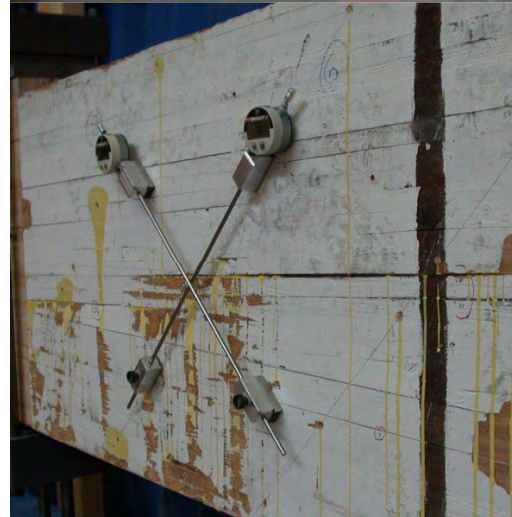
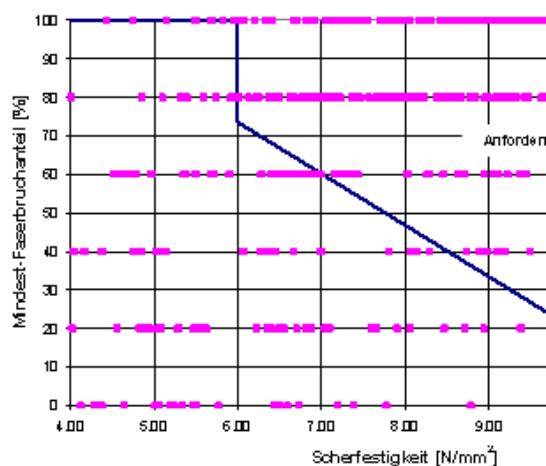
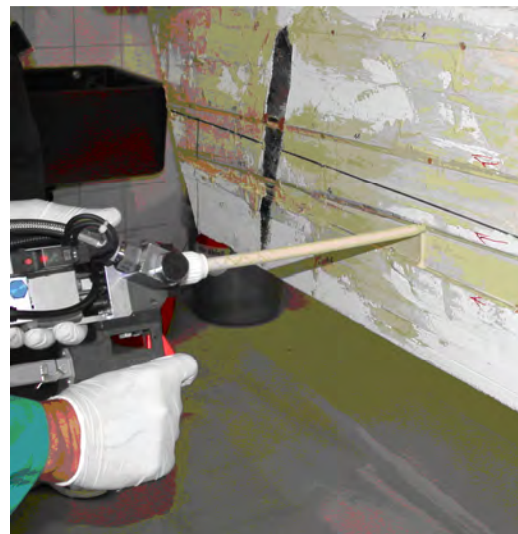


WHFF Projekt Nr. 2007.05

**Klebstofftechnische Sanierung von Brettschichtholz:
Ergänzende Untersuchungen zur Ermittlung der
statischen Wirksamkeit von Klebfugensanierungen**

Wissenschaftlicher Schlussbericht



Dr. K. Richter, W. Risi, Prof. E. Gehri (Kap. 6)

Inhalt

1	Problembeschreibung	3
2	Klebstofftechnische Sanierung	7
2.1	Ausgewählter Träger	7
2.2	Zustandsaufnahmen und Sanierung am Objekt	7
2.2.1	Zustandsaufnahme der Delaminationen durch Empa	7
2.2.2	Reinigung der Fugen durch Purbond AG	8
2.2.3	Verspachteln/schliessen der Fugen durch Purbond AG	8
2.2.4	Ausbau des Trägers und Einbau des Ersatzträgers durch die Frutiger AG	8
2.3	Sanierung im Labor	9
2.3.1	Verspachteln/schliessen der Fugen durch Purbond AG	9
2.3.2	Fugen verfüllen/vergiessen durch Purbond AG	10
3	Zuschnitt der Prüfkörper	12
4	Ergebnisse	13
4.1	Fugenöffnungen vor der Sanierung	13
4.2	Delaminationen der Querschnittscheiben	15
4.3	Scherprüfung	19
4.4	Fugenöffnung und Scherfestigkeit	23
4.5	Delaminationsprüfung	24
5	Beurteilung der Fugenfüllung	25
6	Untersuchung zur Wirksamkeit einer stabförmigen Verstärkung (Bericht basierend auf einem Entwurf von Prof. E. Gehri)	26
6.1	Trägerabschnitt Aebimatt	26
6.2	Prüfung „Originalzustand“	27
6.2.1	Prüfkonfiguration	27
6.2.2	Krafteinleitung senkrecht zur Faser	28
6.2.3	Messungen	28
6.2.4	Belastungsversuch	29
6.2.5	Auswertung der Ergebnisse	30
6.3	Stabförmige Verstärkung	31
6.3.1	Untersuchte Möglichkeiten	31
6.3.2	Verstärkung von Teil 1	31
6.3.3	Verstärkung von Teil 2	32
6.3.4	Prüfkonfiguration	32
6.3.5	Prüfung	33
6.3.6	Schubverformung	33
6.3.7	Betrachtung der „Zugdiagonalen“	34
6.4	Folgerungen	35
6.4.1	Erfassung der Restfestigkeit	35
6.4.2	Wirkung von stabförmigen Verstärkungen	35
6.4.3	Schraube versus GSA-Anker	36
7	Zusammenfassung	37
	Literatur	40
	Danksagung	40
	Beilage 1	41
	Beilage 2	42

1 Problembeschreibung

Auf Grund grösserer realisierbarer Spannweiten und besserer Masshaltigkeit wird in Holztragwerken häufig Brettschichtholz (BSH) eingesetzt. BSH ist ein bewährter Baustoff mit hervorragenden Eigenschaften [1]. Die Herstellung erfolgt qualitätsgesichert nach festgelegten Normen. In der Schweiz sind die "Richtlinien für die Herstellung von Brettschichtholz" der Schweizerischen Fachgemeinschaft Holzleimbau SFH massgebend [2]. Zunehmend werden auch andere verklebte tragende Holzbauteile eingesetzt, wie z.B. Duo- oder Triobalken.

Trotz der vorgegebenen Verarbeitungsrichtlinien und dem sich einspielenden Konzept der Eigenüberwachung können Rissbildungen in BSH Trägern nach dem Einbau nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Diese Risse, die teils in den Klebfugen (offene Fugen), teils im Holz der Lamellen verlaufen, können u. a. auf Fehler bei der Herstellung beruhen (Missachten der Verarbeitungsvorschriften), auf unzulässige Klebstoffqualität zurückführbar sein, durch zu hohe Feuchteaufnahmen bei Transport, Lagerung und Einbau ausgelöst sein oder das Überschreiten der aufnehmbaren Querkzug- oder Schubspannungen nach dem Einbau (meist bei ausserplanmässiger Beanspruchung). Die Empa musste in den vergangenen Jahren bei Bauwerksüberwachungen immer wieder offene Fugen an BSH feststellen (Bild 1).

Durch die Produktverantwortung haben sowohl Hersteller von BSH und Klebstofflieferanten, als auch die Bauwerkseigentümer (nach Ablauf der Gewährleistungsfristen) ein grosses Interesse an verlässlichen Methoden und Produkten zur Sanierung von Rissen in BSH. Diese sollen es erlauben, auch bereits eingebaute Träger so zu sanieren, dass der erforderliche Tragwiderstand wiederhergestellt wird. Als Verfahren bieten sich grundsätzlich an:

- Verstärkung mit mechanischen Verbindungsmitteln (Nägel, Schrauben, Nagelplatten, Bolzen, Stabdübel, Gewindestangen), in der Regel als Querkzug- oder Schubverstärkungen;
- Verstärkung mit aufgeklebten (HWS)-Platten (Furnierplatten, Brettsperrholzplatten);
- Sanieren durch Verfüllen der Risse und Fugen mit Kunstharzen (Klebfugensanierung).

Weil die mechanischen Verstärkungen das äussere Erscheinungsbild der BSH Elemente verändern, ggf. gar beeinträchtigen, Bohrlöcher zudem eine Querschnittsreduktion bewirken, und deren Installation meist eine gute Zugänglichkeit der Bauteile erfordert, sind Klebfugensanierungen elegante weil wenig aufwendige, und visuell nicht unmittelbar erkennbare Verfahren, die in den letzten Jahren im Zusammenhang mit Mängeln vor allem im Wohn- und Verwaltungsbauten zunehmend nachgefragt wurden.



Bild 1: Offene Fugen an einem gekrümmten BSH Träger

Während die Kunstharzsanierung im Betonbau zum Abdichten gegen Feuchte und als Korrosionsschutz bei Spannstählen langjährig angewendet wird und als erprobt gilt, sind Sanierungen von Klebfugen im Holz im deutschsprachigen Raum ausschliesslich auf ein Epoxidharz-System beschränkt, das im Rahmen einer umfassenden Untersuchung an der FMPA Stuttgart [3, 4] erprobt und empfohlen wurde. Es wurde im Januar 2010 unter der Nr.Z /-9.1-750 zur Instandsetzung von tragenden Holzbauteilen vom Deutschen Institut für Bautechnik zugelassen. Auch im angelsächsischen Sprachraum werden fast ausschliesslich Epoxid-Klebstoffe als Sanierungsharze eingesetzt [5].

Weil sich im Rahmen der BSH-Produktion in der Schweiz die nationale Klebstoffindustrie ein spezifisches Know-how in der Polyurethan-Klebstoffchemie aufgebaut hat, wurde inzwischen ein 2- Komponenten PUR System zum erweiterten Einsatz im Holzbau entwickelt. Es besteht aus a.) einem Harz zum Verspachteln/Schliessen der Risse/Fugen am Rande (Vorarbeit, Produkt PURBOND VN3040 (pastös); und b.) einem Harz zum Verfüllen/Vergiessen der verschlossenen Risse/Fugen mittels Injektionstechnik (Produkt PURBOND VN3064 (flüssig)). Das Giessharz wurde primär für die Verklebung von Gewindestangen im Holz entwickelt und zeichnet sich daher durch gute fugenfüllende Eigenschaften sowie ausreichende Scherfestigkeiten aus. Es bietet sich an, dieses Harz auch als Sanierungsharz einzusetzen und damit die Palette der geeigneten Systeme zu erweitern. Dazu hat der Klebstoffhersteller die notwendigen Klebstoffparameter in Laborversuchen bei verschiedenen Prüfinstituten untersuchen lassen (FMPA Stuttgart (D), CTBA Bordeaux (F)). Im Mai 2010 hat das Deutsche Institut für Bautechnik für das Giessharz Purbond CR 421 die Zulassung für das Einkleben von Stahlstäben in tragende Holzbauteile gegeben [6].

Im Rahmen des hier beschriebenen Projektes wurde dieses Klebstoffsystem eingesetzt, um das Potential für eine statisch wirksame klebstofftechnische Sanierung von offenen Klebstofffugen an BSH-Trägern des Lokdepots Aebimatt in Bern zu evaluieren. Dieses Bauwerk besteht aus vier aneinander gereihten Hallen mit Spannweiten von rund 20 bis 25 m und wurde im Jahr 1912 erstellt. Die Hauptträger bestehen aus gebogenen BSH-Trägern, die mit Kasein-Leim verklebt wurden. Sowohl über die Konstruktion als auch über die – zum damaligen Zeitpunkt – umfassend durchgeführten Prüfungen wurde eingehend berichtet [7]. Heute weisen die Träger stellenweise deutliche Delaminierungen der Klebstofffugen auf, und an mehreren Stellen wurden in der Vergangenheit lokale Verstärkungen (Metallumschnürungen) angebracht. Aus der Literatur geht allerdings hervor, dass die heute offenen Klebfugen in Folge zu hoher Einbaufeuchte schon in der ersten Phase der Hallennutzung aufgetreten sind. Dies bestätigt ein Bericht von Wilson aus dem Jahr 1939 [8]. Weitere Zustandsbeurteilungen des Dachtragwerks erfolgten durch die EMPA im Jahr 1943 (Bericht Nr. 8928) und 1967 (Bericht Nr. 61771).

Im Nachgang des Halleneinsturzes der Eissporthalle in Bad Reichenhall im Januar 2006 haben die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB), Abt. Infrastruktur erneut eine Überprüfung des Zustands der Träger in Auftrag gegeben. Zunächst wurde durch die Abteilung Holz der Empa eine stichprobenweise Erfassung des optischen Zustandes einzelner Träger erstellt (s. Bild 2; Empa Prüfbericht 443370). Der Bericht bestätigt, dass die grossen Delaminationen schon seit Jahren vorhanden sind, empfiehlt aber gleichwohl die statische Ausnutzung der Binder unter Berücksichtigung der Delaminationen rechnerisch zu bestimmen (soweit möglich) und die Resttragfähigkeit des Kaseinklebstoffs zu ermitteln. Darauf hin hat die Abt. Infrastruktur der SBB einen Auftrag zur Ermittlung der Tragsicherheit des BLS Depots Aebimatt in Auftrag gegeben (ausführende Firma Timbatec, Steffisburg). Im Rahmen dieses Auftrags sollten auch Anhaltspunkte für mögliche Sanierungsvarianten ausgearbeitet werden (Auswechselung aller Träger, klebstofftechnische Sanierung, Verstärkung der kritischen Stellen etc.). Um insbesondere die fehlenden Grundlagen für eine klebstofftechnische Sanierung zu erarbeiten, hat die Bauherrschaft (SBB) eine Probesanierung als Auftrag vergeben. Das Sanierungsteam aus Holzbauexperten, Klebstofftechnologien und der Bauherrschaft strebte an, die Sanierung in einem Vorprojekt holztechnologisch begleiten zu lassen, um dabei

- das neue polyurethanbasierte Klebstoffsystem unter Praxisbedingungen einzusetzen
- die Erfahrungen einer Klebfugensanierung am Objekt holztechnologisch zu begleiten
- die statische Wirksamkeit der Sanierung durch Analyse an ausgebauten Trägerabschnitten nachzuweisen
- Anhaltspunkte für die Qualitätverbesserung und –kontrolle der umfassenden Sanierung zu erhalten.

Zur Vorabklärung für eine Klebstoffsanierung wurden von der Empa Abteilung Holz an 12 Bohrkernen aus von aussen als intakt eingestuften Klebfugen die (Rest)Scherfestigkeit der Kaseinleimverleimung ermittelt (nach EN 392:1995 ‚Brettschichtholz – Scherprüfung der Leimfugen‘; Empa Bericht Nr. 445056). Von den

12 Bohrkernen versagte ein Bohrkern bei der Entnahme bzw. Präparation, weil die Verklebung im Inneren des Bohrkerns unzureichend war. Die auswertbaren Bohrkern wurden senkrecht zur Entnahmerichtung in eine äussere und innere Hälfte geteilt und geprüft. Die Proben ergaben mittlere Scherfestigkeiten von 8.9 N/mm^2 bzw. 9.3 N/mm^2 und Holzbruchanteile von 77.5% und 89.1%, unterschieden für die äusseren und inneren Teile der Träger. Damit waren die Anforderungen an die Scherfestigkeiten (nach EN 386: 2001 ‚Brettschichtholz - Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung‘) für intakte und auswertbare Klebfugen erfüllt. Dies wurde als Voraussetzung für die Sinnhaftigkeit einer Sanierung der delaminierten Fugen der Träger angesehen.



Bild 2: Träger des Lokdepots Aebimatt mit deutlichen Delaminationen der Klebfugen

2 Klebstofftechnische Sanierung

2.1 Ausgewählter Träger

Für die Sanierung wurde der obere Teil des Trägers in der Achse 5 (zwischen den Geleisen 4 und 5) in der Halle 1 ausgewählt (Bild 3). Der Zustand des Trägers wurde im September / Oktober 2006 untersucht. Er ist im Empa-Bericht Nr. 443'370 als Träger mit erheblichen Delaminationen beschrieben.

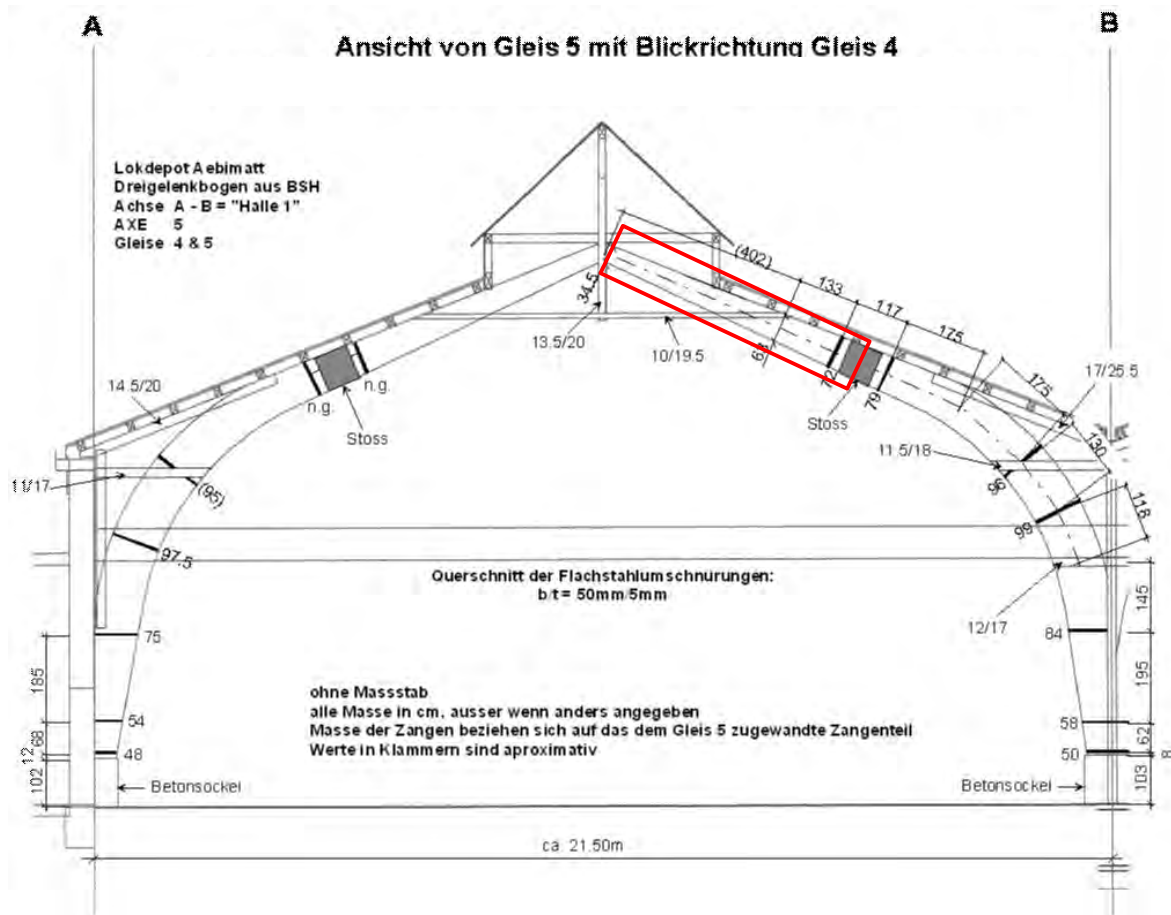


Bild 3: Ansicht eines Dreigelenk-Trägers mit eingrahmter Stelle der Probesanierung

2.2 Zustandsaufnahmen und Sanierung am Objekt

Zur Ausführung der Sanierungsarbeiten wurde durch die Firma Frutiger AG ein Podest erstellt (Bild 4). Danach wurden die unter 2.2.1 bis 2.2.4 beschriebenen Arbeiten ausgeführt.

2.2.1 Zustandsaufnahme der Delaminationen durch Empa

Die Aufnahme erfolgte durch punktuelles Messen der offenen Fugentiefe und -breite. Die Messung der Risstiefe erfolgte mit einer Fühllehre mit einer Dicke von 0.2mm. Die Messwerte wurden auf die Trägeroberfläche geschrieben. Anschliessend wurden Transparentpapiere auf die Trägeroberflächen gespannt und die Länge, Tiefe und Breite der Delaminationen auf die Papiere übertragen. Die Ergebnisse sind unter 4.1 (Tab. 1 und 2) aufgelistet.

2.2.2 Reinigung der Fugen durch Purbond AG

Es war vorgesehen, die offenen Klebfugen mit Flüssig-CO₂ zu reinigen. Diese Arbeit hat sich als nicht praktikabel erwiesen, weil sich folgende Schwierigkeiten gezeigt haben:

- Die abrasive Methode führte teilweise zu grossem Holzabtrag.
- Kleine Fugen konnten nicht vollständig gereinigt werden.
- Der zeitliche Aufwand zur Reinigung einer Fuge ist viel zu gross und ist deshalb beim vorhandenen Umfang der Träger-Delaminationen nicht mehr wirtschaftlich.

2.2.3 Verspachteln/schliessen der Fugen durch Purbond AG

Zur Erfassung der erschwerten Bedingungen im verbauten Zustand wurde ein Teil des Trägers vor Ort verspachtelt. Der restliche Teil dieser Arbeiten wurden im Labor der Empa ausgeführt (siehe 2.3).

2.2.4 Ausbau des Trägers und Einbau des Ersatzträgers durch die Frutiger AG

Der Träger wurde nach dem Ausbau zur Untersuchung an die Empa Dübendorf transportiert.



Bild 4: Hallendach im Firstbereich mit Podest zur Sanierung und Auswechslung des Trägers

2.3 Sanierung im Labor

2.3.1 Verspachteln/schliessen der Fugen durch Purbond AG

Die Verspachtelung zum Verschliessen der Oberflächen erfolgte mit einem 2-Komponenten-Polyurethanharz (PURBOND VN 3072 (VN 3040), Technisches Datenblatt siehe Beilage 1). Dabei wurde das Harz aus Kartuschen oberflächlich in die Fugen gespritzt und verspachtelt (Bild 5 und 6).

Der Träger wurde im eingebauten Zustand auf der Hallenseite, und im Labor auf der Lagerseite - jeweils vom Firstteil ausgehend bis zirka zur Mitte in Trägerlängsrichtung gesehen - verspachtelt.



Bild 5: Injektionswerkzeug mit eingesetzten Kartuschen zum Verschliessen der Oberflächen



Bild 6: Verspachteln der Fugen

2.3.2 Fugen verfüllen/vergiessen durch Purbond AG

Zum Verfüllen der Delaminationen wurden in einem Abstand von 10 bis 15cm zirka 60mm tiefe Löcher mit einem Durchmesser von 6mm in die Fugen gebohrt (Bilder 7 und 9). Der Abstand der Löcher wurde auf 10 bis 15cm festgelegt, so dass das Harz beim Ausspritzen bis zum nächsten Loch gepresst wurde.

Nach dem Bohren wurden die Löcher mit einem Industriestaubsauger abgesaugt (Bild 8). Das Verfüllen der Fugenöffnungen erfolgte mit einem 2-K- Polyurethanharz (PURBOND CR 421 (VN 3064), Technisches Datenblatt siehe Beilage 2) bei 25 °C / 40 bis 45 % rel. Feuchte. Dazu wurde eine speziell entwickelte pneumatische Einrichtung eingesetzt (Bilder 10 und 11). PURBOND VN 3064 basiert auf der gleichen Rezeptur wie PURBOND VN 3040 (pastös).



Bild 7: Bohren der Löcher zum Verfüllen der Fugenöffnungen



Bild 8: Absaugen der Bohrlöcher mit Industriestaubsauger

Die gefüllten Löcher wurden mit einem Buchenholzdübel von zirka 2cm Länge verschlossen.

Sowohl das Verschliessen der Fugen, wie auch das Ausspritzen der Fugenöffnungen erforderte wegen der kurzen Verarbeitungszeit des gemischten Harzes ein zügiges Arbeiten. Nach dem Verfüllen der Fugen wurde der Träger erst wieder nach 10 Tagen Aushärtezeit bearbeitet.



Bild 9: Trägeroberfläche mit Bohrlöchern



Bild 10: Injektionswerkzeug zum Verfüllen der Delaminationen



Bild 11: Ausspritzen einer Delamination durch ein gebohrtes Loch

3 Zuschnitt der Prüfkörper

Die Abmessungen des ausgebauten Brettschichtholz-Trägers aus Fichten-/Tannenholz sind in Bild 12 dargestellt. Der Träger wurde, vom First her bis zirka zur Mitte in Trägerlängsrichtung saniert. Die Sanierung des restlichen Teils des Trägers wurde zurückgestellt. Aus dem sanierten Teil wurden gemäss Bild 13 Querschnittscheiben von 50mm und 75mm Faserlänge geschnitten. Aus den Querschnittscheiben mit einer Faserlänge von 50mm wurden später Scherproben hergestellt (Bild 14). Die 17 Querschnittscheiben mit einer Faserlänge von 75mm wurden für die Delaminierungsprüfung der PURBOND AG zugestellt.

Weil beim Zuschnitt Rücksicht auf im Träger vorhandene Schrauben und Nägel genommen werden musste, bestehen zwischen dem unteren, mittleren und oberen Teil der Querschnittscheiben mit gleicher Nummer Verschiebungen in der Längsachse des Trägers. Aus dem oberen Bereich wurden 40, aus dem mittleren 44 und aus dem unteren Bereich 46 Querschnittscheiben geschnitten.

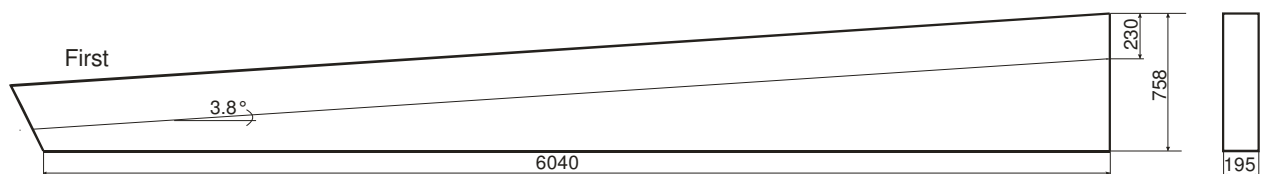


Bild 12: Abmessungen des ausgebauten Brettschichtholz-Trägers in mm. Die Holzfasern der oberen 10 Lamellen (230mm) verlaufen parallel zur oberen Trägerkante, die Holzfasern der restlichen Lamellen verlaufen parallel zur unteren Trägerkante.

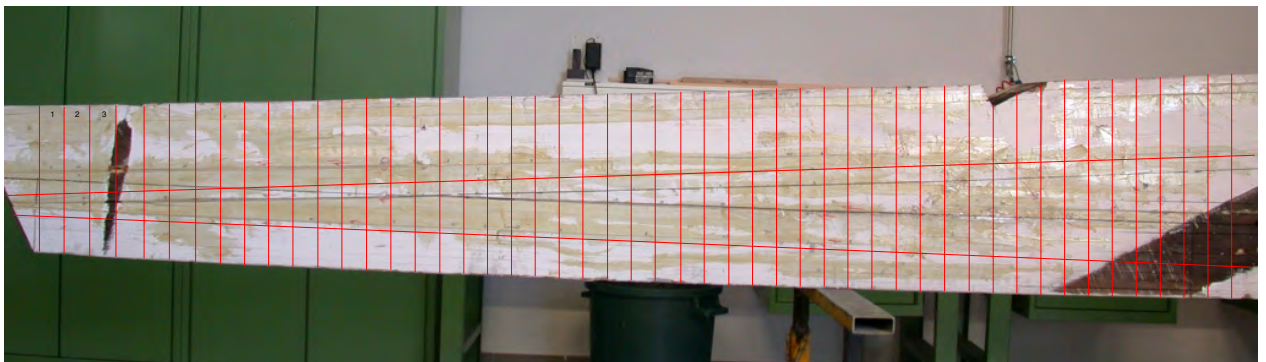


Bild 13: Brettschichtholz-Träger mit schematisch eingezeichneten Zuschnittlinien. Die Querschnittscheiben wurden vom First her (im Bild von links her) fortlaufend nummeriert.

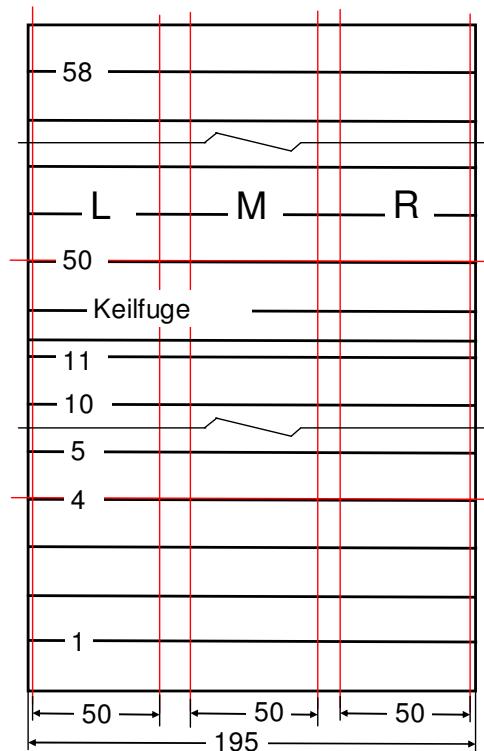


Bild 14: Beispiel einer beschrifteten Querschnittsplatte (schematisch) mit Zuschnittlinien (rot) und Fugennummern (1 bis 58). Aus jeder Platte wurde ein Streifen links (L), aus der Mitte (M) und rechts (R) entnommen. Bei der Keilfuge verläuft die Holzfasern bei einem Teil des Prüfkörpers nicht parallel zur Klebfuge.

4 Ergebnisse

4.1 Fugenöffnungen vor der Sanierung

In der Tabelle 1 sind die Delaminationen auf der Seite des Geleises 5, in der Tabelle 2 die Delaminationen auf der Seite des Geleises 4 aufgelistet.

Die gesamte Länge der Delaminationen des Trägers auf der Seite des Geleises 5 ist mit 13,5m gegenüber 4,8m wesentlich grösser als diejenige auf der Seite des Geleises 4. Dabei sind vor allem die grossen Delaminationen der Fugen 5, 8, Keilfuge (KF) und 52 auf der Seite des Geleises 5 massgebend.

Tabelle 1: Delaminationen des Trägers auf der Seite des Geleises 5 am 25.04.2007 (First bis Anschluss Zange)

Fuge	Gesamtlänge [mm]	Tiefe max. [mm]	Breite max. [mm]	Abstand First [mm]	
				von	bis
58	280	70	2.0	740	1020
58	530	15	1.0	1780	2310
57	120	15	0.8	80	200
57	550	10	1.2	280	830
57	1460	20	1.6	850	2310
57	160	30	1.0	2610	2770
57	260	50	2.0	3300	3560
53	250	20	1.0	2130	2380
52	1540	110	7.0	-90	1450
52	440	20	0.5	1540	1980
52	260	80	1.8	2000	2260
51	770	20	1.0	2070	2840
KF	1150	>150	6.0	-40	1110
KF	500	30	1.1	1610	2110
10	140	30	1.4	2370	2510
8	1750	>150	7.0	1050	2800
6	550	50	1.2	2180	2730
5	1930	>150	3.0	250	2180
3	500	25	0.8	-10	490
2	100	25	0.4	1150	1250
2	140	20	0.4	1880	2020
2	110	20	0.4	2050	2160

Tabelle 2: Delaminationen des Trägers auf der Seite des Geleises 4 am 25.04.2007 (First bis Anschluss Zange)

Fuge	Gesamtlänge [mm]	Tiefe max. [mm]	Breite max. [mm]	Abstand First [mm]	
				von	bis
57	260	40	0.4	720	980
57	190	25	0.2	1540	1730
56	420	15	0.6	-10	410
56	120	10	0.5	590	710
55	320	10	0.4	1200	1520
53	65	50	0.4	370	435
53	730	20	0.3	2600	3330
52	110	25	0.7	400	510
KF	310	>150	3.0	-10	170
10	250	15	-	1440	1690
10	60	15	-	1870	1930
8	260	15	0.5	1850	2110
8	250	35	0.5	2150	2400
5	500	45	0.2	600	1100
5	220	75	0.5	1970	2190
4	190	20	-	-40	150
4	180	20	-	400	580
3	110	10	0.4	570	680
2	90	20	0.2	730	820
2	110	10	0.2	910	1020
2	70	10	0.3	1130	1200
2	90	10	0.3	1260	1350
1	70	150	0.5	-10	60

4.2 Delaminationen der Querschnittscheiben

Die Bilder 15 und 16 zeigen beispielhaft zwei Querschnittscheiben.

Die Aufnahme der Delaminationen erfolgte durch Vermessen der Fugenöffnungen auf der Querschnittfläche (einseitig). Es wurde der Zustand vor und nach der Sanierung erfasst und das Fugenbild gemäss nachfolgender Festlegung beurteilt:

0 = geschlossen

1 = nur innen offen

2 = nur aussen offen

3 = einseitig offen

4 = aussen und innen offen

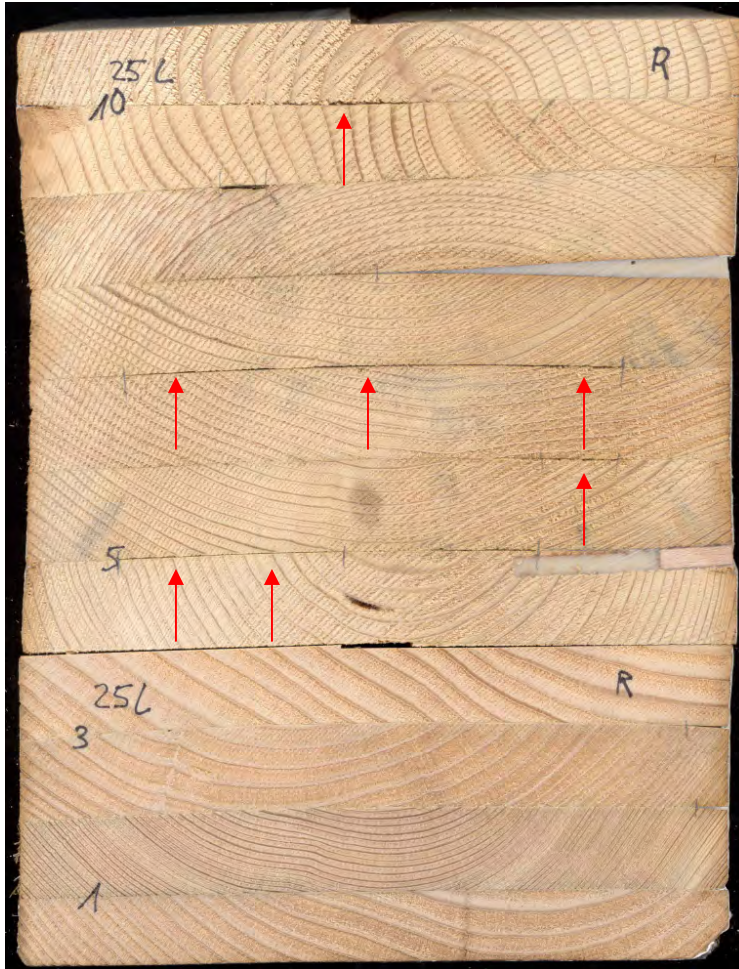


Bild 15: Querschnittsprobe 25 aus dem unteren (Fuge 1 bis 3) und mittleren Bereich (Fuge 5 bis 10) des Trägers (Fuge 4 = Schnitt). Die Fuge 5 weist auf der rechten Seite ein ausgespritztes und verschlossenes Bohrloch auf. Ebenfalls auf der rechten Seite ist die Fuge 8 mit dem PUR-Klebstoff gefüllt. Das Bild zeigt auch, dass die Fugen 5, 6, 7 und 10 im mittleren Bereich von aussen nicht sichtbare offene Fugen aufweisen (siehe Pfeile).

In Bild 17 ist der Zustand der Fugen vor und nach der Sanierung in Abhängigkeit des Fugenbildes dargestellt. Durch die Sanierung erhöht sich der Anteil der geschlossenen Fugen von 47% auf 62%. Hierbei ist aber auch zu beachten, dass nach dem Verspachteln/Schliessen mit wenigen Ausnahmen alle Fugen von aussen als geschlossen wahrgenommen werden (Fugenbild 1 = nur innen offen).

In Bild 18 ist ein Histogramm der Fugenöffnungen vor und nach der Sanierung abgebildet. Es ist erkennbar, dass die Anzahl der Werte mit kleinen Fugenöffnungen durch die Sanierung grösser und die Anzahl der Werte mit grossen Fugenöffnungen kleiner wurde.

Tabelle 3 zeigt eine statistische Auswertung der Delaminationen je Fuge vor und nach der Sanierung. Auffallend sind hier die teilweise sehr grossen Delaminationen in den mittleren Fugen 5 bis 10 und in der Fuge 52. Zwar konnten diese Anteile durch die Sanierung erheblich reduziert werden, es wurden jedoch auch nach der Sanierung noch einzelne Fugenöffnungen mit >70% der Querschnittsbreite ermittelt.



Bild 16: Querschnittsprobe 4 aus dem unteren (Fuge 1 bis 3) und mittleren Bereich (Fuge 5 bis 7) des Trägers (Fuge 4 = Schnitt). Die vor der Sanierung offenen Fugen 5, 6 und 7 sind mit PUR-Klebstoff gefüllt. In den Fugen 5 (rechts) und 6 (links) sind die bei der Sanierung eingesetzten Dübel sichtbar.

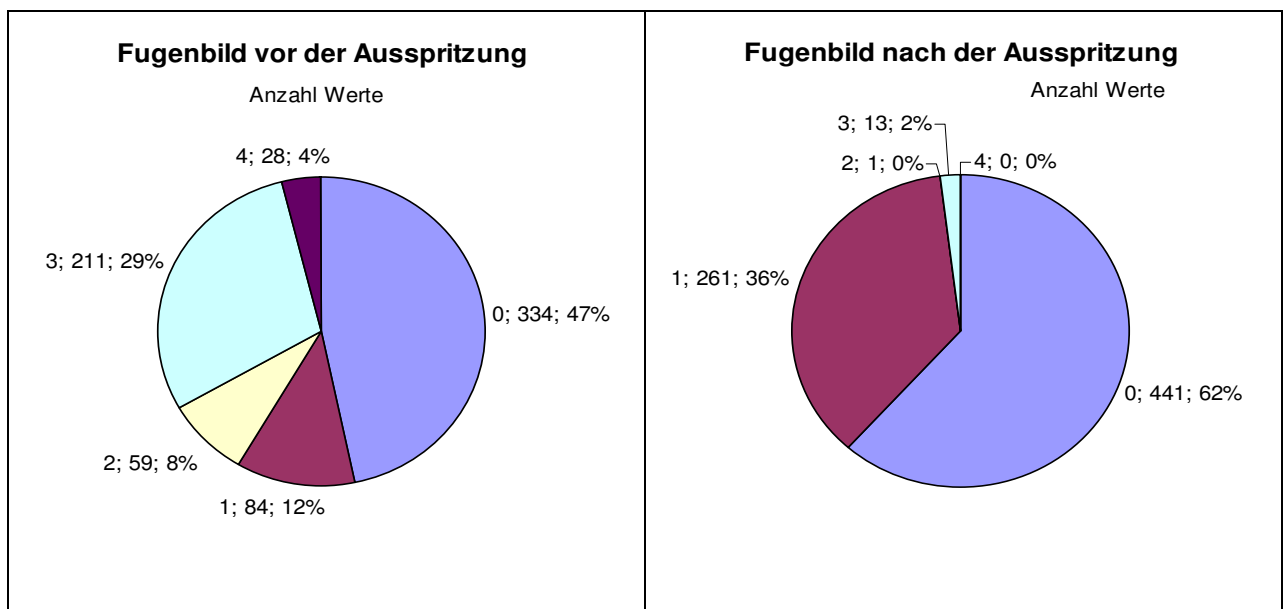


Bild 17: Delaminationen vor und nach der Sanierung je Fugenbild (Fugenbild, Anzahl Werte und Anzahl Werte in Prozent). Fugenbild: 0 = geschlossen, 1 = nur innen offen, 2 = nur aussen offen, 3 = einseitig offen, 4 = aussen und innen offen.

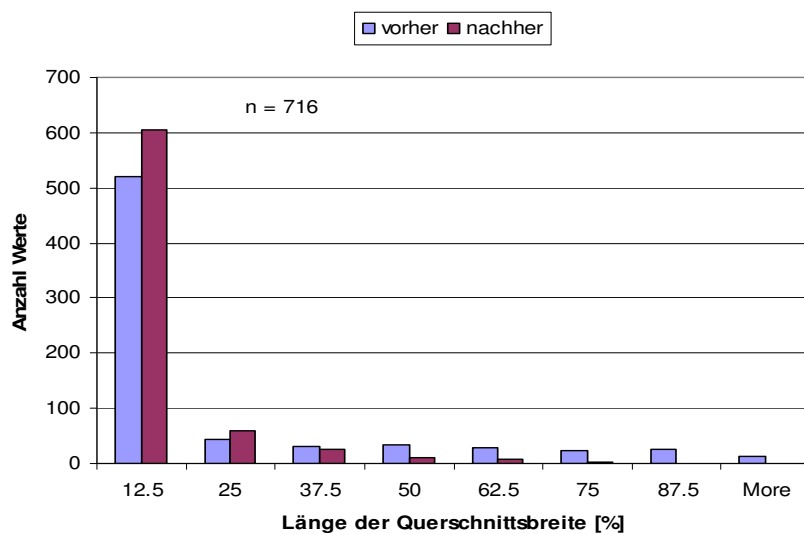


Bild 18: Histogramm der Fugenöffnung

Tabelle 3: Statistische Auswertung der Fugenöffnung der Querschnittscheiben in Prozent je Fuge

Fuge	Fugenöffnung der Querschnittsbreite [%]									
	vor dem Ausspritzen					nach dem Ausspritzen				
	n	x	s	min	max	n	x	s	min	max
1	46	4.8	10.8	0.0	58.8	46	2.8	6.3	0.0	31.6
2	46	8.2	10.0	0.0	37.2	46	5.7	8.9	0.0	37.2
3	46	3.8	5.3	0.0	24.3	46	2.7	4.6	0.0	21.2
5	44	58.0	31.4	0.0	98.4	44	24.1	22.6	0.0	88.3
6	44	25.0	33.7	0.0	100.0	44	6.2	11.4	0.0	61.8
7	41	20.0	29.6	0.0	100.0	41	9.4	16.7	0.0	70.7
8	36	59.2	17.0	9.7	88.2	36	10.5	10.9	0.0	32.1
9	30	18.0	24.8	0.0	91.0	30	10.3	14.3	0.0	51.6
10	24	13.3	21.7	0.0	77.4	24	6.8	17.5	0.0	76.3
11	18	7.4	8.8	0.0	31.6	18	3.5	5.5	0.0	19.5
12	13	2.4	7.3	0.0	26.2	13	0.4	1.5	0.0	5.2
13	7	0.7	1.8	0.0	4.7	7	0.7	1.8	0.0	4.7
14	1	0.0	-	0.0	0.0	1	0.0	-	0.0	0.0
51	40	5.3	8.9	0.0	39.1	40	4.1	7.4	0.0	28.6
52	40	31.4	22.4	0.0	65.1	40	2.6	6.0	0.0	31.6
53	40	2.8	9.4	0.0	40.8	40	2.7	9.4	0.0	40.8
54	40	1.7	4.5	0.0	21.9	40	1.5	4.4	0.0	21.9
55	40	0.8	2.8	0.0	17.4	40	0.6	2.6	0.0	16.4
56	40	1.2	2.5	0.0	9.7	40	0.6	1.6	0.0	7.2
57	40	8.1	8.1	0.0	51.0	40	3.5	8.3	0.0	51.0
58	40	6.5	10.8	0.0	44.1	40	5.6	10.4	0.0	44.1

n = Anzahl Werte, x = Mittelwert, s = Standardabweichung, min = Minimalwert, max = Maximalwert

4.3 Scherprüfung

Die Prüfung erfolgte in Anlehnung an EN 392 ‚Brettschichtholz – Scherprüfung der Leimfugen‘, Ausgabe 1995. Davon abweichend erfolgte die Abschätzung des Faserbruchanteils auf der Scherfläche, nachfolgend als Faserbelag genannt, nur mit einer Abstufung von 20%

Zur Reduzierung des Prüfaufwandes wurden nur die Prüfkörper jeder zirka vierten Querschnitts Scheibe geprüft, welche aus dem sanierten Teil des Trägers geschnitten wurden (Bild 13).

Zur Beurteilung wurden die ermittelten Werte mit den Anforderungswerten der EN 386 ‚Brettschichtholz – Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung‘, Ausgabe 2001, verglichen.

Ausserdem wurden an Stichproben des Probenmaterials die Holzfeuchte durch Darren nach [EN 13183-1:2002] und die Rohdichte nach DIN 52182:1976 / ISO 3131:1975 bestimmt.

Tabelle 4: Statistische Auswertung der Scherprüfungswerte. Rot und kursiv gedruckte Zahlen bedeuten, dass die Anforderungswerte gemäss EN 386 nicht erfüllt sind.

	Festigkeit [N/mm ²]	Faserbelag [%]
Anzahl Werte = 602		
Mittelwert	6.4	57.7
Standardabweichung	3.3	36.7
Minimalwert	0.0	0.0
Maximalwert	12.9	100

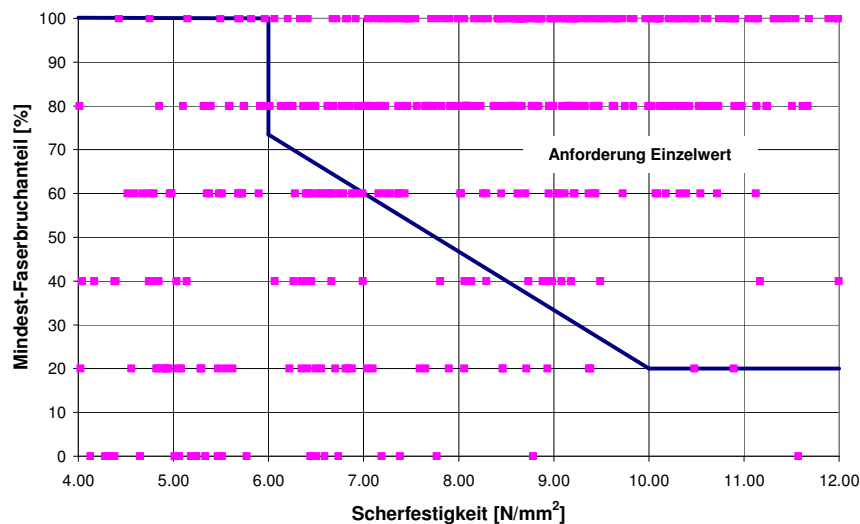


Bild 19: Anforderungen gemäss EN 386 und Ergebnisse der Scherprüfung. Alle Werte unterhalb der Linie erfüllen die Anforderungen nicht.

Tabelle 5: Auswertung der Scherprüfung je Fuge. Rote Zahlen bedeuten, dass die Anforderungswerte gemäss EN 386 nicht erfüllt sind.

Fuge	Anzahl Werte	Mittelwert		Standardabweichung		Minimalwert		Maximalwert	
		Festigkeit [N/mm ²]	Faserbelag [%]	Festigkeit [N/mm ²]	Faserbelag [%]	Festigkeit [N/mm ²]	Faserbelag [%]	Festigkeit [N/mm ²]	Faserbelag [%]
58	39	6.6	51	3.0	37	0.0	0	11.3	100
57	39	7.4	69	2.3	33	2.8	0	12.4	100
56	39	9.7	89	2.0	16	5.4	20	12.9	100
55	39	8.1	68	2.0	33	3.0	0	12.0	100
54	39	7.1	61	2.8	34	1.0	0	11.2	100
53	39	8.1	68	2.9	33	2.2	0	12.4	100
52	39	7.6	69	2.9	29	0.0	0	12.0	100
51	39	7.4	71	3.0	30	0.0	0	11.4	100
13	3	8.2	80	1.5	20	7.4	60	10.0	100
12	3	7.3	80	2.0	35	5.1	40	9.0	100
11	11	4.0	40	3.2	40	0.3	0	9.6	100
10	15	3.6	28	2.7	29	0.0	0	7.4	80
9	11	6.3	40	2.8	36	1.9	0	11.6	100
8	28	4.4	49	2.3	32	0.0	0	8.6	100
7	31	2.9	29	2.6	29	0.0	0	9.4	100
6	36	3.5	29	3.6	37	0.0	0	12.4	100
5	36	3.4	35	3.2	39	0.0	0	9.3	100
3	39	7.8	82	2.3	22	1.8	20	10.5	100
2	38	6.5	62	2.5	35	1.3	0	11.5	100
1	39	6.1	43	2.6	36	0.0	0	10.7	100

Holzfeuchte nach EN 13183-1, bestimmt an 10 Querschnittstreifen:

- Minimalwert = 8.4%
- **Mittelwert = 9.0%**
- Maximalwert = 9.3%

Rohdichte bei 9% Holzfeuchte nach DIN 52'182:1976 / ISO 3131:1975, bestimmt an 11 Querschnittscheiben:

- Minimalwert = 414 kg/m³
- **Mittelwert = 425 kg/m³**
- Maximalwert = 443 kg/m³

Rohdichte bei 12% Holzfeuchte (Umrechnung gemäss EN 384 *Bauholz für tragende Zwecke*)

Mittelwert = 438 kg/m³

Tabelle 6: Scherfestigkeitswerte und Faserbelag der Prüfkörper aus der Keilfuge. Rote Zahlen bedeuten, dass die Anforderungswerte gemäss EN 386 nicht erfüllt sind. Bei Proben mit einer Höhe <50mm wurden die Festigkeitswerte gemäss EN 392 korrigiert (Festigkeit_{kor}).

QSS ²	Fuge	Streifen	Abstand [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Festigkeit [N/mm ²]	Festigkeit _{kor} [N/mm ²]	Faserbelag [%]
1 ¹	6	L	80	50.0	51.1	5.1	5.1	100
1 ¹	6	M	80	50.1	51.5	8.2	8.3	60
1 ¹	6	R	80	50.2	52.3	5.6	5.7	100
4	7	L	280	50.3	46.3	6.6	6.5	60
4 ¹	7	M	280	50.1	45.8	9.6	9.4	20
4 ¹	7	R	280	49.8	46.1	6.8	6.7	100
8	7	L	560	50.1	47.9	3.9	3.9	60
8	7	M	560	50.0	47.4	3.7	3.6	20
8 ¹	7	R	560	50.0	47.6	4.8	4.7	100
12	8	L	800	50.2	46.2	3.6	3.5	40
12	8	M	800	49.9	46.5	3.5	3.5	0
12 ¹	8	R	800	50.0	47.1	8.7	8.6	100
16	9	L	1040	50.3	46.3	7.6	7.4	100
16	9	M	1040	-	-	0.0	0.0	0
16	9	R	1040	50.3	47.8	4.1	4.0	80
22	10	L	1400	50.1	47.9	5.3	5.2	0
22	10	M	1400	50.0	47.0	2.7	2.7	0
22	10	R	1400	50.3	47.5	7.1	7.1	80
23	10	L	1510	49.9	47.1	0.7	0.7	20
23	10	M	1510	50.3	46.6	0.6	0.5	0
23	10	R	1510	50.0	46.9	7.1	7.0	80
24	10	L	1570	50.0	46.2	0.2	0.2	0
24	10	M	1570	-	-	0.0	0.0	0
24	10	R	1570	50.1	46.5	6.7	6.5	60
25	11	L	1630	50.0	47.4	7.5	7.4	100
25	11	M	1630	50.0	47.5	0.7	0.6	20
25	11	R	1630	50.0	47.0	3.1	3.1	20
26	11	L	1680	50.0	46.6	9.7	9.6	100
26	11	M	1680	50.1	47.1	0.3	0.3	0
26	11	R	1680	50.1	46.3	2.0	1.9	100
30	11	L	1950	50.3	47.3	2.5	2.5	20
30	11	M	1950	50.0	47.3	7.7	7.6	20
30	11	R	1950	50.0	50.5	1.3	1.3	20
35	12	L	2260	50.1	47.8	8.0	7.9	100
35	12	M	2260	50.1	47.7	5.2	5.1	40
35	12	R	2260	50.1	47.9	9.1	9.0	100
39	13	L	2480	50.4	45.6	10.2	10.0	100
39	13	M	2480	49.9	45.6	7.5	7.4	80
39	13	R	2480	49.9	45.7	7.5	7.4	60
Anzahl Werte = 39								
Mittelwert							4.9	52.8
Standardabweichung							3.1	40.1
Variationskoeffizient [%]							62	76

¹ Prüfkörper mit vollflächig sanierter Klebstoffuge

² QSS = Querschnittscheibe

Tabelle 7: Auszug der Ergebnisse der sanierten Prüfkörper (nur Prüfkörper mit vollflächigem PUR-Klebstoffschicht). Rote Zahlen bedeuten, dass die Anforderungswerte gemäss EN 386 nicht erfüllt sind.

	Festigkeit [N/mm ²]	Faserbelag [%]
Anzahl Werte = 27		
Mittelwert	7.2	74.1
Standardabweichung	1.6	27.6
Variationskoeffizient [%]	23	37



Bild 20: Scherfläche des Prüfkörpers QSS 1/ R / Fuge 1 mit einer Scherfestigkeit von 1.9 N/mm² und sehr geringem Faserausriss. Die Klebfläche rechts ist verfärbt/verschmutzt.



Bild 21: Scherfläche des Prüfkörpers QSS 39/ R / Fuge 8 mit einer Scherfestigkeit von 5.6 N/mm². Der Prüfkörper wurde aus einem sanierten Trägerbereich geschnitten. Auf dem rechten Teil ist der teilweise mit Holzfasern behaftete PUR-Klebstofffilm sichtbar. Der Bruch der Klebfuge erfolgte grösstenteils im Grenzbereich zwischen Holz und PUR-Klebstoff (Adhäsionsbruch). Es ist anzunehmen, dass eine bessere Adhäsion zwischen Holz und Klebstoff durch die Verschmutzung verhindert wurde.



Bild 22: Scherfläche des Prüfkörpers QSS 8 / R / Fuge 7 mit einer Scherfestigkeit von 4.7 N/mm^2 . Der Prüfkörper wurde aus einem sanierten Trägerbereich geschnitten. Auf dem linken Teil ist der vollständig mit Holzfasern behaftete PUR-Klebstofffilm erkennbar (Kohäsionsbruch). Der relativ tiefe Festigkeitswert dürfte auf das in den Grenzzonen geschwächte Holz und auf die Verschmutzung zurückzuführen sein.

4.4 Fugenöffnung und Scherfestigkeit

In Bild 23 sind die Fugenöffnungen (Längen) und der Mittelwert der Scherfestigkeit der Fugen dargestellt. Auffallend sind die grossen prozentualen Fugenöffnungswerte der Fugen 5, 8, Keilfuge (KF) 52 und 57 auf der Hallenseite und die tiefen Festigkeitswerte der Fugen im mittleren Bereich (Fuge 5 bis Fuge KF). Die Scherfestigkeit der Fugen mit grossen Fugenöffnungen liegt teilweise deutlich unter 6 N/mm^2 (Fuge 5, 8 und KF), und teilweise deutlich über diesem Wert (Fuge 52 und 57).

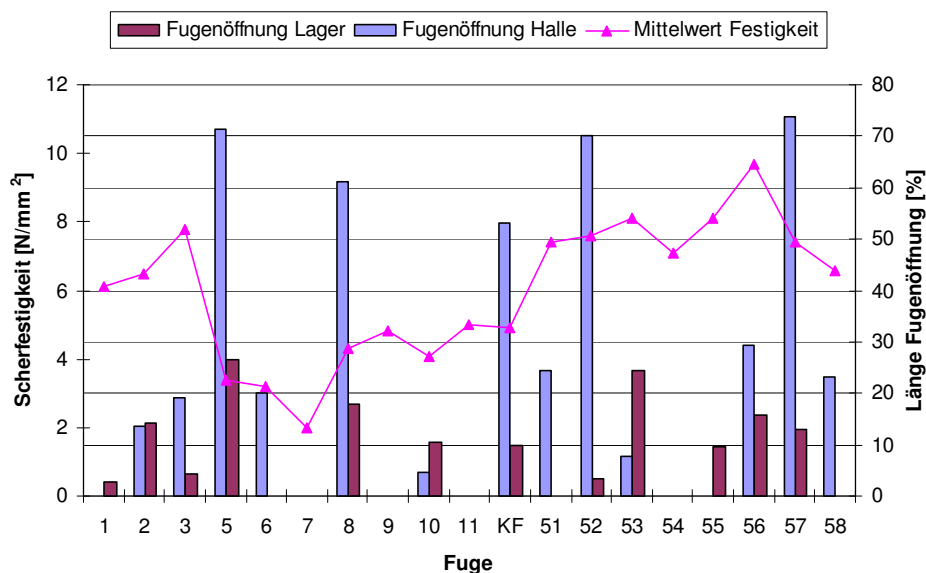


Bild 23: Fugenöffnung und Scherfestigkeit (Mittelwert) der Klebstofffugen. Die Fugenöffnung wurde vor der Sanierung in situ aufgenommen. Die Prüfung der Scherfestigkeit erfolgte an Prüfkörpern, die aus dem sanierten Trägerteil entnommen wurden.

4.5 Delaminationsprüfung

Die Delaminationsprüfung wurde wegen eines temporären Ausfalls der Entfeuchtungseinrichtung der Holzabteilung Dübendorf im Labor der Purbond AG in Sempach durchgeführt. Die Ergebnisse wurden der Empa Mitte September in einem Bericht von Herrn R. Wicki übermittelt und sind nachfolgend kurz zusammengefasst.

Die Prüfung erfolgte nach EN 386: 2001 ‚Brettschichtholz - Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung‘ sowie dem Verfahren B nach EN 391:2001 ‚Brettschichtholz, Delaminationsprüfung von Klebstoffugen.

In Bild 24 ist das Bild einer Querschnittsprobe nach der Beanspruchung abgebildet. Dabei sind offene Fugen des Kaseinklebstoffs mit schwarzer, offene Fugen an mit dem Giessharz sanierten Fugen mit grüner Farbe markiert. Wie zu erwarten war, erfüllte allein aufgrund der visuellen Beurteilung keine der getesteten Querschnittsproben die Mindestanforderungen, weil der eingesetzte Kaseinleim nicht feuchtebeständig ist und daher der Beanspruchung im Rahmen der Delaminationsprüfung nicht gewachsen ist. Die Untersuchung hat aber gezeigt, dass auch die sanierten Fugen mehrheitlich im Test versagen, weil einerseits entweder die verbliebene Schicht des Kaseinklebers versagte, oder aber die Anbindung an die nicht gereinigte verschmutzte Holzoberfläche nicht ausreichend fest war.



Bild 24: Fugenöffnungen an alten (schwarz) und ausgefüllten Klebfugen (grün) nach der Delaminationsprüfung

5 Beurteilung der Fugenfüllung

Die Untersuchung hat gezeigt, dass es möglich ist, offene Fugen mit dem eingesetzten Verfahren auszufüllen. Der Erfolg der Sanierung zur Wiederherstellung der geforderten Scherfestigkeiten der Klebfugen ist aber abhängig von folgenden Punkten:

- Alle Delaminationen müssen von aussen sichtbar und für die Sanierung zugänglich sein;
- Alle relevanten Delaminationen müssen bei der Sanierung gefüllt werden;
- Die offenen Fugen dürfen keine Verschmutzungen aufweisen;
- Das Holz im Fugenbereich darf keine Abbauerscheinungen aufweisen;
- Die Festigkeit der nicht delaminierten Fugen muss intakt sein.

Weil diese Punkte im untersuchten Träger ‚Aebimatt‘ teilweise nicht erfüllt sind bzw. erfüllt werden können, empfehlen wir, diese Sanierungsmethode bei der Sanierung des Tragwerks im Lokdepot Aebimatt nicht anzuwenden.

Es ist zu beachten, dass die Oberflächen der sanierten Träger mit dem Kleber verschmiert sind und somit das Aussehen der Träger erheblich beeinträchtigen. Ausserdem ist es zurzeit nicht möglich, den Erfolg der Sanierung durch eine mobile Methode zerstörungsfrei zu kontrollieren.

6 Untersuchung zur Wirksamkeit einer stabförmigen Verstärkung (Bericht basierend auf einem Entwurf von Prof. E. Gehri)

An dem verbleibenden Teil des Trägerabschnitts der Aebimatt Halle wurden nach Absprache mit allen Projektbeteiligten die Auswirkungen von zwei stabförmigen Verstärkungsvarianten vergleichend überprüft. Dazu wurde der Trägerabschnitt zum Holzleimbaubetrieb n'H in Lungern transportiert und dort unter der Federführung von Prof. E. Gehri, Rüschlikon, untersucht. Der Projektplan sah vor, den Trägerabschnitt zunächst im Originalzustand durch Messungen im Schubfeld bei Krafteinleitung senkrecht zur Faser zu belasten. Anschliessend wurden die beiden Trägerhälften verstärkt: a) mittels Vollgewindeschrauben sowie b) mit eingeklebten Gewindestangen (GS Ankern). Die folgenden Ausführungen geben die Ergebnisse und die Schlussfolgerungen wieder.

6.1 Trägerabschnitt Aebimatt

Der Träger-Abschnitt weist eine leicht konische Form auf; siehe die Abmessungen in Bild 25. Wie aus dem Foto (Bild 26) ersichtlich, weist dieser Träger-Abschnitt eine hohe Anzahl, z.T. durchgehend offener (klaffender) Fugen auf. Bedingt durch die einseitig vorhandenen Kontaktstösse der Bretter war die Beanspruchungsrichtung vorgegeben (analog dem eingebauten Zustand) und somit auch die zugbeanspruchte Seite. Leider befand sich hier gerade ein besonders schlechtes Brett (nach heutigen Sortierkriterien ein Brett der Klasse T11; ein derartiges Produkt ergibt einen BSH-Träger mit einer charakteristischen Biegefestigkeit von rund 19 bis 20 N/mm²).

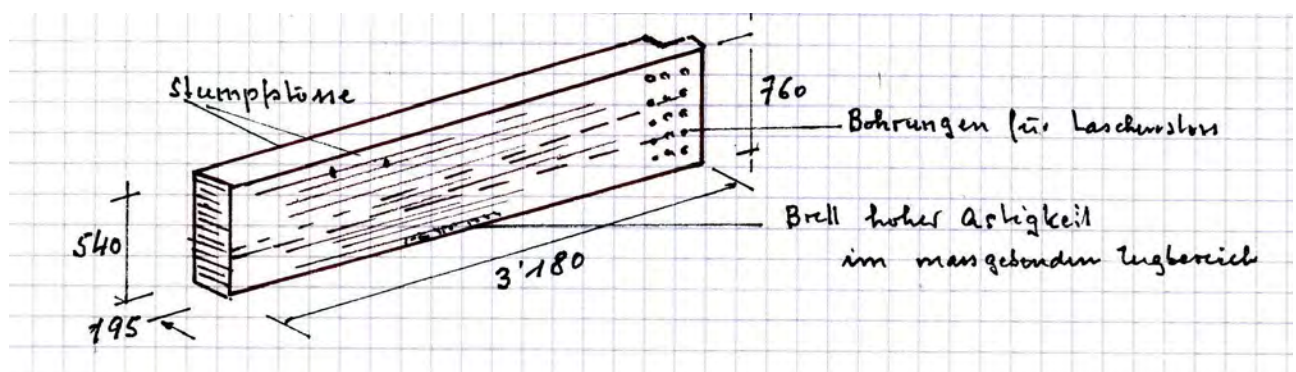


Bild 25: Abmessungen des Trägerabschnitts zur Schubmodulbestimmung



Bild 26: Ansicht der Trägers mit den Messvorrichtungen vor der Belastung

6.2 Prüfung „Originalzustand“

6.2.1 Prüfkongfiguration

Ausgehend vom Restabschnitt wurde folgende Konfiguration gewählt:

Das Verhältnis Spannweite zur mittleren Höhe beträgt rund 4, ein Wert der üblicherweise für Schubuntersuchungen geeignet erscheint. Der Träger wurde im Originalzustand belassen, insbesondere wurde der Endbereich mit den Bohrungen für den Laschenstoss nicht weg geschnitten (etwas grösserer Überhang auf dieser Seite vorhanden). Einzig bei der Krafteinleitung (in Trägermitte) musste die Trägerbreite auf rund 200mm Länge von 195mm auf 188mm abgearbeitet werden (Anpassung an Versuchseinrichtung).

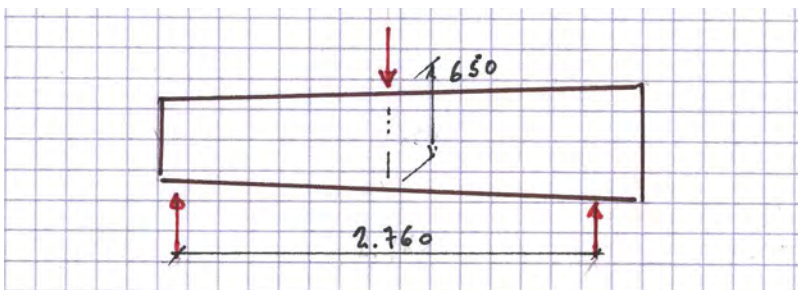


Bild 27: Prüfkongfiguration

6.2.2 Krafteinleitung senkrecht zur Faser

Bedingt durch die geringe Leistungsfähigkeit des Holzes senkrecht zur Faser wurden bei derartigen Krafteinleitungen grosse Auflagerlängen (mit entsprechenden Stahlplatten) benötigt. Dies konnte durch den Einsatz der GSA-Technologie vermieden werden. Neben grösseren beanspruchten Schubfeldern ergeben sich so auch geringere Störungen im Kraftverlauf.

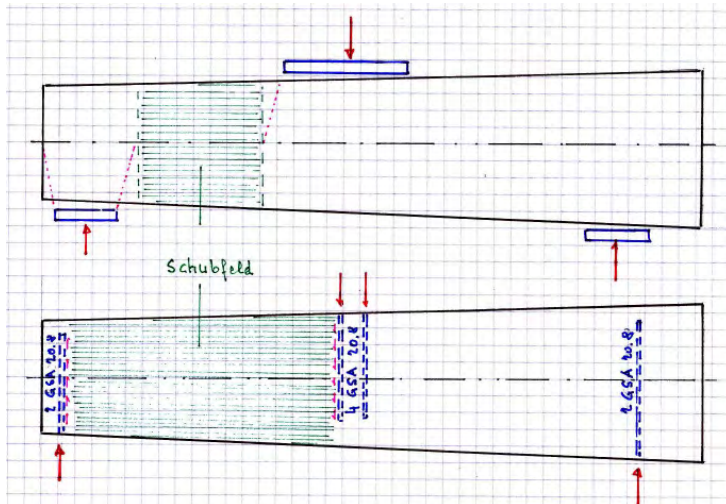


Bild 28: Prüfkörper mit GSA-Ankern zur Verstärkung der Auflager- und Krafteinleitungszonen

Für die Krafteinleitung wurden bei den Auflagern jeweils zwei GSA-Anker 20.8; in Trägermitte 4 GSA-Anker 20.8 eingesetzt.

Die verwendeten Abmessungen sind für die Schubprüfung im „Originalzustand“ überdimensioniert; massgebend sind hier die möglicherweise im verstärkten Zustand erreichbaren Kräfte. Der „Verdübelungseffekt“ vertikal angeordneter Stäbe hat dabei kaum Einfluss auf die Versagenslast auf Schub (unterschiedliche Versagensformen: Schub sehr spröde; Verdübelung nachgiebig).

6.2.3 Messungen

Im Vordergrund stand die Erfassung der Schubverformung, am einfachsten erfolgt dies direkt über die Schubverzerrung. Als Basis wurde ein Quadrat mit Seitenlänge 300mm gewählt. Nachstehend ist das Prinzip dargestellt (Bild 29). Infolge Schub verformt sich das Quadrat wie angegeben. Aus dem Schubwinkel γ kann dann der Schubmodul G errechnet werden. Schwierigkeiten ergeben sich hier, wenn Messmarken in der Nähe bestehender Risse oder Fugen liegen (Messmarken müssen: symmetrisch zur Trägerachse liegen, um Biegeinflüsse zu eliminieren; zudem sollen diese beidseitig exakt einander gegenüber liegen). Störungen lassen sich demnach nicht vollständig vermeiden.

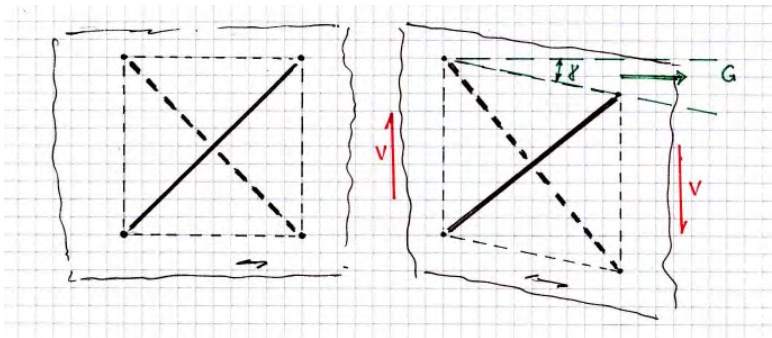


Bild 29: Prinzip der Erfassung der Schubverformung und des Schubmoduls G

6.2.4 Belastungsversuch

Am 30.10.2007 wurde der Belastungsversuch durchgeführt. Die Last wurde bis zum ersten „Sprung“ (entspricht dem Versagen einer der vielen Klebstofffugen) gesteigert. Der dabei erreichte Wert sagt wenig über die tatsächliche Versagenslast aus (entspricht dem ‚unteren, gesicherten Wert‘).

In Bild 30 dargestellt sind die Verformungskurven für die vier Diagonalen im Schubfeld, wobei die Werte der Reihen 1 und 4 die Werte der Zugdiagonalen (Verlängerungen) und die Reihen 2 und 3 die Werte der Druckdiagonalen (Verkürzungen) angeben.

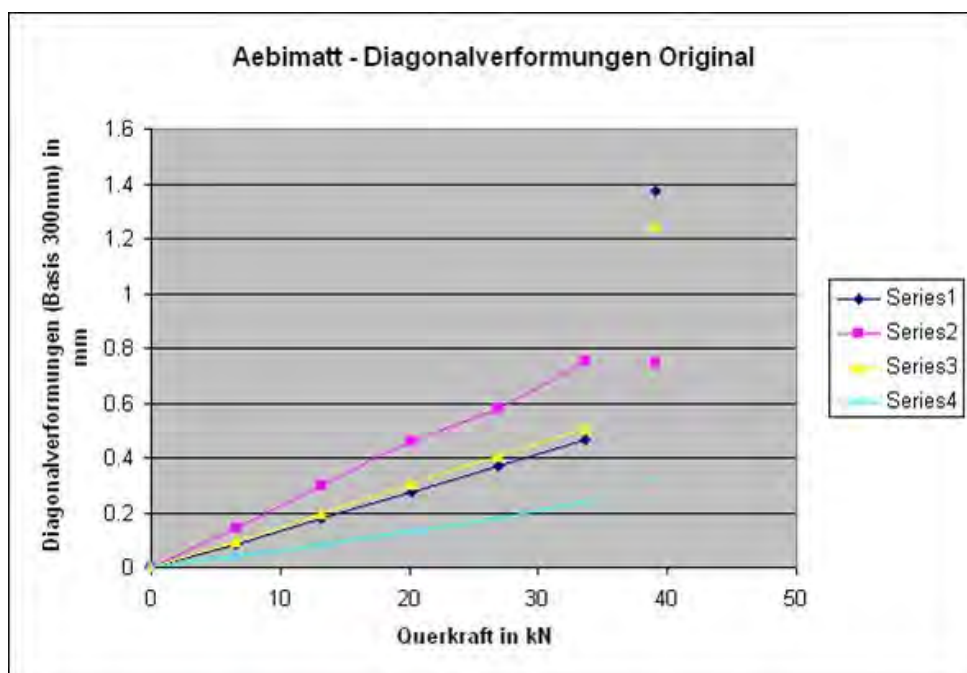


Bild 30: Prinzip der Ermittlung der Diagonalverformungen in den Schubfeldern und Messwerte (Mittelwerte der Messwerte beidseitig)

6.2.5 Auswertung der Ergebnisse

Im „Originalzustand“ wurde der Träger bis zu einer Querkraft von $V = 41\text{kN}$ beansprucht. Nach dem ersten „Knacken“ wurde der Versuch abgebrochen. Die Verformungskurven für die Teile 1 und 2 zeigen deutliche Unterschiede:

Teil 1: Die statische Höhe im Messbereich beträgt rund 610mm (und ist kleiner als die 710mm von Teil 2). Bei gleicher Querkraft sind die Schubspannungen rund 15% höher und somit auch die Schubverformungen. Dieser Unterschied kann die festgestellten Differenzen nicht erklären. Dieser lässt sich nur durch die stärkere Auflösung des Teils 1 des Trägers begründen. Dies wird an der Verkürzung der Druckdiagonale ersichtlich: hier werden zuerst die offenen Fugen geschlossen.

Teil 2: Der etwas grössere Überhang hat eine versteifende Wirkung. Das wesentlich günstigere Verhalten ist jedoch auf die geringere Auflösung dieses Teils zurückzuführen. Bei der Auswertung wird auf den Einfluss der Konizität des Trägers auf den Schubspannungsverlauf verzichtet.

Ausgehend von den Verformungskurven in Bild 30 kann der Mittelwert von Δs ermittelt werden (Bild 31). In der Regel (bei ungerissenen BSH-Trägern) sind die absoluten Verformungen beinahe identisch. Abweichungen, wie in Bild 31, deuten auf fehlende Homogenität, wie z.B. bei einem teilweise verleimten Träger, hin.

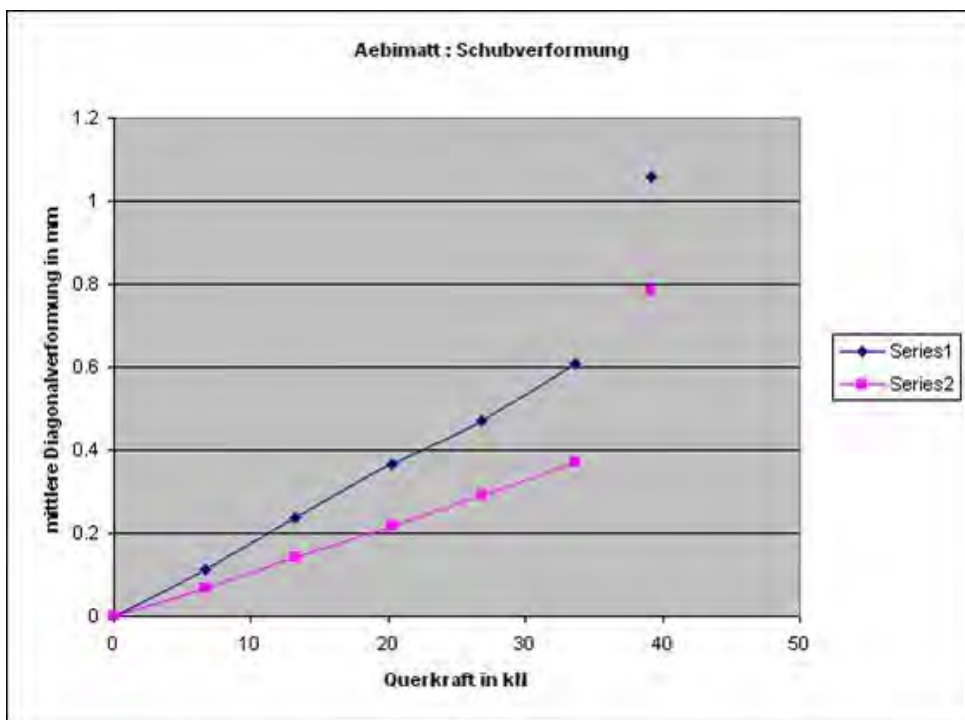


Bild 31: Mittlere Absolutwerte der Diagonalverformung für die beiden Teile 1 und 2 des untersuchten Trägers.

Aus der Steigung der Kurven im elastischen Bereich kann der „scheinbare Schubmodul“ G_{sch} ermittelt werden. Die Werte betragen für $G_{sch,1} = 130 \text{ N/mm}^2$ und $G_{sch,2} = 190 \text{ N/mm}^2$. Diese Werte sind gering. Bei ungerissenen BSH-Trägern liegen die Werte um 600 bis 650 N/mm^2 . Somit wurden hier nur 20% (Teil 1) bzw. 30% (Teil 2) der üblichen Schubsteifigkeiten erreicht.

6.3 Stabförmige Verstärkung

6.3.1 Untersuchte Möglichkeiten

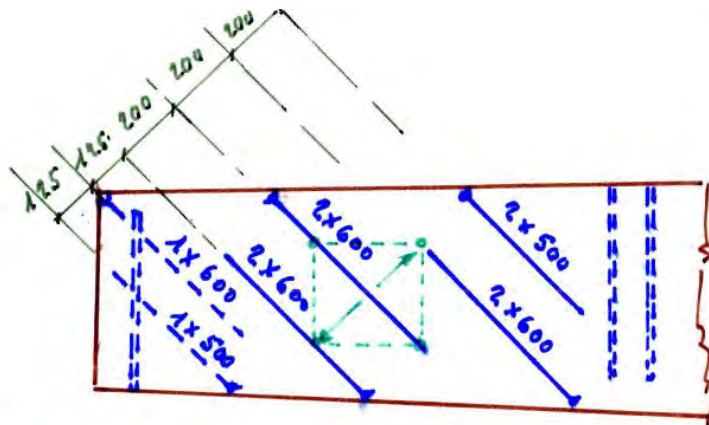
Die folgenden Varianten einer Stabförmigen Verstärkung standen zur Diskussion:

- Verstärkung mit Vollgewindeschrauben (z.B. Spax 10)
- Verstärkung mit eingeleimten Stangen (z.B. System GSA 16.4)

Der Vorteil der GSA-Anker liegt in der höheren Leistung und Anpassungsfähigkeit. Bei üblichen, ungerissenen Querschnitten ist das Verfahren unproblematisch. Bei offenen Fugen müssen, um ein Wegfliessen des Klebstoffs (mit Verlust der Ankerwirkung) zu vermeiden, die Fugen vorgängig abgedichtet werden. Die Verstärkung mittels Schrauben ist unproblematisch, da es sich um eine rein mechanische Verbindung ohne Klebeinsatz handelt. Die Schraubenverstärkung ist geeignet für kleinere Trägerhöhen, da im Handel erhältliche Schrauben maximale Längen bis 600mm aufweisen (Spax). Bedingt durch die grössere Schlankheit der Schrauben besteht die Gefahr des Verlaufs beim Eindrehen, dies trotz Vorbohrung auf etwa 1/2 bis 1/3 der Länge.

6.3.2 Verstärkung von Teil 1

Dieser Bereich wurde mit Vollgewindeschrauben Spax 10 (Längen 600mm und 500mm) bezüglich Schub verstärkt (Bild 32). Die total 10 Schrauben weisen einen Stahlquerschnitt (Kern) von rund 280mm^2 auf. Die mögliche Bruchkraft der Schubbewehrung beträgt rund 350kN.



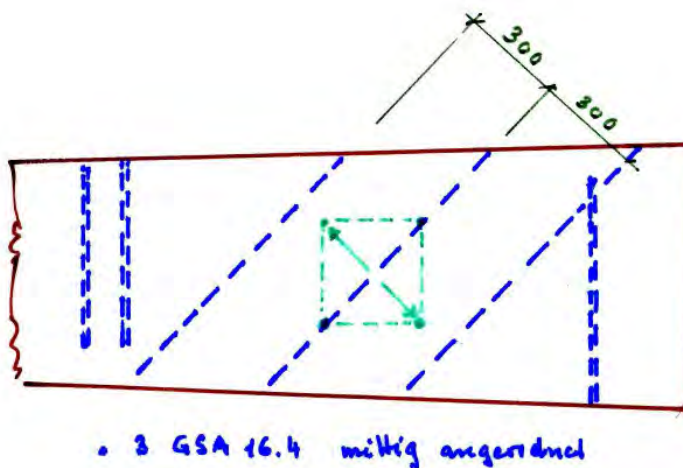
- Einzelschrauben: mittig anordnen
- Doppelschrauben: Abstand untereinander ca. 100 mm

Bild 32: Bewehrungsanordnung der Schrauben zur Verstärkung von Teil 1 des Trägers

6.3.3 Verstärkung von Teil 2

Diese erfolgt mit 3 mittig angeordneten GSA-Ankern 16.4. Der Stahlquerschnitt betrug (Spannungsquerschnitt) rund 470 mm^2 ; die mögliche Bruchkraft rund 260 kN (Bild 33).

Die beiden Verstärkungsarten unterscheiden sich nicht grundsätzlich. Die Schrauben weisen einen etwas geringeren Stahlquerschnitt (somit Einbuße an Steifigkeit); dafür eine feinere Verteilung über den Querschnitt und eine höhere Bruchlast auf. Ein Problem stellt die beschränkte Schraubenlänge von 600 mm dar, dies trotz der wechselseitigen Anordnung.



- 3 GSA 16.4 mittig angeordnet

Bild 33: Bewehrungsanordnung der GSA-Anker zur Verstärkung von Teil 2 des Trägers

6.3.4 Prüfkongfiguration

Diese ist identisch derjenigen des Versuchs im „Originalzustand“ (siehe Bild 30). Die Verstärkung wurde so eingebracht, dass jeweils ein Stab mit dem Messbereich der Zugdiagonale zusammenfällt. Es ist zu

beachten, dass der Schraubenanfang ungefähr mit dem Messpunkt zusammenfällt (ungenügende Verankerung, bzw. ungleichmässige Beanspruchung im Messbereich).

6.3.5 Prüfung

Die Prüfung erfolgte am 13.11.2007. Die Last wurde stufenweise bis zum Bruch gesteigert. Dabei trat bei $V = 152\text{kN}$ ein Biegebruch auf. Dies entspricht einer Biegespannung von $f_m = 15,4\text{N/mm}^2$.

Dieser Wert ist tief, lässt sich aber weitgehend mit der geringen Brettqualität der Randlamelle begründen. Zu beachten ist weiter, dass die Biegespannungsberechnung mit der klassischen Annahme eines homogenen Querschnitts erfolgte. Durch die Auflösung des Querschnittes ist die effektive Zugspannung höher.

Für die erreichte Querkraft von $V = 152\text{kN}$ ergibt sich nach Berechnung mit dem klassischen Ansatz für den homogenen Querschnitt im Teil 1 die maximale Schubspannung zu rund $2,0\text{N/mm}^2$.

6.3.6 Schubverformung

Ausgehend aus den gemessenen Diagonalverformungen (Bild 34) werden – für den elastischen Bereich – die Schubverformungen ermittelt (Bild 35).

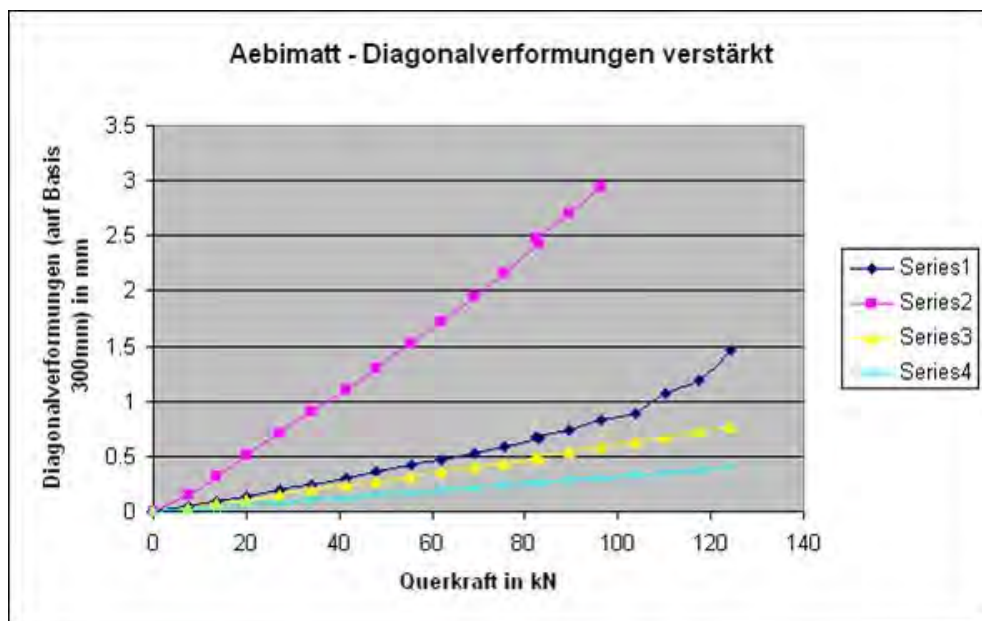


Bild 34: Mittlere Absolutwerte der Diagonalverformung für die beiden Teile 1 und 2 des verstärkten Trägers (Series 1 und 4: Zugdiagonalen (Verlängerungen); Series 2 und 3 Druckdiagonalen (Verkürzungen))

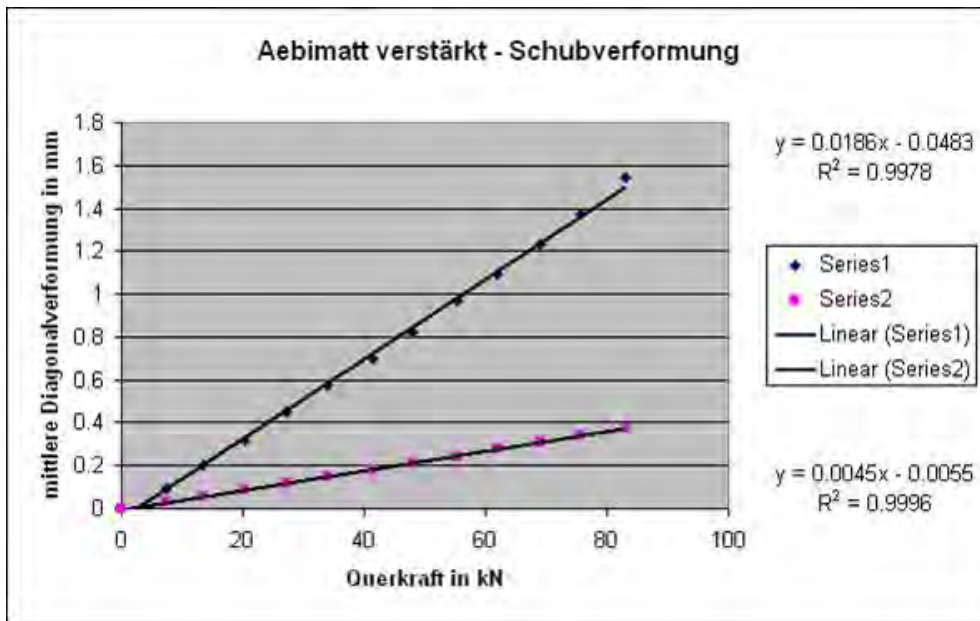


Bild 35: Mittelwerte der Diagonalverformung für die beiden Teile 1 und 2 des verstärkten Trägers. Series 1: mittlerer Absolutwert Diagonalverformung Teil 1, Series 2: mittlerer Absolutwert Diagonalverformung Teil 2

Bei der Druckdiagonale im Teil 1 traten grössere Bewegungen auf, insbesondere im Bereich des oberen Messpunktes. Dies verfälschte die Messungen (erst ab $V > 80\text{kN}$).

Erstaunlich ist, dass im Teil 1 – auch für den verstärkten Zustand – keine höhere Schubsteifigkeit erreicht wurde, dies im Gegensatz zu Teil 2, wo eine rund doppelt so hohe Schubsteifigkeit – gegenüber dem „Originalzustand“ – festzustellen ist. Dies ist nicht in der Art der Verstärkung (Schraube oder GSA-Anker) begründet, sondern im Zustand des Trägers 1. Die Klaffung der Fugen ist hier derart, dass grössere Querbewegungen sich einstellen müssen, bis eine „satte“ Wirkung der Druckdiagonale erfolgen kann.

6.3.7 Betrachtung der „Zugdiagonalen“

Durch die besondere Anordnung der Messmarken bzw. der Verstärkungsstäbe kann direkt der Einfluss auf die Zugdehnungen erfasst werden. Bild 36 zeigt den Vergleich der Zugdiagonalen mit und ohne Verstärkung.

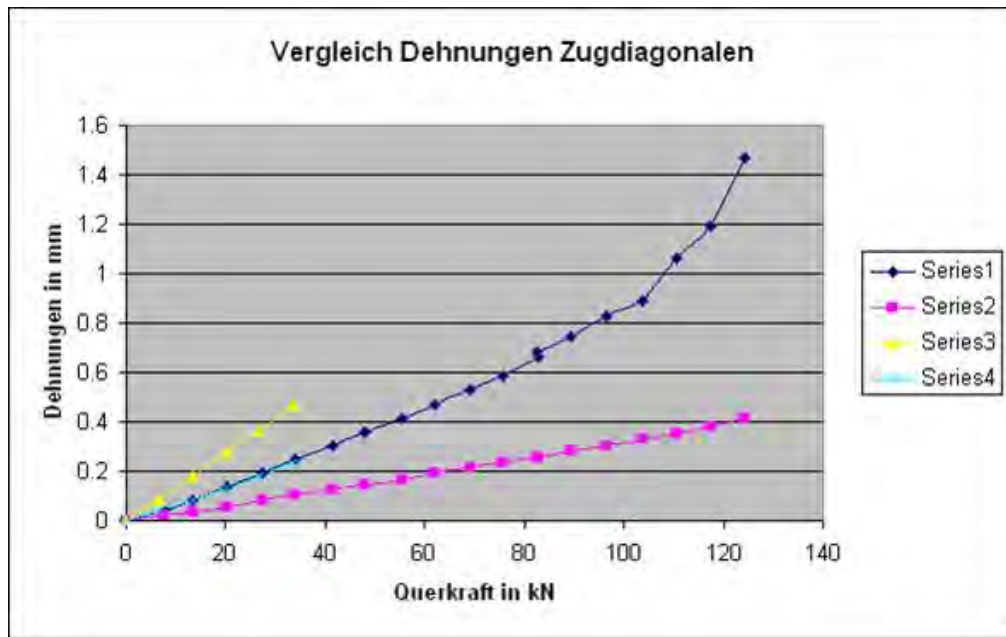


Bild 36: Vergleich der Dehnungen der Zugdiagonalen. (Series 1 und 3: Teil 1 – Schraubenverstärkt (blau) bzw. Originalzustand (gelb) sowie Series 2 und 4: Teil 2 – GSA-verstärkt (pink) bzw. Originalzustand (türkis)).

Interessant ist die weitgehende Linearität der Kraft-Verformungskurve bei den Verstärkungen, insbesondere für die GSA-Anker. Die Abweichung bei der Schraubenverstärkung erfolgte erst ab $V > 80\text{kN}$; gleichzeitig mit starken Veränderungen in der Druckdiagonale.

6.4 Folgerungen

6.4.1 Erfassung der Restfestigkeit

Für die Erfassung der Restfestigkeit (auf Schub) von Trägern – analog dem untersuchten Trägerabschnitt Aebimatt – stehen zurzeit keine gesicherten Methoden zur Verfügung. Abschätzungen lassen sich aufgrund des bereits erreichten Beanspruchungsniveaus am bestehenden Bauwerk durchführen. Ein möglicher Ansatz stellt – in Analogie zur Korrelation E-Modul zur Zugfestigkeit – die Messung der Schubsteifigkeit. Im Teil 1 des Trägers wurde im „Originalzustand“ die Schubsteifigkeit zu rund 20% der „Normsteifigkeit“ ermittelt; dementsprechend wäre die Rest-Schubfestigkeit noch $0,20 \times 3,5\text{N/mm}^2 = 0,7\text{N/mm}^2$. Die im Versuch erreichte Schubfestigkeit lag über $0,5\text{N/mm}^2$.

Für präzisere Aussagen fehlen weiterhin entsprechende Untersuchungen.

6.4.2 Wirkung von stabförmigen Verstärkungen

Die – aufgrund der bei n'H in Lungern durchgefumfangeichen Untersuchungen und der dort entwickelten Tragmodelle – erwartete gute Wirkung stabförmiger Verstärkungen wurde bestätigt.

Im vorliegenden Fall konnte die Schubfestigkeit auf rund $2,0\text{N/mm}^2$ erhöht werden (klassischer Schubnachweis). Gegenüber dem Originalzustand (Annahme $f_v = 0,7\text{N/mm}^2$) erfolgte somit mit der relativ einfachen Verstärkung eine Erhöhung des Schubwiderstands um den Faktor 3. Gegenüber dem Normwert von $f_{v,\text{mean}} = 3,5\text{N/mm}^2$ werden circa 60% erreicht. Es ist zu beachten, dass dies eine untere Schwelle ist;. Das Versagen erfolgte im vorliegenden Fall auf Biegung und nicht auf Schub.

Bei der Schubsteifigkeit liegt ein uneinheitliches Bild vor. Beim Teil 1 des Trägers mit den klaffenden Fugen ist eine Modellierung weitgehend aussichtslos. Beim Teil 2 – mit weitgehend „geschlossenen“ Fugen – ist eine Abschätzung der erreichbaren Schubsteifigkeit möglich.

Diese liegt mit $G_{\text{sch},2} = 450\text{N/mm}^2$ bei rund 70% des Normwertes vom 650N/mm^2 .

6.4.3 Schraube versus GSA-Anker

Ein direkter Vergleich der Ergebnisse ist nicht zulässig ist, da Teil 1 (mit Schraubenverstärkung) einen wesentlich schlechteren Ausgangszustand aufwies (mehr offene und klaffende Fugen). Die Verstärkung mittels GSA-Anker wird als effiziente Methode beurteilt, die zudem auf einer ausgereiften Technologie beruht. Im Falle von derart offenen Fugen wie beim untersuchten Träger muss eine seitliche Abdichtung der Fugen vorgenommen werden; hier können die Erfahrungen gemäss Kap. 2.3.1 herangezogen werden.

7 Zusammenfassung

Verstärkungs- und Sanierungsmassnahmen für Voll- und Brettschichtholzbauteile werden in den kommenden Jahren vermehrt Bedeutung erlangen, weil aus umwelt-, ressourcen- und wirtschaftlichen Gründen die Um- und Weiternutzung bestehender Bauten bzw. Bauteile zunehmen wird. Die Sanierung von offenen Fugen in lamellierten Bauteilen oder von Längsrissen in Massivholz durch das Einbringen von Klebharzen kommt bereits seit über 30 Jahren zum Einsatz und wurde seither verschiedentlich weiterentwickelt, insbesondere hinsichtlich der verwendeten Klebstoffe, seiner Füllstoffe und der Art der Einbringung der Klebstoffe [9-13]. Bei diesem Verfahren werden Fugen und Risse, welche in Holzbauteilen entstanden sind, durch das Einbringen von Klebstoff ausgefüllt, um somit die Tragfähigkeit der betroffenen Bauteile zu erhöhen.

Wurden in der Vergangenheit die Risse meist ausgegossen oder seitlich verspachtelt, stehen heute meist mit geringen Drücken arbeitende Injektionsverfahren zu Verfügung, die ein tieferes Einbringen der Harze (meist Epoxidharze) gewährleisten sollen. Wissenschaftliche Untersuchungen belegen, dass es in bestimmten Fällen sogar möglich ist, die ursprüngliche Tragfähigkeit wieder zu erreichen oder gar geringfügig zu übertreffen [9].

Vorteile von Klebharzsanierungen sind die relativ geringen Kosten und kurzen Reparaturzeiten sowie eine nur geringe Nutzungseinschränkung während der Sanierung. Auch ist die vom Prinzip her geringe optische Änderung des Bauteils ein Vorteil, wenn es sich um Bauteile unter Denkmalschutz handelt. Besonderer Beachtung bedürfen die bei der Baustellensanierung allgemein undefinierten Randbedingungen wie Temperatur- und Feuchtebedingungen des Holzes und der Umgebung sowie der Oberflächenbeschaffenheit des Holzes in den Rissen. Weiter ist es bei grossen Dimensionen der Bauteile bzw. einschränkenden räumlichen Situationen meist nicht möglich, einen Pressdruck auf das zu sanierende Teil aufzubringen, so dass die Harze ohne Druck aushärten und keine Kontaktsituation zwischen den Rissoberflächen und dem Klebharz erzwungen werden kann.

Um die Einsatzmöglichkeit einer Sanierung von offenen Fugen in einem historischen Bauwerk mit einem Giessharz auf der Basis von 2-komponentigen Polyurethan einstufen zu können, wurden am Beispiel eines Trägers des BLS Lokdepots Aebimatt in Bern Probesanierungen durchgeführt und holztechnologisch begleitet. Damit sollte das Potenzial für eine statisch wirksame klebstofftechnische Sanierung von offenen Klebstofffugen an historischen BSH-Trägern beurteilt werden. Die Arbeiten sollten Anhaltspunkte geben, ob die Methode des Ausspritzens und Verpressens von offenen Rissen insbesondere auch bei alten Bauteilen eingesetzt werden kann. Bei diesen Bauteilen sind aufgrund der Auflagen des Denkmalschutzes alternative, das äussere Erscheinungsbild beeinträchtigende Verstärkungsmassnahmen oft nicht anwendbar.

Die Untersuchungen erfolgten an einem Brettschichtholzträger aus dem Tragwerk der Halle, der besonders intensive Rissausprägung aufwies, so dass es sich um eine ‚worst case‘ Situation handelt. Als Klebstoff wurde ein 2-Komponenten Polyurethan-Giessharz verwendet. Die Applikation des Systems erfolgte mit Injektionstechnik sowohl unter Praxisbedingungen am Tragwerk der Halle, als auch an einem ausgebauten Träger unter kontrollierbaren Bedingungen an der Empa. Dazu mussten die seitlichen Risse mit einem pastösen Harz abgedichtet werden. Es wurde kein Pressdruck aufgebracht, die Aushärtung erfolgte bei Raumtemperatur. Zur Quantifizierung der Wirksamkeit der Klebfugensanierung wurden Scherprüfungen und Delaminationstests durchgeführt und ausgewertet.

Die Untersuchung hat gezeigt, dass es prinzipiell möglich ist, grosse offene Fugen mit dem eingesetzten Verfahren auch unter erschwerten Bedingungen auf der Baustelle auszufüllen. Allerdings ist das Verfahren in der Anwendung aufwendig (insb. wegen der notwendigen äusseren Verspachtelung der Fugen). Die Auswertung der Untersuchungen kommt zu folgenden Aussagen bzw. Beurteilungen:

- Offene Fugen müssen von aussen sichtbar und für die Sanierung zugänglich sein. Es wurden jedoch zahlreiche feine Delaminationen im Inneren des Trägers detektiert, die von aussen nicht erkennbar und damit nicht ausgefüllt wurden.
- Die Oberfläche des Trägers wird durch das seitliche Zuspachteln optisch beeinträchtigt, was den Auflagen des Denkmalschutzes entgegenstehen dürfte.
- Eine vollständige Ausfüllung der offenen Fugen konnte nicht erreicht werden. Durch die Sanierung erhöhte sich der Anteil der geschlossenen Fugen von 47% auf 62%. Bedingt durch die Viskosität (Fließfähigkeit) des Klebharzes ist dieser vor allem in der Lage, grössere Fugen zu schliessen
- Die offenen Fugen dürfen keine Verschmutzungen aufweisen. Dies war jedoch am eingesetzten Träger nicht gewährleistet. Verschmutzungen durch Staub und Russ in den Innenflächen der offenen Fugen erwiesen sich als massgeblich einschränkende Randbedingungen für eine Klebfugensanierung mit Klebstoffen.
- Das Holz im Fugenbereich darf keine Abbauerscheinungen aufweisen. Dies war jedoch am eingesetzten Träger nicht gegeben bzw. kann nicht mit vertretbarem Aufwand ausgeschlossen werden.
- Die Festigkeit der nicht delaminierten Fugen muss intakt sein. Da das Giessharz aufgrund der Viskosität nicht in der Lage ist, in die Grenzflächen der Holzsubstanz in den Rissflächen einzudringen und diese ggf. zu verstärken, zeigte die Mehrheit der untersuchten Proben Holzbruch mit tiefen Festigkeitswerten.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde das Ausfüllen der Risse mit dem Giessharz als Sanierungsmethode für das Tragwerk nicht empfohlen. Weitere Untersuchungen zur Anwendung des Verfahrens bei „frischen“ Delaminationen sind notwendig. Zudem sollten mobile zerstörungsfreie Methode zur Kontrolle eines Sanierungserfolgs entwickelt werden.

Parallel zur Klebstoffsanierung wurde an einem Teilstück des ausgebauten Trägers die Verstärkung mittels stabförmiger Verfahren (Vollgewindeschrauben, eingeklebte GSA-Anker) durch einen Schweizer Industriepartner untersucht. Obwohl die Versuchsbedingungen keine gesicherten und vergleichenden Aussagen zulassen, konnte bei Verstärkung mittels eingeklebter GSA-Anker eine dreifache Erhöhung der Schubfestigkeit erreicht werden. Der heute normativ geforderte Bemessungswert wurde aber um 40% unterschritten.

Die Erkenntnisse der durchgeführten Arbeiten führten bislang zu keiner Entscheidung bezüglich Massnahmen am Tragwerk des BLS Depots Aebimatt. Dies wird mit einem zeitlich begrenzten Nutzungskonzept und den gegebenen Besitz-/ Verantwortungsverhältnissen begründet. Die Träger sind seit 2008 mit Rundhölzern abgespriesst (Bild 37) und werden zweimal jährlich einer visuellen Kontrolle unterzogen. Eine Entscheidung über das weitere Vorgehen wird voraussichtlich erst nach 2020 erfolgen.



Bild 37: Absicherung des Tragwerks im BLS Lokdepot Aebimatt mit Rundholzstützen (Photo timbatec).

Literatur

- [1] Steurer, A. 2006. Entwicklung im Ingenieurholzbau, Basel: Birkhäuser. 336 S.
- [2] Schweizerische Fachgemeinschaft Holzleimbau SFH. 2006. Richtlinien für die Herstellung von Brettschichtholz. 27 S. und Anhang
- [3] Radovic, B., Goth, H. 1992. Entwicklung und Stand eines Verfahrens zur Sanierung von Fugen im Brettschichtholz. Teil 2. Bauen mit Holz. 10: 816-818.
- [4] Radovic, B., Goth, H. 1992. Entwicklung und Stand eines Verfahrens zur Sanierung von Fugen im Brettschichtholz. Teil 1. Bauen mit Holz. 9:732-742.
- [5] Smedley, D. 2007. Repair of glued laminated structures. In Cost Action E 34. Bonding on Site, Richter, K., Cruz, H., Editors., Cost Office. p. 53-58.
- [6] Anon. 2010. Zulassung 'Purbond CR421' Klebstoff für Holzbau. Schreinerzeitung, 36, 31.
- [7] Anon. 1913. Die neue Lokomotiv-Remise der S.B.B. auf dem Aebigut in Bern. Schweizerische Bauzeitung: 289- 294.
- [8] Wilson T.R.C. 1939. The glued laminated wooden arch. in USDA, Technical Bulletin. p. 92.
- [9] Blass, H. J., et. al. 1992. Wiederherstellung der Tragfähigkeit von gerissenen Brettschichtholzträgern. Bauen mit Holz. 94(2)118-121.
- [10] Bröker, F.-W., et al. 1991. Untersuchungen an zellulosefasergefüllten Epoxidharzen zur Sanierung breiter Risse in Bauholz. Bauen mit Holz. 93, 9.
- [11] Gliese, R. 1980. Sanierung von Brettschichtholzträgern mit Epoxydharz. Bauen mit Holz. 82(7)401-406.
- [12] Richter, K., et. al. (eds). 2007. Bonding Timber on Site. In Dunky M. et al. (edc) Bonding of Timber. Lignovisionen 18: 1-92. Boku Wien und Cost Office: Luxemburg.
- [13] Scheibenreiter, J. 2010. Durchführung von Sanierungsmassnahmen. Möglichkeiten und Methoden, in Wiener Leimholz Symposium: Wien, 25-31.

Danksagung

Die Autoren danken folgenden Institutionen und Personen für die Unterstützung und Zusammenarbeit:

Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung WHFF, BAFU, Bern, Herrn M. Gautschi

timbatec GmbH Thun und Zürich, Herren Ch. Hiltbrunner, S. Zöllig, G. Nef, L. Rügsegger

Purbond AG, Sempach, Herrn R. Wicki,

SBB Infrastruktur, Olten, Herrn A. Nothhelfer

Neue Holzbai AG n'H, Lungern, Herrn B. Abplanalp und T. Strahm

Prof. emeritus ETHZ E. Gehri, Rüschlikon

Mitarbeitende der Empa Abteilung Holz

Beilage 1



PURBOND® VN 3040

Zweikomponenten – Polyurethan

Sanierungsharz

Provisorisches technisches Datenblatt

Produkt Information

2K- Polyurethan Sanierungsharz für das Verfüllen von Rissen / Astlöchern und anderen Fehlstellen im Holz.

Viskosität:

Harzkomponente:	ca. 15'000 mPa.s
Härterkomponente:	ca. 250 mPa.s
Gemisch:	2 Min. nach der Mischung standfest

Mischverhältnis (Harz : Härter):

Nach Volumenteilen:	2 : 1
Nach Gewichtsteilen:	2.28 : 1

Haltbarkeit bei Raumtemperatur: 1 Jahr (ungeöffnet)

Topfzeit bei 20 °C: 10 Minuten (100 g-Mengen)

Aushärtezeit bei 20°C: 3 - 4 Stunden

Applikations-Information

Das Produkt ist unmittelbar nach dem Mischen noch gut fliessfähig. Nach ca. 1-2 Minuten verdickt das Harz, so dass es gut spachtelfähig ist und nicht mehr wegfließen kann. Die Aushärtung erfolgt dann je nach Menge und Temperatur über eine Zeitdauer von 2 bis 5 Stunden.

Die Endhärte wird nach einigen Tagen erreicht.

Das Harz kann entweder direkt nach dem Mischen (speziell bei der Anwendung über einen statischen Mischer) in noch fliessfähiger Form in das Holz vergossen werden. Dadurch wird ein gutes Eindringen sichergestellt.

Alternativ dazu kann nach einer kurzen Wartezeit von 1 bis 2 Minuten das verdickte Harz mit einem Spachtel appliziert werden.

Komponente A und Komponente B können auch in einem separaten Gefäss gemischt und nach kurzer Wartezeit wie eine übliche Spachtelmasse verarbeitet werden.

Zu beachten:

Durch nachträgliches Verrühren / Scheren verflüssigt sich das Sanierungsharz erneut.

Beilage 2



PURBOND® VN 3064

Zweikomponenten-Polyurethan Harz zur Sanierung von tragenden Holzbauteilen nach DIN 1052/EN 301

Positiv geprüft durch MPA Stuttgart, bauaufsichtliche Zulassung beantragt.

PURBOND VN 3064_D-Draft
Holzleimbau Technik 7 12-2006

Eigenschaften

PURBOND VN 3064 ist ein flüssiges Zweikomponenten Harz. Es härtet unter Vermischung der beiden Komponenten (A + B) zu einer harten, homogenen Masse aus. Eine Erwärmung des Harzes während der Härtung ist durch die chemische Reaktion bedingt und normal.

PURBOND VN 3064 ist ohne Zusatz von Lösungsmitteln und Formaldehyd hergestellt.

Einsatzgebiete

VN 3064 wird für die Sanierung von tragenden Holzbauteilen eingesetzt, um die statische Funktionsfähigkeit des Bauteils zu gewährleisten.

Produktdaten

Basis	Polyurethan
Konsistenz	gut fließend
Feststoffgehalt	100%
Farbton	beige
Viskosität Brookfield	Komponente A: ca. 15 000 mPa.s Komponente B: ca. 250 mPa.s Gemisch (A + B): ca. 4 000 mPa.s
Dichte	Komponente A: 1,41 g/ml Komponente B: 1,22 g/ml Gemisch (A + B): 1,35 g/ml
Mischungsverhältnis	Nach Volumenteilen: A : B = 2 : 1 Nach Gewichtsteilen: A : B = 2,28 : 1 → auf 1,00 kg Komp. A sind 0,439 kg Komp. B einzumischen.
Topfzeit	10 Minuten (bei 100 g Mischung und 20°C)
Aushärtezeit	Mindestens 10 Tage bei 20°C
Feuergefährlichkeit	schwer entflammbar
Beständigkeit	gegen schwache Alkalien, Säuren und Lösungsmittel
Lagerung	9 Monate ungeöffnet bei Raumtemperatur (Verfalldatum beachten)
Kälteempfindlichkeit	Nicht unter 15°C lagern
Verpackung	Gemisch (A + B): 550 g (=400 ml) 2K-Kanische Komponente A: 5 oder 20 kg Blecheimer Komponente B: 5 oder 20 kg Blechkanister



PURBOND® VN 3064

Adhesive systems for engineered wood

Deklaration

Beachte das Sicherheitsdatenblatt (MSDS) von PURBOND VN 3064.

Materialkennwerte

Materialwerte des ausgehärteten PURBOND VN 3064

Shore D Härte (DIN 53505)

84

Zugfestigkeit (ISO 527)

~ 25 – 30 N/mm², bei ca. 2 % Bruchdehnung

Druckfestigkeit

79,9 N/mm² bei 20°C

E-Modul

1'580 N/mm² bei 20°C

Verarbeitungshinweise

Vorbereitung

PURBOND VN 3064 ist zweikomponentig und wird direkt als Liefergebilde im geschlossenen System verarbeitet. Die zu verklebenden Flächen müssen sauber und frei sein von klebstoffabweisenden Substanzen wie Ölen, Fetten oder Trennmitteln.

Holzfeuchte

Die Holzfeuchte an den zu verleimenden Fügeflächen darf 15 % nicht überschreiten. Vorsicht ist geboten bei Bohrlöchern, wo die Kernfeuchte des Holzes höher sein kann.

Harzeintragung

PURBOND VN 3064 wird mittels Kartusche oder mit einem speziellen Auftragssystem manuell oder automatisch appliziert/injiziert.

Bereitstellen der Kartusche

1. Deckel abschrauben
2. Roten Stöpsel herausziehen
3. Statikmischer aufschrauben
4. Kartusche in Pistole einlegen
5. Mehrere Pumpenbewegungen ausführen, bis beide Komponenten gut gemischt austreten
6. Mit Verarbeitung beginnen

Schutz und Reinigung

Schutz- und Reinigungsmassnahmen

Schutz

Beim Umgang mit dem flüssigen Produkt ist das Tragen von Schutzhandschuhen – PURBOND Arbeitshandschuhe / Handling Gloves – und Schutzbrille dringend empfohlen.

Reinigung

Für ausgehärteten Klebstoff auf Werkzeugen oder Maschinenteilen eignet sich PURBOND Löser / Solvent. Zur Sicherheit vor der Reinigung unbedingt prüfen, ob das Material der Teile PURBOND Löser / Solvent beständig ist. Beim Arbeiten mit PURBOND Löser / Solvent sind sowohl Schutzbrille, als auch chemisch resistente PURBOND Reinigungshandschuhe / Cleaning Gloves zu tragen.

Garantie

Diese Angaben beruhen auf den Prüfergebnissen der



PURBOND® VN 3064

Anwendungstechnik von Purbond Holzeimbau und den Erfahrungen unserer Kunden.

Wir garantieren für die gleichmässig einwandfreie Qualität dieses nach ISO 9001 und 14001 hergestellten Produktes, welches aufgrund unserer langjährigen Erfahrungen für die empfohlenen Anwendungen unter den hier angegebenen Bedingungen in der Praxis getestet wurde.

Material und Verarbeitungsbedingungen können jedoch unsere Produkteigenschaften massgeblich beeinflussen. Daher sind vor dem Einsatz Versuche beim Verarbeiter unerlässlich.

Lassen Sie sich für andere Anwendungen oder Verarbeitungsbedingungen unbedingt vorher von Ihrem zuständigen Projektleiter beraten. Im übrigen gelten die allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen von Purbond AG.

Prüfzeugnisse

Adhesive systems for engineered wood