



Sechs Jahre lang war die Doppelsporthalle in Berlin gesperrt. Seit Herbst 2016 darf dort wieder geturnt werden. Dabei kann auch das Ergebnis der außergewöhnlichen Sanierung bestaunt werden.

Kraftschlüssig kleben ohne Pressdruck

Hallendachsanie rung | Sechs Jahre lang war die obere Etage einer doppelstöckigen Sporthalle in Berlin-Pankow gesperrt, bevor sie im Herbst 2016 wieder freigegeben werden konnte. Bei der Sanierung des durchhängenden Dachs betraten die Ingenieure absolutes Neuland. Dabei konnten sie zeigen, dass Verklebungen im Ingenieurholzbau auch ohne Pressdruck möglich sind. **Enrico Delock und Borimir Radovic**

Die zu sanierende Dachkonstruktion ist Bestandteil der Doppelsporthalle auf dem Grundstück Sredzkistr. 8 in Berlin-Prenzlauer Berg. Das Gebäude wurde um die Jahrtausendwende als massiver fünfgeschossiger Stahlbetonbau errichtet. Es sind zwei Sporthallen übereinander

angeordnet. Die tragende Dachkonstruktion über der oberen Sporthalle wird aus zwei trägerrostartigen Brettschichtholztragwerken in Form orthogonaler Balkenstapelkonstruktionen gebildet. Beide Trägerroste lagern dreiseitig auf den aufstehenden Außenwänden auf und stützen

sich mit der vierten Seite auf zwei Leimholzbindern ab. Die Querschnitte der Balkenstapel wurden in den auflagernahen Bereichen mit Futterhölzern ergänzt und in diesen Abschnitten sowie in den Kreuzungspunkten der Einzelträger mit Passbolzen verschraubt.

BAUTAFEL

Bauherr

Bezirksamt Pankow von Berlin

Planung und Statik

Dr.-Ing E. Delock, Recontie Ingenieure, Panketal

Prüfingenieur

Prof. Dr.-Ing F.-J. Hinkes, Hannover

Gutachter für die Verklebung

Dipl.-Ing. B. Radovic, Knittlingen

Rüstung

Brauer Baugesellschaft mbH & Co. KG, Berlin

Hydraulik

A & K Hebezeuge GmbH, Berlin

Holzbau

STRAB Ingenieurholzbau Hermsdorf GmbH, Hermsdorf

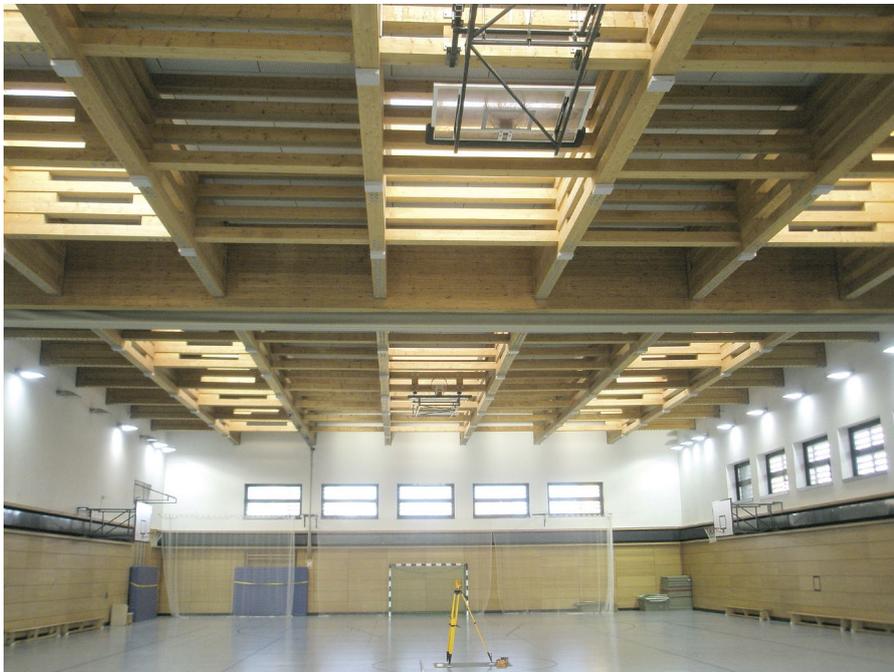


Bild: Enrico Delock

Mit bis zu 23,1 cm waren die Verformungen des als Trägerrost ausgeführten Hallendachs viel zu groß.



Bild: Enrico Delock

In zahlreichen Verbindungen waren Lochleibungsbrüche auszumachen. Durch die hohen Lochleibungskräfte war es außerdem zu Stauchungen in den Holzfasern gekommen.

Bauzustandsgutachten zeigt Schäden auf

Bereits nach kurzer Standzeit traten in der Dachkonstruktion Verformungen auf, die die rechnerisch ermittelten und zulässigen Werte wesentlich überschritten. Im Ergebnis durchgeführter Messungen, Begutachtungen der Konstruktion und einer vergleichenden statischen Berechnung wurde festgestellt, dass die Steifigkeit der Trägerroste zu gering ist.

Die Verformungen nur unter Eigengewicht des Dachs betragen beim Nordrost 18,8 cm und beim Südrost 23,1 cm (Durch-

hang 13,4 cm + 9,7 cm aus projektmäßiger Überhöhung). Des Weiteren wurde ein ausgeprägtes Abknicken der Biegelinie des Untergurts am 1. Kreuzungspunkt der Träger-scharen festgestellt. Am 1. und 2. Kreuzungspunkt haben sich die Passbolzen schräg gestellt. Es ist teilweise zum Lochleibungsbruch im Holz gekommen, und die Holzfasern wurden zwischen den Passbolzen bis zum Bruch gestaucht.

Aufgrund der Ergebnisse der Begutachtung und der weiteren Zunahme der Verformungen veranlasste das BA Pankow im März 2011, dass eine Notabstützung für bei-

de Trägerroste eingebaut und die obere Sporthalle gesperrt wird.

Die Form und die Gestaltung des Dachtragwerks sollten so weit wie möglich erhalten bleiben. Die lichte Raumhöhe der Sporthalle von 7 m muss nach der Sanierung des Dachtragwerks eingehalten werden. Des Weiteren sollte die untere Sporthalle während der Planung und Ausführung der Sanierung der oberen Sporthalle nutzbar bleiben.

Füllhölzer als Sanierungslösung

Für die Sanierung muss das gesamte Dachtragwerk angehoben werden, um die derzeit vorhandenen, unzulässigen Verformungen herauszunehmen. Da die Abstützung auf der Decke der unteren Sporthalle des Gebäudes erfolgt, dürfen die Größe und die Verteilung der Stütz- und Hebellasten die zulässige Nutzlast dieser Decke nicht überschreiten. Die Berechnung und konstruktive Ausbildung der Abfang- und Hebelkonstruktion war Bestandteil des Sanierungsprojekts.

Die Sanierung der Dachkonstruktion erfolgte durch die Herstellung starrer Trägerscharen. Dabei wurden die ursprünglich nachgiebigen Passbolzenverbindungen zwischen den Balkenlagen der Träger-scharen durch eine starre Verleimung der Einzelquerschnitte ersetzt. Dies geschah durch Einleimen von Brettschichtholzstäben in die vorhandenen Zwischenräume der Trägerscharen.

Für die Verklebung der Einzelquerschnitte zu starren, vollwandigen Trägerquerschnitten kam das WEVO-Spezialharz EP 20 VP1 zur Anwendung, das bislang nur für die Rissanierung von tragenden Brettschichtholzteilen zugelassen ist. Aus diesem Grund war für die Ausführung der Sanierungslösung eine Zustimmung im Einzelfall bei der Obersten Bauaufsicht der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung von Berlin erforderlich.

Eignung am 1:1-Modell nachgewiesen

Im Vorfeld der geplanten Sanierung der Brettschichtholzträgerroste mittels Blockverklebung wurde eine Probeverklebung an einem 1:1-Modell durchgeführt [1], das den tatsächlichen Gegebenheiten der zu sanierenden Konstruktion entsprach. Mit dem Bau des 1:1-Modells für die Probeverklebung der Füllhölzer wurde vom Bezirks-



Bild: Enrico Delock

Das Sanierungskonzept sah eine bisher nicht erprobte Methode vor. Daher wurden an einem 1:1-Modell Prüfungen durchgeführt und mit den Ergebnissen wurde eine Zustimmung im Einzelfall erwirkt.

Ein wesentlicher Teil des Sanierungskonzepts war die Planung der Abstützung.



Bild: Enrico Delock

amt Pankow FB Hochbau die Firma STRAB-Ingenieurholzbau Hermsdorf GmbH beauftragt. Die Verklebung der Füllhölzer erfolgte auf der Grundlage der Arbeitsanweisung aus dem Versuchsprogramm. Es wurde eine Sollfugenstärke von $2,5 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ festgelegt.

Aus dem durch die Blockverklebung entstandenen Verbundholzträger wurden dann vier Probekörper zur Bestimmung der Biege- bzw. Schubfestigkeit des Verbundquerschnitts, Abmessungen: Länge 300 cm, Breite 26/20 cm, Höhe 19 cm, und sieben Druck-Scher-Probekörper, Scherfläche $2 \times 24,5 \text{ cm} \times 90 \text{ cm}$, zur Bestimmung der Scherfestigkeit im Bereich der Klebfugen geschnitten. Aus den Restteilen des Verbundholzträgers wurden acht Bohrkern (Durchmesser 3,5 cm) ebenfalls zur Bestimmung der Scherfestigkeit im Bereich der Klebfuge entnommen.

Die Prüfung der Probekörper erfolgte bei HFB Engineering, Leipzig. Beim Biege-Schub-Versuch trat bei allen vier Prüfträgern ein reiner Biegebruch im Holz auf. Ein Schubversagen der Klebefuge wurde nicht

erreicht. Die ermittelte Biegefestigkeit bewegte sich zwischen $53,5 \text{ N/mm}^2$ und $96,3 \text{ N/mm}^2$ (Mittelwert $79,5 \text{ N/mm}^2$). Die rechnerische Schubspannung beim Bruch betrug zwischen $5,1 \text{ N/mm}^2$ und $9,2 \text{ N/mm}^2$ (Mittelwert $7,6 \text{ N/mm}^2$).

Bei den Druck-Scherversuchen wurde eine Scherfestigkeit der Klebfuge zwischen $6,13 \text{ N/mm}^2$ und $7,84 \text{ N/mm}^2$ (Mittelwert $7,25 \text{ N/mm}^2$) ermittelt. Bei allen Proben verlief der Bruch im Holz. Die an den Bohrkernen ermittelte Scherfestigkeit lag zwischen $5,71 \text{ N/mm}^2$ und $7,72 \text{ N/mm}^2$ (Mittelwert $6,81 \text{ N/mm}^2$) bei einem Holzfaserverlag von 100 Prozent. Damit wurden die Anforderun-

gen nach DIN EN 386 und DIN 14080 voll erfüllt.

Alle Versuchsergebnisse deuteten auf eine sehr gute Verklebung hin. Auf der Grundlage der Versuchsergebnisse und der gutachterlichen Stellungnahme erfolgte am 27.01.2014 die Zustimmung im Einzelfall Nr. 40/11 von der Obersten Bauaufsicht von Berlin.

Detailliert geplant und umgesetzt

Die vorhandene Notabstützung (zwölf Gerüsttürme Doka) wurde um weitere 24 Türme ergänzt, damit der Trägerrost an den 36 Knoten angehoben werden kann.

Bild: Enrico Delock



Mit Hydraulikpressen wurde das Hallendach Stück für Stück angehoben und sogar überhöht.

Die Zwischenräume in der Gitterroststruktur wurden mittels Füllhölzern verstärkt und so die Schub- und die Biegesteifigkeit der Gesamtkonstruktion erhöht.



Bild: Enrico Delock

ten. Des Weiteren wurde der Randträger mit sechs Türmen abgestützt. Diese Maßnahme war erforderlich, um die vorhandenen Hublasten vom Dachtragwerk gleichmäßig auf die Decke der unteren Sporthalle zu verteilen. Die Doka-Gerüsttürme wurden mithilfe einer Stahlrohrrüstung zu einem Flächenarbeitsgerüst erweitert und ergänzt.

LÜBBERT WARENHANDEL
www.holzleime.de

**Bauen
und
Leben
mit
Holz!**

WEVO-Spezialharze für:

- die Sanierung tragender Holzbauteile,
- das Einkleben von Stahlstäben und Lochblechen (HBV-/HSK-Systeme) in tragende Holzbauteile und
- die Beschichtung von BSH-Stützenfüßen

Beratung und Vertrieb:

Ulrich Lübbert Warenhandel GmbH & Co. KG
Norderstedter Str. 26 – 24558 Henstedt-Ulzburg
Tel.: +49 (0)4193 8978 0 – Fax: +49 (0)4193 8978 18
E-Mail: info@holzleime.de – Web: www.holzleime.de



Bild: Borimir Radovic



Die Füllhölzer wurden dann mit dem bestehenden Tragwerk verklebt.

Bild: Enrico Delock



Nach der Sanierung wurden Bohrkern gezogen. Sie geben Auskunft über die Qualität der Verklebungen.

Die Rüstung ist für zwei Lastfälle nachgewiesen:

Lastfall 1: Verkehrslast $1,5 \text{ kN/m}^2 + 20 \text{ kN}$ Eigengewicht der Dachkonstruktion pro Gerüstturm

Lastfall 2: Verkehrslast $0 \text{ kN/m}^2 + \text{max. Hublast}$ von 35 kN pro Gerüstturm

Die Hublastbegrenzung auf 35 kN pro Gerüstturm war erforderlich, damit die zulässige Flächenlast von 5 kN/m^2 der Decke über der unteren Sporthalle eingehalten wird.

Kontrolliert angehoben und verklebt

Auf den 36 Gerüsttürmen wurden hydraulische Lastzylinder mit einer erforderlichen Hubhöhe von 25 cm angeordnet. Des Weiteren wurde ein elektronisches Wegmesssystem zur Überwachung des Hubvorgangs installiert. Gehoben wurde in 5-mm -Schritten nach einem vorgegebenen Hubregime. Während des Hebens wurde die Durchbiegung der Decke der unteren Sporthalle kontrolliert. Der Hub des Trägerrosts wurde in zwei Schritten ausgeführt.

1. Schritt: bis zur Waagerechten der Dachkonstruktion
2. Schritt: $3,5 \text{ cm}$ Überhöhung der Dachkonstruktion

Nach Abschluss des Hubs wurden die Hubzylinder arretiert. Die 36 Hubzylinder bildeten dann das Lehrgerüst für die Sanierung des Trägerrosts.

Da das gesamte Schulgebäude der Grundschule am Kollwitzplatz (Sredzkistr./Knaackstr.) mit Grünflächen, Sportanlagen und dem Pausenhof gestaltet ist, war nur eine kurzzeitige Sperrung des Schulhofs möglich. Für den Transport der Bau- und Gerüstmaterialien stand nur eine sehr schmale Einfahrt zur Verfügung. Die Bau- und Gerüstmaterialien wurden vom Lkw sofort in die obere Sporthalle verbracht.

Die Blockverklebung wurde an beiden Trägerrosten nach der im 1:1-Modell erprobten Technologie durchgeführt. Es waren die Auflagen und Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-9.1-750 des DIBt und das technische Datenblatt von WEVO zu beachten. Die Verklebung erfolgte bei einer Temperatur zwischen rund $20 \text{ }^\circ\text{C}$ und $24 \text{ }^\circ\text{C}$ und einer relativen Luftfeuchte zwischen rund 30 Prozent und 50 Prozent nach den nachfolgenden Arbeitsschritten:

- Messung der Holzfeuchte (diese betrug zwischen rund acht bis zehn Prozent)
- Herstellung der Bohrungen für die Verfüll- und Entlüftungsöffnung mit einem Durchmesser von 9 mm im Abstand von ca. 20 cm
- Abschleifen der zu verklebenden Flächen der vorhandenen Brettschichthölzer mit anschließendem Absaugen des Schleifstaubs.
- Einpassen der neuen Füllhölzer
- Anbringen von Abstandshaltern
- Fixierung der Füllhölzer mit Holzkeilen
- Säubern der Bohrlöcher und Klebfugen mittels Pressluft, Klebflächen müssen absolut sauber und staubfrei sein
- Messen der Fugendicke
- Abdichten der Fugen (Spachtelmethode)
- Abkleben der Holzbereiche um die Bohrlöcher herum mit transparentem Klebeband
- Mischen der Klebstoffkomponenten
- Einfüllen des Klebstoffes in Ein-Liter-Kartuschen und Anbringen der Kartuschen in den luftdruckbetriebenen Kartuschenpistolen
- Verfüllen der Fugen mit Klebstoff
- Verschließen der Verfüll- und Entlüftungs-löcher mit Holzdübeln

– Protokollierung der Klebstoffmenge (Soll- und Istmenge) und der Fugendicke pro Fuge, der Holzfeuchte der zu verklebenden Stäbe, der Chargen-Nr. des Klebstoffs, des Tags der Verklebung, der Temperatur und der relativen Luftfeuchte.

In den Randfeldern wurde beidseitig eine rund 3 mm dicke und rund 3 bis 4 cm tiefe Fuge zwischen den übereinander liegenden Brettschichthölzern geschnitten und in Analogie zu den oben beschriebenen Arbeitsschritten verfüllt.

Aufgrund der vorhandenen Verdrehung der Einzelstäbe des Trägerrostes musste die Klebfugendicke angepasst werden. Die Sollfugendicke wurde auf 2,5 mm + 1,0 mm angehoben. Die Klebfugendicke lag damit zwischen 1,5 bis 3,5 mm.

Bis auf die Randfelder erfolgte die Füllung der Klebefugen gleichzeitig von beiden Seiten, wobei von den Ausführenden sehr darauf geachtet wurde, dass die Füllung langsam und gleichmäßig erfolgt. Bei dem Klebstoffaustritt aus dem nächstgelegenen Loch wurde das Verfüllloch mit einem Holzdübel 10/40 mm verschlossen.

Im 2. Trägerrostfeld des Nord- und Südrostes wurden die kurzen Zwischenhölzer ausgebaut und durch lange Zwischenhölzer ersetzt. Dafür mussten insgesamt 960 Passbolzen (Durchmesser 20 mm, $l = 1,65$ m) hydraulisch gezogen werden. Es wurden insgesamt 180 Stäbe (20×20 cm, $l = 3,00$ m) pro Trägerrost eingepasst und verklebt. Die Gesamtlänge der Klebefuge betrug hierfür 1.134 m. Für die Holzbausanierung der beiden Trägerrostes wurde eine Bauzeit von fünf Monaten benötigt.

Bohrkerne bestätigen die Verklebungsqualität

Zur Überprüfung der Qualität der Verklebung der Trägerrostes wurden im Bereich von Klebefugen insgesamt 102 Bohrkerne nach Zufallsgesichtspunkten entnommen. Dabei konnte eine vollständige Verfüllung der Klebefugen festgestellt werden [2]. Die Bohrkerne waren rund 8,0 cm lang, so dass aus diesen in der Regel jeweils zwei Proben entnommen werden konnten. Bis auf die Randbereiche wurde bei einer der beiden Proben die Scherfestigkeit zum neuen Holz und bei der anderen Probe die Scherfestigkeit zum alten Holz ermittelt. In den Randfeldern waren nur alte Brettschichthölzer vorhanden, so dass dort nur die Scherfes-



Bild: Enrico Delock

Im sanierten Hallendach ist die Ursprungsstruktur gut erkennbar, was im Vorfeld als wesentliches Ziel definiert worden war.

tigkeit zum alten Holz bestimmt werden konnte, und zwar sowohl im Bereich der gefrästen Fuge als auch im Bereich hinter dieser Fuge.

Es wurde eine Scherfestigkeit zwischen 4,5 N/mm² und 12,4 N/mm² ermittelt. Der Holzfaserbelag betrug mit wenigen Ausnahmen in der Regel 100 Prozent. Bei 90 Prozent Holzfaserbelag wurde eine Scherfestigkeit größer als 6,0 N/mm² erzielt. Demnach haben alle Proben die Anforderungen der DIN EN 386 bzw. der neuen DIN EN 14080 erfüllt.

Zusammenfassung: Eignung des Spezialharzes nachgewiesen

Am gesamten Dachtragwerk einschließlich Unterdecke, Dachschalung, Attika, Oberlichte und Dachabdichtung ist es zu keinem Schaden beim Hub und Absenken der Trägerrostes gekommen. Die Überprüfung des Schwingbodens der oberen Sporthalle ergab, dass die Werte nach DIN V 18032 Teil 2 eingehalten werden. Das angeordnete und berechnete Lastverteilungssystem unter den Gerüsttürmen hat die gleichmäßige Lastverteilung von maximal 5 kN/m² gewährleistet.

Mit einem 1:1-Modellversuch und der Baustellenverklebung konnte erstmals in Deutschland der Nachweis erbracht werden, dass eine Blockverklebung im Holzbau ohne Pressdruck mit dem WEVO-Spezialharz EP 20 VP 1 technisch ausführbar ist.

Die entwickelte und erprobte Technologie der Verklebung von Holzquerschnitten mit dem WEVO-Spezialharz ist besonders für die Verstärkung bestehender Holzkonstruktionen geeignet, wenn kein Pressdruck für die Verklebung erzeugt werden kann. Des Weiteren lassen sich mit diesem Verklebungsverfahren beispielsweise aber auch biegesteife Montagestöße von großen vorgefertigten Konstruktionssegmenten im Holzbau ohne Pressdruck realisieren. ■

Literatur

- [1] Delock, E.; Abschlussbericht zum Versuch und zur Prüfung der Probeverklebung der Füllhölzer am 1:1-Modell des Brettschichtholz-Stapel-Rostes, 12/2013
- [2] Radovic, B.; Acker, U.; Gutachterliche Stellungnahme zur Sanierung des Dachtragwerkes der Doppelsporthalle Sredzkistraße – Scherprüfung der Klebefuge nach DIN EN 386/DIN EN 14080, Nordrost (10.02.2016) und Südrost (18.05.2016)

Autoren

Dr.-Ing. Enrico Delock ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Holzbau (BBIK) und Gesellschafter der Recontie Ingenieure Gesellschaft für Bauplanung mbH in Panketal.

Dipl.-Ing. Borimir Radovic war bei der Sanierung der Doppelsporthalle als Gutachter für die Verklebung zuständig.