwerk um circa 30 % zu verkleinern. Weiter konnte dadurch die Steifigkeit der Brücke deutlich erhöht werden. Die unangenehmen Schwingungen der Brücke gehören der Vergangenheit an.

Eine detaillierte Analyse der möglichen Verbindungen ergab, dass Schlitzbleche mit Stabdübeln aus Chromstahl die Randbedingungen am Besten erfüllten. Abspriessungen aus Rundholz ins Flussbett mit niedrigem Wasserstand sorgten für die Entlastung des Tragwerks, damit die Schlitzbleche und Stabdübel eingebaut werden konnten. Als Erstes wurde der Schlitz mittig im Strebenfuss und im Zuggurt eingefräst. Nach dem Einbau einer Schlitzblechschablone aus Sperrholz konnten mit Hilfe einer Bohrschablone die Löcher für die Stabdübel gebohrt werden. Daraufhin fräste und bohrte der Schlosser in der Werkstatt auf Grundlage der Schlitzblechschablone das Schlitzblech aus 16 mm dickem Chromstahl. Dadurch war die geforderte hohe Passgenauigkeit gegeben. Ein gleichzeitiges Bohren der Stabdübellöcher durch das Holz und das Schlitzblech hätte infolge mangelnder Kühlung zu einem hohen Verschleiss von Bohrern geführt.

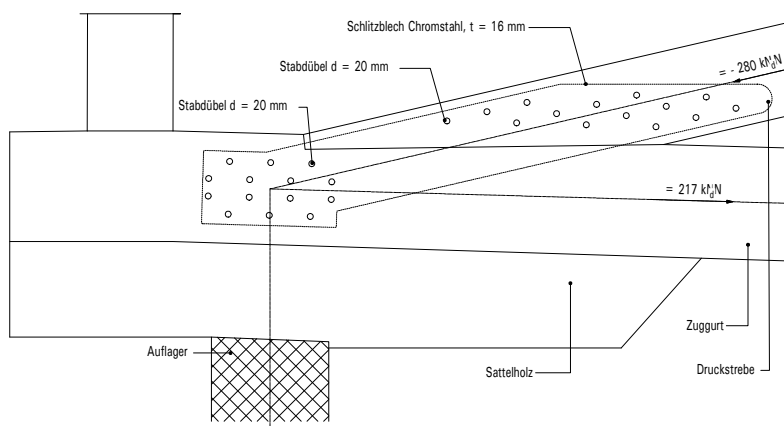


Abbildung 5: Anschluss Druckstrebe an Zuggurt mit Schlitzblech und Stabdübel.



Abbildung 6: Strebenversatz vor der Sanierung



Abbildung 7: Alter Strebenversatz mit neuem Zuggurt vor der Montage des Schlitzbleches und der Stabdübel.

Einige alte Holz – Holz Verbindungen bei den Hängesäulen genügen nach wie vor den heutigen Anforderungen. Darum wurden nur die Nötigen ersetzt und fachgerecht nachgebildet. Um bei den neu eingebauten Eichenhölzern das Auslaufen der Gerbsäure zu verhindern wurden diese ein Jahr früher gefällt und bis zum Einbau bei der Sägerei gewässert.



Abbildung 8: Brückenuntersicht nach der Sanierung mit rekonstruierten Bugstreben und ergänzter Queraussteifung.



Abbildung 9: Wo möglich wurden wieder die traditionellen Verbindungsmittel eingesetzt

Am 1. April 2011 konnte die Brücke nach dreimonatiger Bauzeit wieder eröffnet werden.

Fachwerk Tennishalle Grasshopperclub Zürich

Das Dachtragwerk der Tennishalle vom Grasshopperclub in Zürich besteht aus Fachwerkbindern mit einer Spannweite von 17 m. Die Druckstäbe sind immer einfach zwischen den Gurten angeordnet, die Zugstäbe zweifach und aussen an die Gurte angeschlossen. Verbindungen mit Bauschrauben und eingefrästen Ringdübeln sorgen für die Kraftübertragung in den Knoten. Grosse Schwundrisse in den Pfetten waren die Ursache für eine genauere Betrachtung. Im Rahmen der Bestandaufnahme wurden bei den Auflagerknoten mehrere Schubbrüche entdeckt.



Abbildung 10: Schubbruch beim Auflager



Abbildung 11: Grosse Schwundrisse in den Pfetten

Die Tragwerksanalyse ergab, dass die Schnittkräfte zu hoch waren um von den bestehenden Verbindungen übertragen werden zu können. Eine Verstärkung der Knoten war praktisch nicht möglich ohne Reduzierung der Schnittkräfte. Diese wurde erreicht durch den Einbau eines zusätzlichen Zugstabes. Nachdem die Auflagerpunkte abgeschliffen waren, konnten beidseitig neue Knotenplatten aus Furnierschichtholz mit Schraubpressleimung aufgeleimt werden. Um den Verbund des Knotens weiterhin zu gewährleisten, wurden diese wieder mit Bauschrauben gesichert. Mit Kammnägeln aufgenagelte Stahlteile übernehmen die Lastenleitung aus den neuen Zugstangen. Durch die deutliche Verminderung der Schnittkräfte konnten die Anschlüsse der Diagonalen an die Ober- und Untergurte auf einfache Weise mit kreuzweise eingedrehten Vollgewindeschrauben ertüchtigt werden. Weiter wurden alle bestehenden Bauschrauben nachgezogen.

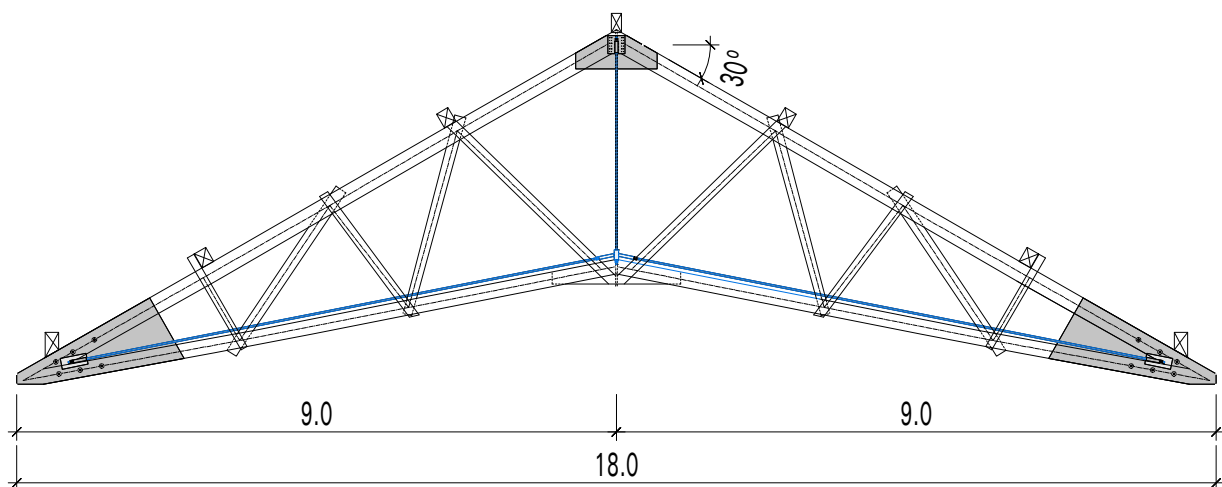


Abbildung 12: Fachwerk nach der Sanierung mit zusätzlichen Zugstangen.



Abbildung 13: Knotenplatten aus Furniersperrholz sorgen für die Einleitung der Kräfte von der Zugstange in die Ober- und Untergerute.



Abbildung 14: Ertüchtigung der Anschlüsse der Diagonalen mit kreuzweise eingedrehten Vollgewindeschrauben.

Die Verstärkung der Pfetten erfolgte mit einer Querschnittsvergrößerung, da aus Kostengründen das Dach nicht abgedeckt werden konnte und somit ein Austausch der zu schwachen Pfetten nicht möglich war. Bis zu vier mit Schraubpressverleimung aufgeklebte Lamellen sorgen nun für die Erfüllung der Anforderungen bezüglich der Tragsicherheit.

Perrondach Interlaken

Beim Bahnhof Interlaken-West stehen im Aussenbereich zwei Überdachungen in Holzbauweise. Das Hausperrondach schliesst auf der einen Seite an das bestehende Bahnhofsgebäude an, auf der anderen Seite steht es auf Stützen. Beim Perrondach 2 bilden am Fusspunkt eingespannte und gebogene Holzbinde das Grundgerüst der freistehenden Konstruktion. Bei den Holzbindern handelt es sich um so genannte Hetzerbinde – aus Brettern verleimte Querschnitte; eine Bauweise welche vor cirka 100 Jahren entstand und sich zum heutigen Brettchichtholz weiterentwickelt hat.

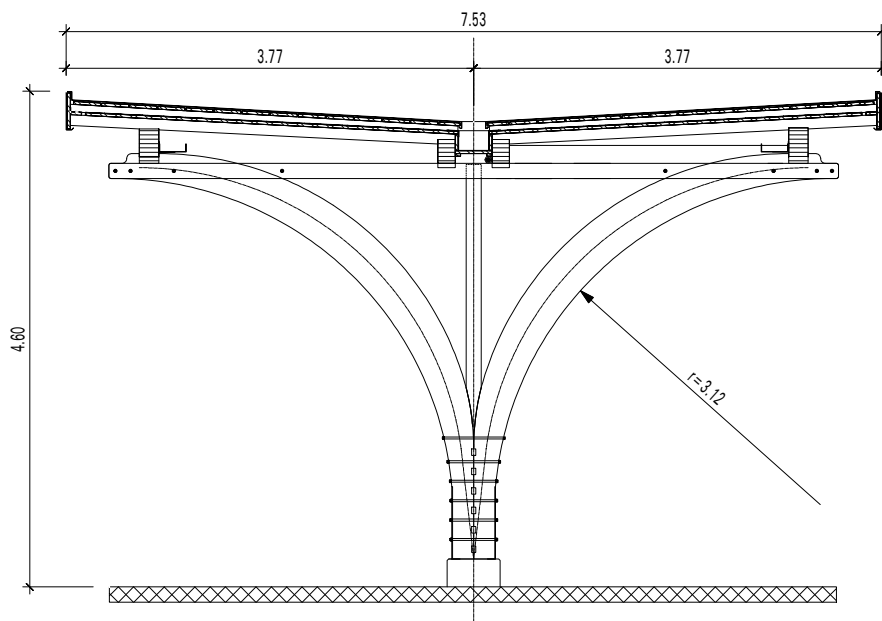


Abbildung 15: Schnitt Perrondach 2 Bahnhof Interlaken-West vor der Sanierung.

Das Perrondach stammt aus dem Jahr 1934 und ist nahezu im Originalzustand erhalten geblieben. Bei einer Routineinspektion wurden Risse in den Leimfugen der gebogenen Hetzer entdeckt. Daraufhin wurde das Tragwerk genauer untersucht und festgestellt, dass die Tragsicherheit der Binder den Anforderungen nicht mehr genügte.

Die alleinige Sanierung der Risse reicht nicht aus, um die Tragfähigkeit der Binder zu erhöhen. Zudem reichte auch die Tragfähigkeit der Fundamente nicht mehr aus um die Einwirkungen aus Schnee und Wind sicher in den Baugrund abzutragen. Daraus ergaben sich folgende Sanierungsmassnahmen:

- Erneuerung der Fundamente
- Instandsetzen der Leimholzbinder
- Erhöhung der Biege- und Schubfestigkeiten der Binder
- Entlastung der bestehenden Pfetten

Die Erneuerung der Fundamente erforderte ebenfalls eine neue Einspannung der Bogenbinder. Für diesen Anschluss drängten sich Vollgewindeschrauben auf. Eine einfache Montage, eine hohe Krafterleitung und eine minimale Schwächung des bestehenden Holzquerschnittes sind die grossen Vorteile dieser Verbindung.



Abbildung 16: Einspannung vor dem Betonieren



Abbildung 17: Fertiger Binderfuss mit Sockel

Die Leimholzbinder wiesen zum Teil offene Leimfugen auf, welche die Schubfestigkeit beeinträchtigten. Als eine Sanierungsmöglichkeit bot sich das Auspressen der Fugen mit Epoxydharz an, wie es schon seit längerer Zeit im Stahlbetonbau üblich ist. Dadurch konnte das äussere Erscheinungsbild beibehalten sowie die Tragfähigkeit wieder hergestellt werden.

Für die Sanierung eines Trägers mit offenen Leimfugen muss das Bauteil in einen spannungslosen Zustand versetzt werden. Dies erreichte man mit Abspriessungen und leichtem Anheben des auskragenden Bauteils. Vor dem Auspressen der Fugen wurden diese mit einer Handfräse ausgefräst um die Fugen zu reinigen und von alten Leimrückständen zu befreien. Anschliessend erfolgte das Ausinjizieren der Fugen mit Epoxydharz. Bohrungen mit möglichst kleinem Durchmesser erlaubten das Einpressen des Harzes mit einer Handpresse. Nach erfolgter Injektion wurden die Löcher mit Holzzapfen verschlossen. Am Schluss wurden die Binder geschliffen und neu gestrichen.

Die Erhöhung der Biegefestigkeit konnte mit aufgeklebten Kohlefaserlamellen erreicht werden. Diese war die deutlich schlankere Lösung als zusätzliche Holzlamellen aufzukleben.



Abbildung 18:
Zweilagige Kohlefaserlamelle zur Biegezugverstärkung.

Um die Pfetten zu entlasten, wurde in der Feldmitte eine zusätzliche Pfette eingebaut. Die Pfetten wurden mit Gerbergelenken verbunden. Dadurch war es möglich die Pfetten einzubauen ohne das Dach abzudecken.

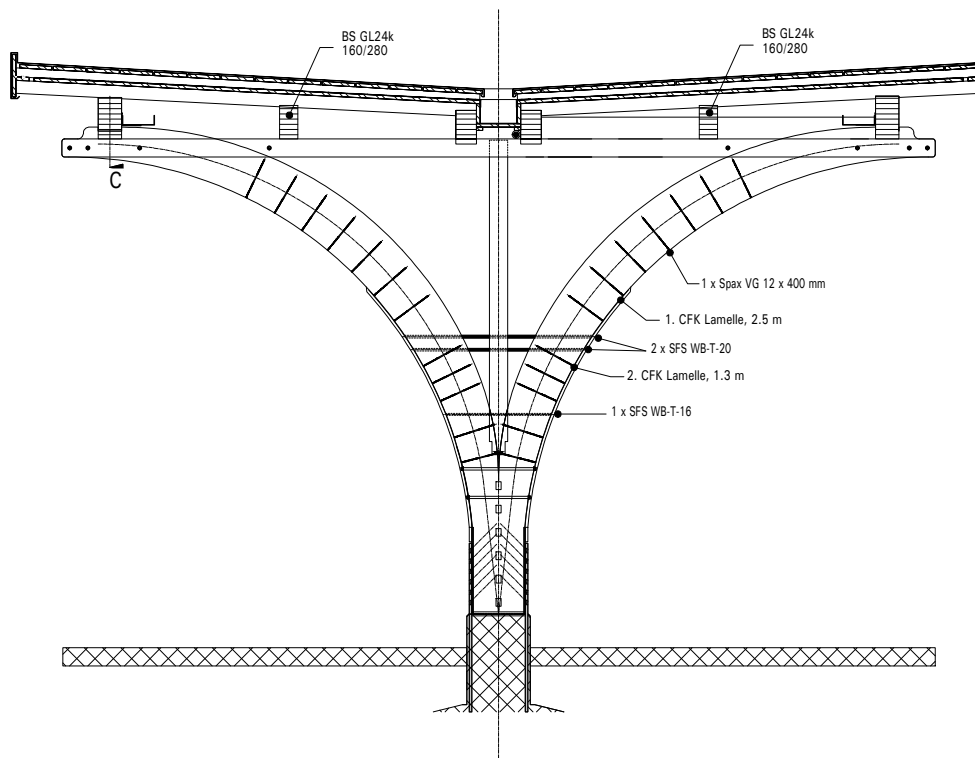


Abbildung 19: Schnitt Perrondach nach der Sanierung.

Zusammenfassung

Die Möglichkeiten zur Ertüchtigung von Anschlüssen und Bauteilen sind sehr vielfältig. Neben Holzwerkstoffen, verschiedenen Arten von mechanischen Verbindungsmitteln, wie eingeklebte Gewindestangen oder Vollgewindeschrauben, werden auch schlaff aufgeklebte kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) mit Erfolg eingesetzt. Insbesondere der Einsatz von Vollgewindeschrauben erleichtert die Arbeit gegenüber früher deutlich. Eine erfolgreiche Sanierung setzt voraus, dass bei Schäden die Schadensursache bekannt ist und dass der Planer sich mit den Sanierungsmassnahmen gut auskennt. Eine detaillierte Bestandesaufnahme ist die Grundlage für eine erfolgreiche Sanierung. Neben der handwerklichen Ausführbarkeit sind auch die wirtschaftlichen Aspekte mit einzubeziehen. In der Regel sind verschiedene Massnahmen erforderlich. Nutzungsvereinbarung, Projektbasis sowie die Unterhalts- und Überwachungspläne sind an die neuen Gegebenheiten anzupassen.

Literaturhinweise

- [1] Holzbautag Biel 08, Überwachung, Instandhaltung und Renovation von Bauten, 8. Mai 2008
- [2] Erler, Klaus, Alte Holzbauwerke, Beurteilen und Sanieren, 2.Auflage, Verlag für Bauwesen, 1997
- [3] Lissner Rug, Holzbausanierung, Grundlagen und Praxis der sicheren Ausführung, Springer-Verlag, 2000
- [4] SIA 269 Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken, 2011
- [5] SIA 269/1 Erhaltung von Tragwerken – Einwirkungen, 2011
- [6] SIA 269/5 Erhaltung von Tragwerken – Holzbau, 2011

