

# Zustandsbeurteilung von Klebfugen wetter- beanspruchter Holzbrücken

Anja Fischer, Walter Risi und Klaus Richter  
Abteilung Holz, Empa Dübendorf

überreicht von



**Purbond AG**

6203 Sempach-Station  
Switzerland  
Tel. +41 (0)41 469 68 60  
Fax +41 (0)41 469 68 70

[www.purbond.com](http://www.purbond.com)

**Purbond Inc.**

P.O. Box 8039  
Tacoma  
Washington 98418  
USA  
Tel. +1 800 585 6390  
Fax +1 866 585 7122

**Purbond**

Lot 8 Jalan Tukul 16/5  
40000 Shah Alam  
Selangor Malaysia  
Tel. +603 5519 1105  
Fax +603 5510 9718

# Zustandsbeurteilung von Klebfugen...

Anja Fischer, Walter Risi und Klaus Richter\*

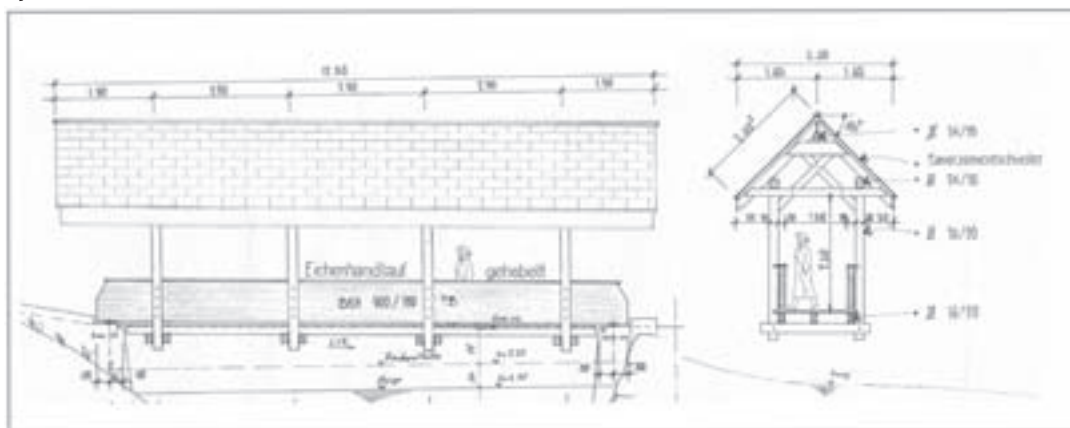
... wetterbeanspruchter Holzbrücken

## 1 Allgemeines

Die Holzabteilung der EMPA führt seit gut 20 Jahren periodische Kontrollen an wetterbeanspruchten Holzbauwerken durch mit dem Ziel, das Langzeitverhalten von frei bewitterten Holzbauteilen zu beurteilen und vorgeschlagene Maßnahmen zur Sicherung der Dauerhaftigkeit und Funktionssicherheit zu begleiten. Die insbesondere im Zusammenhang mit Holzbrücken gemachten Erfahrungen sind in [1] zusammengefasst. Neben der Beurteilung der baulichen, detailkonstruktiven und holzschutztechnischen Maßnahmen kommt der Beurteilung der Klebfugenqualität an BS-Holz-Trägern eine besondere Bedeutung zu. In den achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts standen vor allem Fragen zur Verträglichkeit von phenoplastischen Klebstoffen mit den damals eingesetzten lösemittelhaltigen bzw. wässrigen Holzschutzmitteln im Vordergrund. Heute werden zunehmend auch die Klebstoffe auf Polyurethanbasis in der Außenanwendung eingesetzt, über deren Eignung unter Praxisbedingungen nur sehr wenige Erfahrungen vorliegen. Im Rahmen von erweiterten Zulassungsprüfungen wurde bereits über das Langzeitverhalten unter kontrollierten Laborbedingungen ohne Bewitterung berichtet [3, 4]. Die Erfahrungen haben im Jahr 1995 dazu geführt, einkomponentigen Polyurethanklebstoffen die allgemeine Zulassung für tragende Bauteile nach DIN 1052 zu erteilen.

Im Auftrag der Purbond AG wurde eine Zustandserfassung an vier zwischen 1993 bis 1998 erstellten Holzbrücken in der Schweiz und in Deutschland durchgeführt. Dabei wurden die mit PUR-verklebten tragenden Holzbauteile beurteilt und die Qualität der Klebfugen untersucht. Die Erfassung erfolgte im Juli sowie August 2004, so dass eventuell vorhandene Delaminationen der Klebfugen sowie Schwindrisse maximal ausgeprägt erfasst werden konnten.

### 4.1.1 Brücke 1



## 2 Objekte

In *Tabelle 1 bis 4* sind die Erstellungs- und Ausführungsdetails der vier untersuchten Holzbrücken zusammengestellt. Es handelt sich um eine gedeckte und drei offene Holzbrücken für den Fußgänger- und Fahrrad (bzw. Skilanglauf)-betrieb. Alle Brücken sind als Einfeldträger ausgebildet und weisen Spannweiten zwischen 8 m und 23 m auf. Die Brückenplatte von Objekt 2 ist aus quer vorgespannten BS-Holz gefertigt, bei denen die Lamellen der BS-Holz-Träger mit Phenolharz, die Träger untereinander mit PUR verklebt sind. Die Brücken Nr. 3 und 4 sind vom System her baugleich, unterscheiden sich aber durch die für die BS-Holz-Verklebung eingesetzten Klebstoffsysteme (PF/PUR).

## 3 Untersuchungen

Die Zustandserfassung erfolgte anhand des in [1] beschriebenen Inspektionsprotokolls. Dieses sieht eine qualitative Beschreibung und fotografische Dokumentation der wichtigsten Brückenkomponenten vor: Auflagerbereiche, Haupt- und Sekundärtragkonstruktionen, Fahrbahnelag und -übergang, Stahlteile und Geländer. An kritischen Bereichen wurden Holzfeuchtemessungen vorgenommen. Gemäß der Ausrichtung der Untersuchung wurde eine detaillierte Erfassung und Ausmessung eventuell vorhandener offener Klebfugen vorgenommen, und Proben zur mikroskopischen Klebfugenbeurteilung sowie zur Ermittlung der Scherfestigkeiten nach EN 392 „Brettschichtholz-Scherprüfung der Leimfugen“ entnommen.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Allgemeine Zustandserfassung

\* (Dipl.-Ing (FH) Anja Fischer ist technisch-wissenschaftliche Mitarbeiterin, Holztechniker Walter Risi ist technischer Sachbearbeiter und Dr. Klaus Richter ist Leiter der Abteilung Holz der Empa, Materials Science and Technology, CH-8600 Dübendorf)

Tabelle 1 Kenndaten der untersuchten Brücken

Objekt 1: Fußgängerbrücke Walde / Kanton Aargau (CH)			
Allgemeine Daten			
Baujahr:	1993	Spannweite:	10,60 m
Stat. System:	Einfeldträger (Einfacher Balken)		
Konstruktion:	Gedeckte Holzbrücke, Querträger (Sekundärträger) an Hauptträger hochgehängt. Die gedeckte Brücke führt über einen Bach und ist von reichlich Vegetation umgeben. Die Brücke ist in NO-SW Richtung ausgerichtet.		
Baustoffe	Typ	Holzart (gemäß Projektbeschreibung)	Chem. Holschutz (gemäß Projektbeschreibung)
Hauptträger:	BSH (Purbond verleimt, lt. Angaben)	Tanne	Basilit-CFK-Kesseldruckimprägnierung
Sekundärträger:	Vollholz	Tanne	Basilit-CFK-Kesseldruckimprägnierung
Windverband:	Staifix-Rundstahl (12 mm)		
Geländer:	BSH	Tanne/Eiche	Basilit-CFK-Kesseldruckimprägnierung
Fahrbahn:	Bohlenbelag	Tanne	Basilit-CFK-Kesseldruckimprägnierung



Bild 1 Brücke 1, Ausschnitt aus Hauptträger mit intakten Klebfugen und Lamellenriss



Bild 2 Detailvergrößerung aus Bild 1



Bild 3 Brücke 1; sachgerechte Ausführung des Auflagers

### Hauptträger

Die in BS-Holz ausgeführten Hauptträger von Brücke 1 sind mit einer Trägerabdeckung aus gehobelter Eiche versehen. Die Trägerabdeckung fungiert als Handlauf und gewährleistet mit der angebrachten Querneigung einen sicheren Wasserabfluss nach außen. Die Klebfugen des Hauptträgers sind durchgängig intakt. Delaminationen konnten nicht beobachtet werden. Kleine Risse in den Holzlamellen waren an mehreren Stellen sichtbar (Bilder 1 und 2).

### Sekundärträger

Im Sekundärtragwerk bestehen sämtliche Querträger bei Brücke 1 aus Vollholz der Festigkeitsklasse (FK) II (gemäß SIA 165), ausgenommen der Pfosten mit FK I. Die Längsträger für den Bodenbelag sind aus BS-Holz (eingestuft in FK B, SIA 165) hergestellt und vom Windverband (Staifix Rundstahl  $\varnothing$  12mm) durchdrungen. Schädigungen der Konstruktion durch zu hohe Feuchte oder Organismenbefall wurden nicht festgestellt.

### Fahrbahnbelag

Die Fahrbahn ist in einem von oben geschraubten Bohlenbelag ausgeführt und weitgehend mängelfrei. Wenige unästhetische Punkte sind zu verzeichnen. So stehen einzelne Schrauben leicht hervor und Bohlen mit Fladerschnitt neigen zum Absplittern des Holzes.

### Auflager

Die sachgerechte Montage der Auflagerswellen gewährleistet reichlich Luftumspülung; sie sind frei von Bewuchs und weisen keine Mängel auf (Bild 3).

#### 4.1.2 Brücke 2

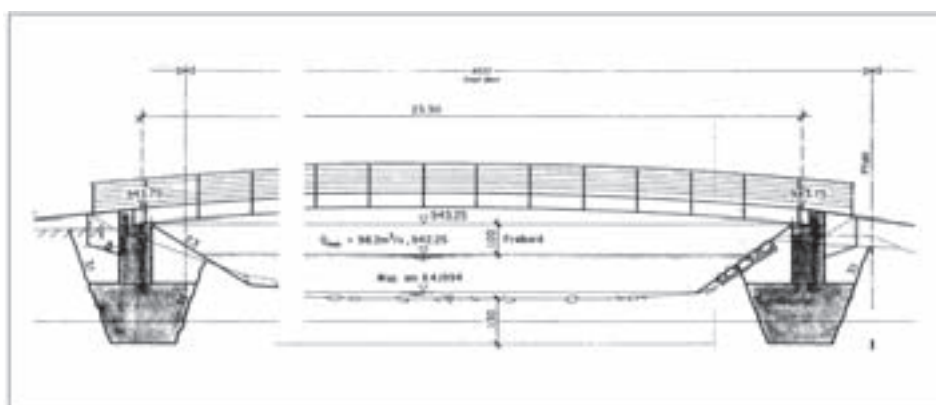


Tabelle 2 Fußgängerbrücke Grindelwald / Kanton Bern (CH)

Objekt 2: Fußgängerbrücke Grindelwald / Kanton Bern (CH)			
Allgemeine Daten			
Baujahr:	1994	Spannweite:	23,30 m
Stat. System:	Einfeldträger (Einfacher Balken)		
Konstruktion:	Offene Plattenbrücke aus quer vorgespanntem BSH (QX-System). Sie liegt mit geringer Höhe über dem Wasserspiegel und ist aufgrund des Standortes intensiv wetterbeansprucht.		
Masse der Brücke:	Ca. 11 t		
Baustoffe	Typ	Holzart (gemäß Projektbeschreibung)	Chem. Holschutz (gemäß Projektbeschreibung)
Hauptträger:	BSH (Phenolharz verleimt vorgespannt)	Tanne	Außenträger mit Xylamon druckimprägniert
Geländer:	Metall		
Fahrbahnbelag:	Gussasphalt		
Auflagerschwelle:	Vollholz	Eiche	

## Hauptträger

Der Hauptträger besteht aus BSH-Trägern, die durch in Querrichtung eingeklebte Vorspannstangen zu einer Platte zusammengespannt wurden. Die einzelne Lamellendicke der BSH-Träger beträgt 33 mm; die Gesamthöhe der Trägerplatte beträgt 53 cm. Die leicht überhöhte quer vorgespannte Trägerplatte aus BSH ist oberseitig mit einer 2K-Epoxidharzisolierung, Dachpappe und einem Gussasphalt versehen (Gesamthöhe ca. 4,5 cm). Seitlich ist der Hauptträger mit einer hinterlüfteten Holzverkleidung geschützt. Unterseitig ist die Konstruktion offen. Die einzelnen BSH-Träger sind mit Phenolharz verklebt. Die Vorspannung und Verklebung der nebeneinander liegenden BSH-Träger erfolgte in der Werkstatt des Holzbauers mit 1K Purbond Klebstoff.

Die Holzfeuchtemessungen ergaben Werte zwischen 16.1 % und 27.3 %, die Mehrzahl der Messungen lag unter 20 %. Vom Trend her ist erkennbar, dass die Holzfeuchtemessungen in 30 mm Tiefe und in Trägermitte leicht erhöht sind. Das kann mit der aufgetragenen, geschlossenenporigen dreischichtigen Anstrichbehandlung in Zusammenhang stehen (Schichtdicke ca. 800 µm), die eine Feuchteabgabe verzögert.



Bild 4 Anstrich auf Außenträger, Probenahme zur Schichtdickenmessung und Fugenbeurteilung

Unterseitig sind einzelne BSH Abschnitte aufgrund der hohen Feuchteexposition recht stark mit Algen und Moosen bewachsen. Dieser Bewuchs ist immer begrenzt auf einzelne Bretter, die Klebfugen sind nicht bewachsen.

## Bekleidung

Die seitliche Bekleidung des Hauptträgers ist in Stülpschalung ausgeführt. Die Befestigungsmittel der Verkleidung sind stark korrodiert.

## Geländer

Der Handlauf des Geländers ist in Lärche ausgeführt und teilweise stark gerissen und bereits erneuert.

## Fahrbahn

Der Belag (Gussasphalt) inklusive Isolation (Epoxidharz) wurde nach Angaben des Bauherren bereits erneuert. Erneute Beschädigungen waren nicht zu erkennen.



Bild 5 Ansicht von unten, sichtbar ist der partielle Bewuchs des BSH.

### 4.1.3 Brücke 3

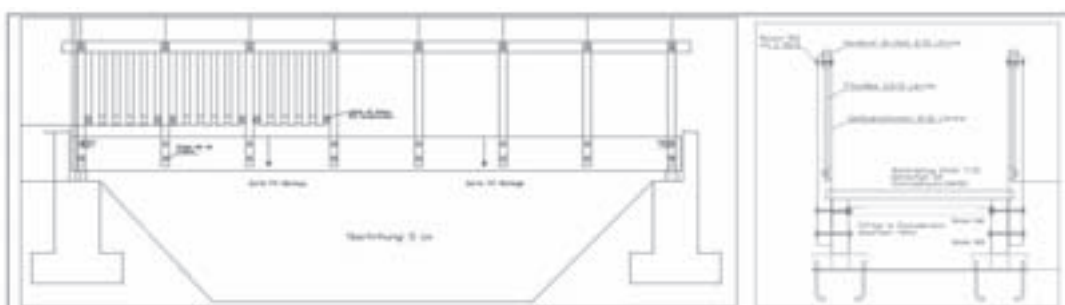


Tabelle 3 Fußgängerbrücke Gross Bieberau/ Hessen (DE) / Fischbach

Objekt 3: Fußgängerbrücke Groß Bieberau / Hessen (D) / Fischbach			
Allgemeine Daten			
Baujahr:	1998	Spannweite:	8,5 m
Stat. System:	Einfeldträger		
Konstruktion:	Offene Holzbrücke, Hauptträger durch Bitumenpappe und Bohlenbelag abgedeckt, unterseitiger Aussteifungsverband (Stahlstreben)		
Baustoffe	Typ	Holzart (gemäß Projektbeschreibung)	Chem. Holschutz (gemäß Projektbeschreibung)
Hauptträger:	BSH (Phenolharz verleimt lt. Angaben)	Lärche	Druckimprägnierung auf Ölbasis und 2-fach ausgeführte, diffusionsoffene, wasserabweisende Holzschutzlasur
Verband:	Diagonale Stahlstreben		
Geländer:	Handlauf BSH Füllstäbe	Lärche	
Fahrbahnbelag:	Geriffelte Bohlen	Eiche	unbehandelt

### Hauptträger

Die zwei BSH - Hauptträger haben eine Höhe von 46 cm und eine Lamellendicke von 25 mm.

Die Holzfeuchtemessung hat mit einer Ausnahme keine bedenklichen Messwerte ergeben. Ausgenommen davon ist das nördliche Auflager. Es zeigt sehr hohe Holzfeuchten (50 – 60 %) als Folge der schlechten Ausführungsarbeiten in diesem Bereich. Das Auflager ist nicht luftumspült ausgebildet und weist Erdansammlungen auf. Pilzbefall wurde aber noch keiner festgestellt.

### Unterbau

Die Stahlverstreben der Unterkonstruktion enthalten teilweise leichte Kalkablagerungen, sind aber dennoch in einem guten Zustand.

### Geländer

Der Handlauf des Geländers ist ebenfalls in BSH ausgeführt und weist eine Reihe großer Holzrisse auf. Eine Delamination der Kleb-

stoffugen ist nicht zu erkennen. Wie bei den Hauptträgern, verlaufen die Risse im Grenzbereich Fuge-Holz, beginnend in den Holzlamellen (Bild 6).

### Fahrbahn

Die Fahrbahn ist als geriffelter Bohlenbelag in unbehandelter Eiche ausgeführt. Hier sind deutliche Verwitterungsspuren sichtbar. Die Befestigung erscheint nicht als optimal, da Wasser in den Schraubenlöchern stehen bleiben kann.

### Auflager

Prinzipiell sind die Auflager gut ausgeführt. Unzureichend ist der Abstand des nordwestlichen Hauptträgers zum Betonsockel. Hier wurde nicht konsequent auf einen ausreichenden Abstand geachtet. So liegen der Hauptträger an der Nordwestseite mit der Hirnholzfläche direkt am Beton an; das Bauteil kann nicht austrocknen (Bild 7).



Brücke 6 Wetterbeanspruchter Handlauf mit Rissen in den Holzlamellen, die sich im Grenzbereich Klebstoffuge-Holzfortsetzen



Bild 7 Brücke 3; nördliches Auflager mit direktem Kontakt zum Betonsockel



Bild 8 Befestigung der Bohlen; Regen und Schmutz bleiben in Senklöchern stehen.



Bild 9 BSH-Träger mit Rissen in den Holzlamellen, nicht in den Klebefugen; auf Südseiten ein typisches Bild. Bekleidungen als Sonnenschutz, z. B. offene Verleistungen können dringend empfohlen werden.

4.1.3 Brücke 4

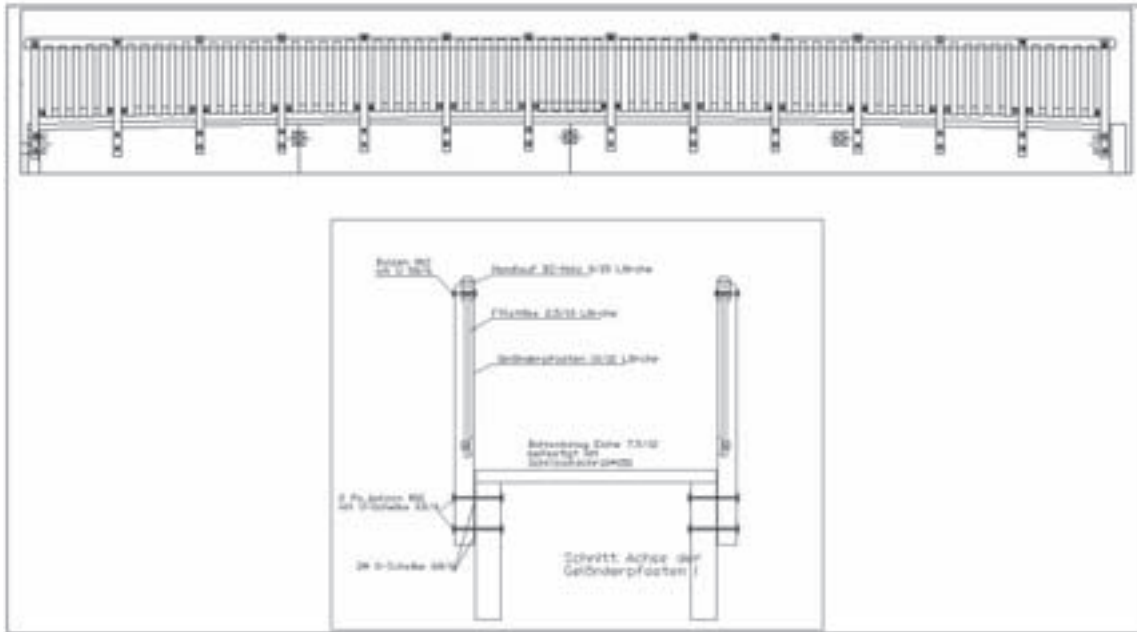


Tabelle 4 Fußgängerbrücke Gross Bieberau / Hessen (DE) / Im Briebel

Objekt 4: Fußgängerbrücke Groß Bieberau / Hessen (D) / Im Briebel			
<b>Allgemeine Daten</b>			
Baujahr:	1997	Spannweite:	15 m
Stat. System:	Einfeldträger		
Konstruktion:	Offene Holzbrücke, Hauptträger durch Bitumenpappe und Bohlenbelag abgedeckt, unterseitiger Aussteifungsverband (Stahlstreben). Die Vegetation im Ufer- und Auflagerbereich ist sehr üppig.		
<b>Baustoffe</b>	<b>Typ</b>	<b>Holzart</b> (gemäß Projektbeschreibung)	<b>Chem. Holschutz</b> (gemäß Projektbeschreibung)
Hauptträger:	BSH (Purbond verleimt, lt. Angaben)	Lärche	Druckimprägnierung auf Ölbasis und 2-fach ausgeführte, diffusionsoffene, wasserabweisende Holzschutzlasur
Verband:	Diagonale Stahlstreben		
Geländer:	Handlauf BSH Füllstäbe	Lärche	
Fahrbahnbelag:	Geriffelte Bohlen	Eiche	

**Hauptträger**

Die zwei BSH - Hauptträger sind als Einfeldträger ausgeführt. Sie haben eine Höhe von 86 cm und eine Lamellendicke von 25 mm. Delaminationen sind auch wie in der Brücke 3 als solche nicht beobachtet worden. Die sichtbaren Risse und Fugenöffnungen auf der Westseite beruhen ebenso auf einer starken Beanspruchung des Holzes durch Feuchteschwankungen und direkter Sonneneinstrahlung.

**Unterbau**

Die Stahlverstrebungen der Unterkonstruktion sind in einem guten Zustand.

**Geländer**

Der Handlauf des Geländers ist ebenfalls in BSH ausgeführt und weist auch hier eine Reihe großer Fugen auf, die keine reine Delamination darstellen. Wie bereits bei den Hauptträgern beschrieben, ist die klimatische Beanspruchung des Geländers sehr hoch. Gut gelöst ist der

Anschluss von Träger zu Geländer. Hier sind etwa 5 mm starke Metallscheiben hinterlegt, damit Schmutz sich nicht sammeln kann. Im vorderen Bereich ist das Geländer mechanisch beschädigt und partiell mit Moos bewachsen.

**Fahrbahn**

Die Fahrbahn ist als geriffelter Bohlenbelag in unbehandelter Eiche ausgeführt mit deutlichen Verwitterungsspuren. Durch die umstehende dichte Vegetation unterliegt diese Brücke einem recht feuchten Klima (Bild 10). Auch hier kann Wasser in den Senklöchern der Befestigungsmittel des Bohlenbelags Schaden anrichten.

**Auflager**

Es zeigt sich das gleiche Bild wie bei Brücke 3. Das südliche Auflager ist nicht mit ausreichend Abstand versehen. Erde und Nässe können sich hier ansammeln und der Träger damit nicht mehr austrocknen.



Bild 10 Brücke 4; Ansicht mit reichlich Vegetation



Bild 11 Klebfuge der Brücke 2 mit partieller Fehlverleimung, die ordnungsgemäß verklebten Fugen waren trotz teilweiser Veralgung der Brückenunterseite intakt.



Bild 12 Risse im stark beanspruchten Handlauf, eine Hirnholzabdeckung wäre zudem nützlich



Bild 13 zu dicht gelagertes Auflager; erste Zerstörungen sind sichtbar.

### Klebfugen

Die zwei Hauptträger von Brücke 1 sind außenseitig zwar der Bewitterung ausgesetzt, weisen jedoch keine Delaminationen auf. Einzelne Risse aufgrund von Querspannungen durch Schwindbewegungen wurden festgestellt, diese laufen aber ausschließlich im Holz, die PUR Klebfugen sind intakt (Bild 1).

Bei Untersuchung der Klebfugen der Brückenplatte von Brücke 2 konnten partiell offene Stellen gefunden werden. Die Detailanalyse ergab, dass es sich vermutlich nicht um eine Delamination, sondern um eine Fehlverleimung beim Herstellungsprozess handelt, da an diesen Stellen kein Leimaustritt zu beobachten war. Die Breiten der Fehlverleimungen bewegen sich um etwa 0.1 mm, die Tiefe (t) beträgt zwischen 0-8 cm und die Länge (l) der Fugen beträgt bis zu 4 cm (Bild 11).

Delaminationen an den Klebfugen von Brücke 3 und 4 konnten nicht beobachtet werden. Die sichtbaren Risse und Fugenöffnungen

auf den Westseiten beruhen auf starker Beanspruchung des Holzes durch die auftretenden Feuchteschwankungen und direkte Sonneneinstrahlung. Die so entstandenen Risse setzen sich dann im Grenzbereich Klebstofffuge - Holz fort. Die an den Brücken entnommenen Bohrkerne aus Klebfugen wurden im Labor analysiert. Die Klebstofffugen der PF Verklebung sind durchschnittlich ca. 300 mm dick und entsprechend dem Klebstofftyp PF dunkel gefärbt, die PUR Klebfugen sind ca. 140 mm dünn und hell gefärbt. Das mikroskopische Bild der Fugen wurde in allen Fällen als sehr gut beurteilt. Es konnten keine Mikrorisse oder Delaminationen festgestellt werden. Die Scherprüfung der Klebstofffugen erfolgte in Anlehnung an die EN 392 „Brettschichtholz-Scherprüfung der Leimfugen“. Die Messwerte sind in Tabelle 2 angegeben. Für eine vollumfängliche Beurteilung der BSH-Träger wäre eine größere Anzahl Proben nötig gewesen, die in der Anzahl nicht aus den Brücken hätte entnommen wer-

Tabelle 2 Scherfestigkeiten Brücken 3 und 4; Proben 1 – 4 PF, Proben 5 – 8 PUR

Proben Nr.	Abmessungen			K <sup>1)</sup>	Scherfestigkeit f <sub>v</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Scherfestigkeit f <sub>v</sub> korrigiert (N/mm <sup>2</sup> )	Holzfeuchte u (%)	Faseranteil (%)
	t (mm)	l (mm)	A (mm <sup>2</sup> )					
1	28,98	25,35	734,64	0,91	9,91	8,99	13,24	100
2	27,40	27,10	742,54	0,90	11,38	10,25	13,73	80
3	29,06	26,66	774,74	0,91	10,90	9,90	13,38	100
4	26,83	25,94	695,97	0,90	10,13	9,10	13,24	100
5	26,93	26,70	719,03	0,90	8,52	7,66	13,28	80
6	28,93	25,51	738,00	0,91	Probe bei Prüfung verkantet		13,82	-
7	21,09	27,61	582,29	0,87	11,45	9,99	13,28	60
8	28,54	26,70	762,02	0,91	9,93	8,99	13,60	20

<sup>1)</sup> Korrekturfaktor – korrigiert die Scherfestigkeit der Prüfkörper bei denen die Abmessungen t in Faserrichtung kleiner als 50 mm

den können. Die ermittelten Scherfestigkeiten liegen für die vier PF-Klebfugen im Mittel leicht höher als bei den PUR Klebfugen. Die Werte entsprechen jedoch insgesamt den Scherfestigkeiten der Literaturwerte von Lärche mit  $9 \text{ N/mm}^2$  [4].

Das Bruchbild der PF Fugen wurde als reiner Holzbruch beurteilt, während die Faserausrisse bei den PUR-Klebfugen deutlich geringer ermittelt wurden. So weist Probe 8 trotz hoher Scherfestigkeit einen sehr geringen Faseranteil auf. Aus wissenschaftlichen Untersuchungen über die Grenzflächenausbildung im Bereich der Klebstofffuge ist bekannt, dass bei PUR Klebstoffen keine gute Korrelation zwischen der Scherfestigkeit der Klebfugen und dem Faserausrisse besteht [5]. Die gegenüber der PF-Verklebung leicht reduzierten Scherfestigkeiten der PUR-Proben sind vor dem Hintergrund zu interpretieren, dass Lärchenholz durch seine hohen Anteile an wasserlöslichen Extraktstoffen (Arabinogalactan) als schwierig zu verklebende Holzart gilt, insbesondere wenn hohe Feuchtebelastungen auftreten, wie sie in den Belastungszyklen A4 und A5 der Normprüfungen EN 302 Teil 1 simuliert werden. Dies wurde an eigenen Untersuchungen zum Benetzungs- und Eindringverhalten von 1K-PUR Systemen auf Holzoberflächen und deren Auswirkung auf die Qualität von Holzverklebungen bestätigt [6]. Die hier vorgenommene Untersuchung von freibewitterten Lärchenholzverklebungen mit PUR zeigt, dass die Klebfugenfestigkeit des eingesetzten 1K-PUR Klebstoffes trotz ungünstiger Rahmenbedingungen eine gute Qualität aufweist.

### 5 Schlussfolgerungen

Die vier Brücken sind seit ihrer Erstellung zwischen 5 und 10 Jahre bewittert. Im Allgemeinen sind alle vier Brücken in einem guten Zustand. Sie geben ein gutes Beispiel dafür, dass die geforderte Kombination von konzeptionellen Details und technischen Maßstäben eine Grundvoraussetzung für die Dauerhaftigkeit und Funktionalität von Brückenelementen ist. Wo die prinzipiellen Maßstäbe nicht eingehalten worden sind, konnten höhere Holzfeuchten gemessen werden, welche die Voraussetzung für eine biologische Schädigung mit Gefährdung der Sicherheit und Tragfähigkeit darstellen. Das Grundprinzip des umfassenden Holzschutzkonzepts sieht eine Kombination von aufeinander abgestimmten planerischen, baulichen, materialtechnischen und schutztechnischen Massnahmen vor, die stets auch von Erhaltungsmaßnahmen und einem Unterhaltsplan zu ergänzen sind. Dass insbesondere die beiden jüngeren untersuchten Brücken stellenweise erhöhte Holzfeuchten aufweisen, zeigt deutlich, dass im Bereich der Ausführung Prinzipien missachtet und der Unterhaltsaufwand vernachlässigt wurde.

Die detaillierte Untersuchung der Klebstofffugen der BSH-Träger und der vorgespannten BSH-Platte ergab weder in der PF-Verklebung noch in der PUR-Verklebung Anzeichen von Delaminationen. Brücken 3 und 4 zeigten aufgrund starker Wetterbeanspruchung einige Risse in den Hauptträgern, die ihren Ursprung jedoch im Holz hatten.

Die Klebstofffugendicken von Brücken 3 und 4 wurden stichprobenartig gemessen. Die PF-Klebstofffuge ist mit  $0.3 \text{ mm}$  doppelt so dick als die PUR-Klebstofffuge mit  $0.14 \text{ mm}$ .

Die Scherfestigkeitsprüfungen an den stichprobenartig entnommenen Bohrkernen der Brücken 3 und 4 bekräftigten den insgesamt guten Zustand der Klebstofffugen. Die Messwerte der PUR getesteten Fugen sind etwas geringer als die der PF-Klebfugen und weisen geringere Faserbruchanteile auf, die Scherfestigkeit entspricht jedoch der Scherfestigkeit des Holzes. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund von Bedeutung, dass die untersuchten Träger von Brücke 4 aus Lärchenholz gefertigt sind, einer aufgrund seiner Extraktstoffe allgemein als schwierig zu verklebenden Holzart. Trotz dieser ungünstigen Rahmenbedingungen erweist sich die Verklebung unter Praxisbedingungen als ausreichend gut.

### 6 Literatur

- [1] Finger A., Meili M., Dauerhaftigkeit von offenen Holzbrücken(115/49), Forschungs- und Arbeitsbericht Empa, Abteilung Holz (2002) p 94 u. Anhang
- [2] Sell J., Kropf F., Erfahrungen mit neueren Holzbrücken in der Schweiz, insbesondere mit dem Einsatz von vorimprägnierten Brettschichtholz. Tagungsband, 18. Holzschutztagung der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (1989) p 83-92
- [3] Radovic B., Goth H., Einkomponenten-Polyurethan-Klebstoffe für die Herstellung von tragenden Holzbauteilen, Bauen mit Holz 1, (1994) 22-23.
- [4] Radovic B., Rothkopf C., Eignung von 1K-PUR Klebstoffen für den Holzbau unter Berücksichtigung von 10-jähriger Erfahrung, Bauen mit Holz 6, (2003) 36-40.
- [5] Mömbacher R., Augustin H., Holz-Lexikon Nachschlagewerk für die Holz- und Forstwirtschaft, DRW-Verlag, Stuttgart (1988)
- [6] Schirle M.A., Kuenniger T., Fischer A., Richter K., Charakterisierung und Optimierung der Holzverklebung mit 1 Komponente Polyurethan (1K-PUR) Klebstoffen(KTI-Abschlussbericht 4126.1), EMPA Duebendorf, Abteilung Holz (2002) p
- [7] Richter K., Schirle M.A., Behaviour of 1 K PUR adhesives under increased moisture and temperature conditions, Lignovisionen 4, (2002) 149-154.