

# NEUE WEGE FÜR DIE MULTIHALLE MANNHEIM

## DENKMALGERECHTE SANIERUNG EINES EXPERIMENTALBAUWERKS

Die Mannheimer Multihalle ist die weltgrößte freitragende Gitterschale über amorphem Grundriss. Das Pionierbauwerk des Leichtbaus wurde von Pritzker-Preisträger Frei Otto anlässlich der Bundesgartenschau 1975 erschaffen. Die ursprünglich nur als temporäres Bauwerk geplante Halle hat aufgrund ihrer Einmaligkeit international Beachtung gefunden und gilt heute als Kulturdenkmal von besonderer Bedeutung. Es ist der Experimentierfreude und der flexiblen Zusammenarbeit der damaligen Beteiligten zu verdanken, dass dieses herausragende Zeugnis der Ingenieurbaukunst realisiert werden konnte – und es ist dieselbe Experimentierfreude der aktuellen Verantwortlichen, die das architektonische Meisterwerk heute wieder mit Leben füllt

Nach der Bundesgartenschau 1975 erlebte die Multihalle eine vielfältige Nutzung: Pop-Konzerte, Märkte, Parteitage und Ausstellungen fanden hier statt. Bis in die neunziger Jahre wurde die befristete Baugenehmigung immer wieder verlängert. Dann zeigten sich deutliche Verformungen im Dachtragwerk und die Standsicherheit wurde infrage gestellt. Um dem entgegenzuwirken, wurde in der Halle ein Gerüstturm als Notunterstützung aufgestellt. Die mittlerweile in die Jahre gekommene Membran ist stellenweise undicht. Die Schäden an der Dachhaut führten zur Durchfeuchtung der Randträger, welche in Teilbereichen unterstützt werden mussten. Um die Multihalle langfristig zu erhalten, was der Stadt Mannheim ein Anliegen ist, ist eine umfassende Sanierung notwendig.

„Mit unseren kompetenten Partnern und dem Willen aller, die Multihalle zu erhalten und zu einem lebendigen Ort der Begegnung für die Mannheimerinnen und Mannheimer zu machen, gehen wir einen innovativen Weg der Sanierung. Vor dem eigentlichen Baubeginn wurde die Instandsetzung des Daches in Testflächen intensiv erprobt. Die damit gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen optimierte Ausschreibung und Durchführung, um so auch die Kosten in einem angemessenen Rahmen zu halten“, erläutert der für das Projekt verantwortliche Mannheimer Baubürgermeister Ralf Eisenhauer.

### Experimentelle Herangehensweise für das „Wunder von Mannheim“

Wie geht man an die Sanierung eines solchen Experimentalbauwerks heran? Für den Denkmalschutz ist die Bewahrung des Kulturgutes und der größtmögliche Erhalt der Originalsubstanz von vorrangiger Bedeutung. Zu den konservatorischen Werten der Multihalle gehören die Konstruktion als Gitterschale mit Spannweiten von bis zu 60 Metern, die Freiform, die Holzraute, die Transluzenz der Dachhaut, die Stützenfreiheit und die Form der Randträger. Das Gebäude ist vor allem durch seine filigrane Konstruktion charakterisiert, welche auf die geschickte Wirkung des Tragwerks zurückzuführen ist. Für die Sanierung ist anzustreben, die Tragwirkung der Konstruktion zu erhalten und die Sanierungsmaßnahmen auf ein Minimum zu beschränken. Gleichzeitig sind baurechtliche Anforderungen zu erfüllen. Da das Gebäude bisher nur als temporäres Bauwerk genehmigt war, musste eine Baugenehmigung für ein dauerhaftes Bauwerk unter Berücksichtigung der aktuell geltenden Normen und Regelungen erwirkt werden. Eine Herausforderung bildet dabei auch der Brandschutz.

Das Besondere an einer Gitterschale ist, dass durch ihre zweifach gekrümmte Fläche ein leichtes räumliches Tragwerk entsteht, das in seiner Idealform nur durch Druck beansprucht wird. Bei der Multihalle wurden ca. 72 Kilometer Holzlatten aus westamerikanischer Hemlocktanne mit einem Querschnitt von 5 x 5 cm zunächst am Boden ausgelegt und mit Bolzen zu einem beweglichen Gitter mit einer Maschenweite von 50 cm verbunden. Neben der gleichmäßigen Belastung durch Eigengewicht treten durch Wind und Schnee ungleichmäßige Lasten auf, was zusätzlich eine Biegesteifigkeit des Gitters nötig macht. Über den mehrlagigen Aufbau des Gitters in den Bereichen mit großer Spannweite wird das in der Multihalle erreicht. Die zusammengesetzten Latten sind nur an den Bolzen miteinander verbunden und konnten sich beim Aufrichten der Schale durch Langlöcher gegenseitig zueinander verschieben. Anschließend wurden die Bolzen angezogen und damit die Form fixiert und die zusammengesetzten Latten miteinander gekoppelt. Um die Steifigkeit in einigen Bereichen weiter zu erhöhen, wurden Schubverbinder eingebaut. Diagonal verlaufende Seile steifen das Gitter zusätzlich in seiner Ebene aus. Die Ränder der Gitterschale sind mit unterschiedlichen Details befestigt. Größtenteils lagern sie über ein auf Stahlarmchen gestütztes Randbrett auf einer Stahlbetonkonstruktion auf. Im Eingangsbereich läuft das Gitter zwischen zweiteilige, fischbauchförmige Randträger aus Brettschichtholz, welche auf Stahlstützen aufliegen. Die Enden der Zugangstunnel werden von Sperrholzbögen überspannt. In einem Bereich wird das Gitter von einem seilgestützten Rand getragen.

## Ein Blick in die Zukunft der Multihalle

Als der Mannheimer Gemeinderat im Juli 2019 die Sanierung der Multihalle beschloss, waren der Entscheidung bereits mehrere Gutachten, die Entwurfsplanung zur Sanierung des Dachtragwerks und ein Ideenwettbewerb zur zukünftigen Nutzung der Halle vorausgegangen. Das Schadensbild der Halle war aus vorangegangenen Untersuchungen sowie aus der Bestandsaufnahme im Rahmen der Vorplanung zur Sanierung bekannt. Zusätzlich wurde eine exemplarische Schadenskartierung im Auftrag des Landesamtes für Denkmalpflege durchgeführt. Die verformte Geometrie der Halle wurde durch eine aktuelle Vermessung mit einem Laserscan aufgenommen. Für die Berücksichtigung der Lasten wurde ein aktuelles Wind- und Schneegutachten eingeholt.

Das Ingenieurbüro Fast + Epp aus Darmstadt, das von der Stadt Mannheim für die Planung der Sanierung der Dachkonstruktion beauftragt wurde, hatte im Entwurf auf Basis von zwei verschiedenen FE-Modellen unterschiedliche Lastansätze auf den Ursprungszustand und die aus der Vermessung bekannte verformte Struktur aufgebracht. Die Auswertung und der Vergleich der Modelle ergaben, dass für eine dauerhafte Standzeit die Steifigkeit des Dachtragwerks erhöht werden muss, um die Stabilität der Halle zu gewährleisten. Die aufgetretenen Verformungen haben zudem höhere Biegemomente erzeugt, was die Tragfähigkeit weiter reduziert hat. Eine Wiederherstellung der Geometrie war daher aus statischer Sicht wünschenswert. Ob sich die ursprüngliche Geometrie dauerhaft wiederherstellen lässt, ist fraglich. Die Verformungen bestanden bereits über einen längeren Zeitraum. Es ist wahrscheinlich, dass bereits plastische Verformungen entstanden sind. Lokale Schäden an den Latten wie Brüche oder Risse haben nur einen untergeordneten Einfluss auf die Tragfähigkeit des Bauwerks.

Das Entwurfskonzept zur Sanierung sah daher vor, das Gitter großflächig durch eine weitere Lage zu ergänzen. Je nach Hallenteil sollte das Doppelgitter nur in einer Richtung oder in beide Richtungen verstärkt werden. Das Konzept sollte in der weiteren Planung optimiert werden. Hiermit ergab sich ein gutes Bild für die Kostenberechnung, für die der genaue Umfang der

Verstärkungen unerheblich war, da ein Großteil der veranschlagten Kosten auf die Ausbesserung der bestehenden Gitterschale, die Rüstungsarbeiten sowie die Betoninstandsetzungsarbeiten zurückzuführen war. Um die Finanzierung zu klären, vereinbarten Bauherrin und Planer 2015 gemeinsam, die Planung zunächst zu unterbrechen und kostspielige Untersuchungen hintenanzustellen. Die Stadt Mannheim wollte zunächst Spendengelder von privaten Geldgebern, aber auch von Land und Bund einwerben.

## Die Multihalle als „Democratic Umbrella“

Für die Multihalle musste zudem eine neue Nutzung gefunden werden, da die Sanierungskosten für die reine Erhaltung eines Denkmals der Öffentlichkeit nicht zu vermitteln gewesen wären. Aus dem Ideenwettbewerb zur zukünftigen Nutzung der Multihalle ging die Rotterdamer Architektengemeinschaft COFO Architects und PEÑA architecture als einer der Sieger hervor, welche nun den Nutzungsausbau planen. Die Multihalle soll durch aktive Bespielung wieder im Bewusstsein der Mannheimer Bevölkerung verankert und mit ihrem Umfeld verzahnt werden. In einem zugangsoffenen Konzept wird sie zur sozialen Integration der angrenzenden Stadtteile aus dem zahlungspflichtigen Teil des Herzogenriedparks, wo sie sich aktuell befindet, herausgelöst. Die Dachkonstruktion der Multihalle soll dieser visionären Nutzung nicht nur den notwendigen Raum bieten, sondern durch ihre ikonographische Architektur die Idee eines „Democratic Umbrella“ in der öffentlichen Wahrnehmung symbolisieren.

Mit der Förderzusage des Bundes im Rahmen des Programms „Nationale Projekte des Städtebaus“ 2019 wurden die weiteren Planungen zur Sanierung der Dachkonstruktion wiederaufgenommen. Die Stadt Mannheim konnte 2021 mit der Wüstenrot Stiftung einen starken Partner gewinnen, der die Sanierung und die Durchführung der probeweisen Instandsetzung (Testflächen) nicht nur finanziell, sondern auch mit ihrer Expertise bei der Sanierung von Baudenkmalern unterstützt. Das Projekt profitierte von zusätzlichen Fördermitteln der Deutschen Stiftung Denkmalschutz und des Landesamts für Denkmalpflege. Die Sanierung der Multihalle gliedert sich in mehrere Teilprojekte, die von unterschiedlichen Fördermittelgebern unterstützt werden. Die Sanierung des Dachtragwerks wurde dabei von der Betonsanierung und dem Innenausbau entkoppelt. Die Testflächen stellen ein eigenständiges Teilprojekt dar. Ein weiteres Vorhaben umfasst die Umgestaltung der denkmalgeschützten Außenanlage, einschließlich des Baus eines neuen Haupteingangs, um die Multihalle zukünftig frei zugänglich zu machen.

In gemeinsamen Arbeitstreffen berieten Bauherrin, Wüstenrot Stiftung und die Ingenieure von Fast + Epp, welche Schritte in der weiteren Planung notwendig sind, um eine denkmalgerechte Sanierung sicherzustellen und die Risiken für die Bauherrin zu reduzieren.

Die Sanierungsmaßnahmen in einer Ausschreibung hinreichend genau zu beschreiben, dass ein Holzbauunternehmen die Arbeiten kalkulieren kann und Nachträge vermieden werden können, war eine der größten Herausforderungen.

Der wissenschaftliche Beirat der Wüstenrot Stiftung setzte dabei wichtige Impulse zur Optimierung des Sanierungskonzepts. Diese griff das Ingenieurbüro Fast + Epp auf, um der filigranen Konstruktion der Multihalle gerecht zu werden.

## Ein evolutionärer Algorithmus für ein optimiertes Sanierungskonzept

Bei der Sanierung müssen zunächst die schadhafte Stellen in der Gitterschale repariert werden, bevor das Dachtragwerk durch weitere Lattenlagen in ausgewählten Bereichen verstärkt wird. Weiterhin sollen bei der Sanierung die defekten Randträger ersetzt werden.

Die Verstärkungsbereiche wurden von Fast + Epp durch parametrische Berechnungen unter Verwendung eines evolutionären Optimierungsalgorithmus optimiert, um das Eigengewicht der Verstärkung für die erforderliche Tragfähigkeit zu minimieren. Dazu mussten die Bereiche des Daches bestimmt werden, in denen eine Verstärkung besonders wirksam ist. So wird sichergestellt, dass kein Gramm Holz zu viel verbaut wird.

Die Berechnungen legten den Einsatz von Verstärkungsbändern in den beiden größeren Hallenteilen nahe, wobei in der Veranstaltungshalle aufgrund der größeren Spannweite mehr Bänder erforderlich sind. Die Bänder wurden kreuzweise angeordnet. Zwei der Bänder kreuzen sich am Punkt mit der größten Verformung der Kuppel. In der kleinen Halle über dem Restaurant sind nur zwei Verstärkungsbänder notwendig. Diese liegen im hinteren Bereich der Halle, wo die Krümmung der Schale recht flach ist und sich so die Schalenwirkung nicht so gut einstellen kann. In diesem Bereich sind auch bereits zusätzliche Latten im Bestand vorhanden. In den einlagigen Zugangstunneln zeigte sich, dass vor allem eine Verstärkung der Hüftbereiche notwendig ist.

Das optimierte Sanierungskonzept sieht zusätzlich vor, die Gitterschale in Teilbereichen zurück zu verformen, um das Tragverhalten der Dachkonstruktion zu verbessern und die Verstärkungsmaßnahmen auf ein Minimum zu reduzieren. Die Berechnungen zeigten, dass eine dauerhafte Rückverformung von etwa 60% notwendig sein würde, um das Sanierungskonzept mit einzelnen Verstärkungsbändern umsetzen zu können. Die Ingenieure von Fast + Epp reizten die Grenzen des Tragwerks aus, um das ursprüngliche Erscheinungsbild zu bewahren und den Charakter des Leichtbaus zu erhalten. Es stand die Frage im Raum, inwieweit sich das Dachtragwerk schadfrei anheben lässt und welcher Erfolg dauerhaft erreicht werden kann.

Um Sicherheit bezüglich der Kosten und Termine zu erhalten, wurde übereinstimmend beschlossen, aufgrund der Komplexität des Bauwerks Erkenntnisse für eine mögliche Sanierung über eine probeweise Instandsetzung zu gewinnen. So sollten die Fragen der baupraktischen Umsetzung geklärt werden, aber auch die Auswirkungen auf das Erscheinungsbild der Multihalle. Mithilfe dieser experimentellen Vorgehensweise, die ohne das Engagement der Wüstenrot Stiftung nicht denkbar gewesen wäre, sollte die Durchführbarkeit unterschiedlicher Sanierungsvarianten lokal überprüft werden, um möglichst frühzeitig baupraktische Hindernisse zu erkennen und den späteren Sanierungsablauf optimieren zu können. Um das zu erreichen, wurde auch das lokale Mannheimer Holzbauunternehmen Elsässer GmbH & Co. KG in die Entwicklung der Details eingebunden. Die dadurch gewonnenen Erkenntnisse sollten auch Aufschluss über den notwendigen Bauablauf geben.

## Testflächen: einmalige Herangehensweise für ein einmaliges Bauwerk

Um der Einmaligkeit des komplexen Bauwerks und seinem experimentellen Charakter gerecht zu werden, haben Bauherrin und Planer einen Weg gewählt, der deutlich über die üblichen Planungsschritte im Hochbau hinausgeht. Insgesamt wurden von Fast + Epp drei repräsentative Testflächen in der Multihalle angelegt, welche von der Wüstenrot Stiftung finanziert, gesteuert und intensiv begleitet wurden. Im Zuge der Testflächen wurden unterschiedliche Herangehensweisen erprobt, um die für die weitere Sanierung Beste zu ermitteln.

"Die Sanierung der Mannheimer Multihalle ist nicht nur eine technische Herausforderung, sondern auch eine Verpflichtung gegenüber dem kulturellen Erbe. Mit Experimentierfreude im Geiste der ursprünglichen Planer erbringen wir mit der Sanierung eine Pionierleistung in der Anwendung experimenteller Methoden“, erläutert Dr. Jochen Stahl, Geschäftsführer der Fast + Epp GmbH.

„Der Bau der Multihalle war ein wegweisendes Experiment für den Schalenbau weltweit. Gleiches gilt für die Sanierung. Das öffentliche Vergaberecht lässt jedoch nicht viel Raum für exploratives Vorgehen. Die Wüstenrot Stiftung hat dies durch die Finanzierung und Organisation der Testflächen ermöglicht. Wir sind stolz auf diesen Beitrag, bei dem explizit auch Fehler erlaubt waren und durch den möglichst große Sicherheit für die Ausschreibung und Sanierung des Hallendachs geschaffen wurde“, ergänzt Prof. Philip Kurz, Geschäftsführer der Wüstenrot Stiftung.

Eine der Testflächen befasste sich mit der Montage der Verstärkungslatten und den Übergangsdetails, dem Einbau von Schubverbindern, den Anschlussdetails an die Randbereiche sowie dem Austausch der Bolzen und der Aussteifungsseile. An einer weiteren Testfläche wurde das Rückverformen einer Beule getestet, um herauszufinden, ob sich das Gitter schadfrei zurückdrücken lässt. Durch eine Vermessung sollte überprüft werden, ob die Geometrie nach Rückbau der hierzu erforderlichen temporären Stützung in der geplanten Geometrie verbleibt. In einer dritten Testfläche wurde ein Randträger geöffnet und ausgetauscht. Dabei sollte eine Verstärkung der Verbindung der beiden Randträgerhälften durch Schubblöcke sowie ein verbesserter Anschluss der Membran getestet werden. Durch den Ausbau der Träger konnte zudem der Zustand der bisher nicht einsehbaren äußeren Randträgerhälften besser beurteilt werden, um Rückschlüsse auf den notwendigen Umfang des Austauschs der Träger zu ziehen.

## Testfläche 1: Holzverstärkungen in der Veranstaltungshalle

An Testfläche 1 in der Veranstaltungshalle wurden zwei der Verstärkungsbänder im nordöstlichen Bereich teilweise angebracht. Durch Gespräche mit ausführenden Firmen wurde deutlich, dass die Verstärkungslatten auf der Innenseite montiert werden sollten, um die Bestandsmembran möglichst lange als Witterungsschutz verwenden zu können und diese Arbeiten nicht mit Industriekletterern von außen auf der Schale durchführen zu müssen.

In enger Zusammenarbeit und im stetigen Austausch zwischen dem Tragwerksplaner und dem ausführenden Unternehmen wurden beschädigte Elemente der vorhandenen Konstruktion durch das Holzbauunternehmen mit Hilfe eines Schadenskataloges identifiziert, markiert und anschließend ausgetauscht bzw. erneuert. Neues und altes Holz wurde mittels seitlichen Holzlaschen und Vollgewindeschrauben verbunden. Die reparierten Schäden wurden in Plänen dokumentiert. Dieses Vorgehen bei der Schadenskartierung hat sich bewährt und soll so auch bei der Sanierung angewendet werden.

Nach Beendigung der Reparaturarbeiten wurden die zusätzlichen Lagen angebracht. Für die Holzverstärkungen wurde Weißtanne verwendet. Zuvor war auch der Einsatz von Hemlocktanne wie im Bestand diskutiert worden. Die knappe Verfügbarkeit sowie die Schwierigkeiten im Zusammenhang mit der Sortierung des importierten Holzes in die europäischen Festigkeitsklassen führten noch vor Ausführung der Testfläche 1 zur Entscheidung, eine heimische Holzsorte zu verwenden.

Die 5 bzw. 10 m langen neuen Holzstränge aus Weißtanne wurden durch Stoßen und Einkleben eines Gewindestabs miteinander verbunden. Weiterhin wurden, nachdem die zusätzlichen Lagen eingebaut waren, Schubverbinder entsprechend den statischen Erfordernissen eingebaut.

Der Einbau der bis zu 10 m langen Latten hat gut funktioniert. Die Langlöcher sowie die Bohrungen für die Gewindestangen an den Lattenenden wurden im Werk vorgefertigt. Längere Latten erwiesen sich beim Einbau als unhandlich.

Als Vorbereitung zur Montage der Verstärkungslatten wurde ein großer Teil der Bolzen ausgetauscht und durch längere ersetzt. Hierbei ist zu beachten, dass der Austausch der Bolzen selbst einen nicht zu vernachlässigenden zeitlichen Aufwand darstellt. Bei der Testfläche 1 wurde stellenweise Korrosion an den Bolzen festgestellt, wo diese das Bestandholz durchdringen. Diese ist auf die feuerhemmende Imprägnierung mit Salzen zurückzuführen.

Der Austausch der Seile war bei geöffneter Membran von oben problemlos möglich. Beim Austausch arbeitete der Seilbauer Hand in Hand mit dem Zimmerer, der die Bolzen an den entsprechenden Knotenpunkten getauscht hat. Ein Austausch der Seile von unten ist nicht möglich, da sich die Seilklemme mangels Zugänglichkeit dann nicht montieren lässt. Auf die Seile wurde eine Vorspannkraft aufgebracht, um diese straff zu halten. Die Seilklemmen wurden neu konstruiert, da die bestehenden Seilklemmen nicht normgerecht sind. Eine Überprüfung ergab, dass sie zudem die notwendigen Lasten nicht übertragen können. Nach dem Austausch der Seile in der Testfläche wurden auch die Seile in der restlichen Halle in Augenschein genommen und Zugversuche an ausgebauten Seilen durchgeführt. Das Ergebnis: Sämtliche aussteifenden Seile im Tragwerk sollen durch neue Seile ersetzt werden, da die bestehenden Seile einen zu geringen Durchmesser für die Anforderungen an die neuen Klemmen haben. Auch aus wirtschaftlicher Sicht stünde die einzelne Selektion noch verwendbarer Seilstränge in keinem Verhältnis, da die Restlebensdauer der bestehenden Seile nicht zu definieren ist.

Der Schub zwischen den einzelnen Lagen des Gitters wird über die Knotenpunkte übertragen. Durch ein Paket von Tellerfedern soll an den Bolzen ein kontinuierlicher Anpressdruck von 4 kN aufgebaut werden, damit die Kräfte über Reibung zwischen den einzelnen Latten übertragen werden können. Bei der Sanierung müssen die Federpakete mit neuen Tellerfedern ergänzt werden, da im Bestand nur eine Federkraft von 2 kN erreicht wird. An Stellen, wo die Tragfähigkeit der Knotenpunkte überschritten wird, müssen zusätzliche Schubverbinder eingebaut werden. Es wurden Schubverbinder mit schräg und mit senkrecht angeordneten Schrauben ausprobiert.

## Testfläche 2: Rückverformung der Geometrie

An der Testfläche 2 wurde der Bereich mit der größten Verformung im Hochpunkt der Kuppelstruktur der Veranstaltungshalle wieder in seine ursprüngliche Geometrie gebracht. Die Verformung betrug hier im Vergleich zur ursprünglichen Planung 71 cm. Um die Machbarkeit der Rückverformung zu testen, wurde auf einer Fläche von ca. 400 m<sup>2</sup> ein Raumgerüst aufgestellt. Auf diesem Raumgerüst wurden Sprieße gestellt, mithilfe derer das Dach angehoben wurde. Die Gerüstebenen wurden durch einen Vermesser eingemessen, der den vorhandenen Abstand zwischen Gerüstebene und unterster Latte an den Positionen der Sprieße sowie den angestrebten Abstand nach dem Hochdrücken auf der Plattform markiert hat. Die Geometrie konnte durch Messen der Höhe der Sprieße während den Arbeiten durch Fast + Epp selbst kontrolliert werden.

Danach wurden die Bolzen an den Knotenpunkten der Gitterschale in diesem Bereich gelöst, um das Dach wieder verformbar zu machen. Durch Hochdrücken der Sprieße wurde das Dach schrittweise in die ursprüngliche Form gebracht. Während der Arbeiten wurde die Geometrie durch 40 an der Dachkonstruktion befestigte Lasersensoren und 5 mechanische Wegaufnehmer permanent überwacht. Dies diente dazu, die Arbeiten bei unerwarteten Verformungen des Daches außerhalb des unterstützten Bereiches unterbrechen zu können, um die Situation zu bewerten und mögliche Schäden abzuwenden. Kletterer auf dem Dach überprüften zeitgleich, ob sich in der Dachmembran Spannungen aufbauten.

Bei der Testfläche 2 wurde die größte der insgesamt 9 Beulen zurückgedrückt. Die Gitterschale konnte dabei wieder nahe an die ursprüngliche Geometrie gedrückt werden, ohne dass es zu großen Schäden gekommen ist. Allerdings mussten dafür teilweise Seilspreizen ausgebaut, Klammern in der Membran gelöst und die Membran stellenweise aufgeschnitten werden, da sie unter hoher Spannung stand. In einem Teilbereich konnte die ursprünglich geplante Geometrie nicht erreicht werden. Vermutlich hat diese dort niemals bestanden. Eine Vermessung direkt nach Fertigstellung des ursprünglichen Baus liegt nicht vor. Bei der weiteren Planung ist entsprechend mit einzukalkulieren, dass sich die ursprünglich geplante Geometrie vermutlich durch Hochdrücken nicht vollständig erreichen lässt.

Nach dem Hochdrückvorgang wurde die Membran wieder neu befestigt und abgedichtet. Eine Verstärkung war im Rahmen der Testflächen in diesem Bereich nicht geplant. Es wurden jedoch im hochgedrückten Zustand Schubverbinder eingebaut, um die Steifigkeit entsprechend den statischen Erfordernissen in bestimmten Bereichen zu erhöhen.

Es war zu erwarten, dass sich das Dach nach dem Entfernen der Sprieße wieder etwas absenkt. Außerdem sollte überprüft werden, ob sich die Geometrie durch zeitabhängige Effekte im Anschluss an die Wiederherstellung der Geometrie wieder verändert. Deshalb wurde die Geometrie der Halle durch weitere Laserscans kontrolliert. Zusätzliche Kontrollmessungen wurden im April, Mai und Oktober 2022 durchgeführt. Die Laserscans bildeten ein vollständiges Abbild der Dachgeometrie zu den Messzeitpunkten. Ergänzt wurden diese Informationen durch den zeitlichen Verlauf, der durch die einzelnen Sensoren am Dach aufgezeichnet wurde.

Die nach dem Ablassen der Sprieße beobachteten Verformungen liegen in einem Bereich, der mit den bisher nach der Optimierung geplanten Verstärkungsmaßnahmen verträglich ist. Die Verformungen am maßgebenden Punkt betragen nach der zweiten Vermessung im Mai 2022 ca. 70% des hochgedrückten Wertes. Die Verformungen nahmen danach noch in kleinem Maße zu, näherten sich jedoch einem Grenzwert.

### Testfläche 3: Austausch der Randträger

Die Testfläche 3 mit einer Gesamtfläche von ca. 145 m<sup>2</sup> umfasste den Austausch eines Randträgers im südlichen Bereich des Stegs zwischen Restaurant und Veranstaltungshalle. Die Randträger sind zweiteilig ausgebildet. Die Latten der Gitterschale laufen dabei in den Zwischenraum der Trägerteile ein. Die Randträger weisen überwiegend starke Verformungen um die schwache Achse auf und wurden daher mittig notunterstützt. Durch den Eintritt von Wasser wurden sie stark geschädigt.

Im Zuge der Sanierungsarbeiten wurde der an den Randträger grenzende Bereich des Stegs nun temporär unterstützt, die beiden alten Trägerhälften ausgebaut und die beiden neuen Hälften eingebaut. Die Randträger sind unterschiedlich stark verdrillt. Der ausgebaute Träger hat eine Verdrillung von etwa 1°/m. Für den Austausch wurde eine unverdrillte und eine verdrillt gefertigte Trägerhälfte bestellt. In beiden Fällen gab es keine Probleme beim Einbau.

Bisher waren nur die Träger auf der Innenseite sichtbar, da die äußere Randträgerhälfte mit der Membran verkleidet war. Durch die Öffnung und den Austausch eines Randträgers in der Testfläche 3 konnten erstmals auch Rückschlüsse über den Zustand der äußeren Randträgerhälften geschlossen werden. Die ausgebaute äußere Randträgerhälfte war in keinem guten Zustand. Es zeigten sich Schäden durch Fäulnis, Risse in den Klebefugen und Lücken an den Stoßfugen der Lamellen. Klebstoffreste deuteten auf eine vorangegangene Sanierung hin. Der Träger war in einem unzureichenden Zustand und eignete sich nicht zur Wiederverwendung. Es wird daher erwartet, dass alle äußeren Trägerhälften ausgetauscht werden müssen.

Die Träger wurden durch den Einbau von Schubblöcken mit gekreuzt angeordneten Holzschrauben verstärkt. Eine Vermessung nach Abbau der Unterstützung hat gezeigt, dass die durch Fast + Epp angeordneten Schubblöcke ausreichen, um die Verformung auf das zulässige Maß zu begrenzen. Die Fahnenbleche an den Stützen waren in einem guten Zustand. Hier wurde vor Einbau des Trägers der Korrosionsschutz erneuert. Die Appel-Dübel an den Verbindungsstellen wurden ausgetauscht.

Zum Austausch des Randträgers in der Testfläche 3 mussten die Bolzen im Gitter auf einem angrenzenden Streifen gelöst werden, um die Lage des Gitters an die neuen, unverformten Trägerhälften anzupassen. Hierbei zeigte sich, dass die Bolzen an dieser Stelle in einem wesentlich schlechteren Zustand als in der Testfläche 1 waren. Eine Überprüfung an weiteren Stellen im Außenbereich ergab, dass Bolzen dort deutlich mehr korrodiert sind und sich infolgedessen auch schwerer austauschen lassen. Bei der Sanierung werden alle Bolzen ersetzt. Hierbei wird ein neues Beschichtungssystem verwendet, das den Salzen aus der Imprägnierung des Holzes besser standhält.

Bei der Testfläche 3 wurde auch ein neues Membrandetail zur Hinterlüftung der Randträger getestet, damit sich keine Feuchtigkeit mehr im Randträger sammeln kann.

## Testflächen liefern Erkenntnisse für Sanierungsumfang und Bauablauf

Das Montagekonzept konnte durch die probeweise Instandsetzung weiterentwickelt werden. Vor der Durchführung der Testflächen war noch nicht klar, welche Arbeiten im Innenraum von unten und welche auf der Dachfläche von oben ausgeführt werden müssen. Auch die Anordnung der Verstärkungslatten auf der Ober- oder der Unterseite des Bestandsgitters war noch offen. Weiterhin hatte sich die Frage gestellt, ob die Arbeit von mobilen Arbeitsbühnen oder von einem Raumgerüst aus sinnvoll ist. Auf diese und viele andere offenen Fragen geben die Testflächen Aufschluss und haben gezeigt, dass sich die Schadensreparatur der unteren Lagen sowie die Montage der Verstärkungslatten von unten gut durchführen lassen. Arbeiten bis zu einer Höhe von 15 m lassen sich dabei mit mobilen Arbeitsbühnen erledigen. Für Arbeiten in größeren Höhen empfiehlt sich ein Raumgerüst, wobei die Neigung des Gitters in diesen Bereichen nicht zu steil sein sollte, um nicht zu viele Abtreppungen im Gerüst zu erzeugen. Die Schadensreparatur von außen, der Tausch der Seile und der Membran müssen von oben realisiert werden. Diese Arbeiten bestimmen den Bauablauf entscheidend, da sie nur in der warmen Jahreszeit ausgeführt werden können.



Aus den Bautagebüchern der Testflächen und den zusammengetragenen Erfahrungen der ausführenden Firmen wurden Aufwandswerte ermittelt, welche von Fast + Epp dazu benutzt wurden, die voraussichtliche Bauzeit hochzurechnen und die Kostenberechnung zu aktualisieren.

In einem Logistik-Workshop wurden abschließend mit den Projektbeteiligten der probeweisen Instandsetzung die Themen Einrüstungs- und Montagekonzept, Bauablauf und Koordination der Gewerke diskutiert.

Aufgrund der Erkenntnisse der Testflächen konnte der erforderliche Sanierungsumfang besser eingegrenzt werden, woraus sich ein genaueres Bild für die Ausschreibung ergibt.

Die Arbeiten an den Testflächen waren geprägt durch eine vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen der Stadt Mannheim als Bauherrin, der Wüstenrot Stiftung, dem Ingenieurbüro Fast + Epp, der Firma Elsässer als ausführendes Holzbauunternehmen und weiteren Projektbeteiligten. Viele Details ließen sich vor Ort klären, ohne dass es in jedem Fall einer Zeichnung bedurfte, so dass mit einer Experimentierfreude im Geiste der ursprünglichen Planer gearbeitet wurde. Entscheidend ermöglicht hat das die kompetente Beratung und die direkte Finanzierung durch die Wüstenrot Stiftung.

Das optimierte Sanierungskonzept, das die teilweise Wiederherstellung der Geometrie und entgegen der vollflächigen Verstärkung des Entwurfskonzeptes nur Verstärkungsbänder vorsieht, bewahrt den ursprünglichen Charakter des Gebäudes. Das Ziel: so wenig Verstärkungen wie möglich anbringen. Das von Fast + Epp entwickelte Konzept, mit dem man so nah wie möglich am Original bleibt, hat die Stadt Mannheim sofort überzeugt. Auch der Denkmalschutz ist dankbar, dass die wesentlichen Teile der Konstruktion erhalten werden. Für diese Art der Sanierung existieren allerdings keine anerkannten Regeln der Technik. Die probeweise Instandsetzung hat dabei geholfen, wichtige Erkenntnisse für die Umsetzung zu erlangen und damit die Sanierungsmaßnahmen auf ein Minimum zu begrenzen. Der erfolgreiche Test der Rückverformung einer Beule hat den Weg zu diesem Konzept eröffnet. Ohne diese experimentelle Vorgehensweise hätte eine größere Unsicherheit bestanden und es wären vor allem in Bezug auf das Verformungsverhalten der Halle nur konservative Annahmen möglich gewesen.

Autoren: Dr.-Ing. Jochen Stahl, Christian Rosenkranz, Fast + Epp GmbH

## *Über die Multihalle*

*Visionär und weltweit einzigartig: Zur Bundesgartenschau 1975 wurde im Mannheimer Herzogenriedpark die Multihalle erbaut. Entworfen wurde der außergewöhnliche Bau vom Mannheimer Architekten Carlfried Mutschler. Der Pritzker-Preisträger Frei Otto schuf eine Dachkonstruktion, die die Halle zum architektonischen Meisterwerk macht. Die größte freitragende Holzgitterschalenkonstruktion der Welt steht seit 1998 unter Denkmalschutz und erwacht nun zu neuem Leben. Das architektonische Meisterwerk wird seit 2021 umfassend saniert. Im Sinne des Frei Otto'schen Denkens wird die Multihalle zu einem vielseitig nutzbaren Raum der Möglichkeiten – als Symbol einer zukunftsorientierten Mannheimer Stadtentwicklung. Die Dachsanierung beginnt mit der Sanierung der großen Halle voraussichtlich ab Sommer 2024. Die Sanierung der kleinen Halle folgt mit etwas Versatz im Herbst 2024. Ab dann wird an beiden Hallen parallel gearbeitet, um die Multihalle möglichst schnell wieder der Öffentlichkeit zugänglich zu*

*machen. Die Erneuerung der Gebäudetechnik und die Sanierung des Grundleitungssystems erfolgen in einem weiteren Bauabschnitt. Die Multihalle ist in Besitz der Stadt Mannheim unter Führung des Fachbereichs Bau- und Immobilienmanagement.*

### **Über Fast + Epp**

*Fast + Epp ist ein international anerkanntes Ingenieurbüro mit Büros in Vancouver, Seattle, New York, Darmstadt und Stuttgart. Das Unternehmen ist bekannt für seine Fähigkeit, Konventionen in Frage zu stellen und neue Ideen und Planungsansätze für alle Gebäudetypen und -materialien zu entwickeln, einschließlich Holz, Betonfertigteile, Ortbeton und Stahl. Mit der Realisierung von über 10 Millionen Quadratmetern an Hybrid- und Massivholzgebäuden auf der ganzen Welt in über drei Jahrzehnten hat sich Fast + Epp einen Ruf als weltweit führendes Unternehmen im Bereich Hybrid- und Holzbau erworben. Weitere Informationen über Fast + Epp finden Sie unter [www.fastepp.com/de](http://www.fastepp.com/de).*

### **Über die Wüstenrot Stiftung**

*Die Wüstenrot Stiftung nimmt sich als unabhängiger, bundesweit ausschließlich und unmittelbar gemeinnützig tätiger Stiftungsverein wertvollen Baudenkmalen an, setzt diese instand und erforscht bauzeitliche Materialien, Konstruktionen, Konservierungs- und Restaurierungsmöglichkeiten. Der Denkmalbegriff der Wüstenrot Stiftung orientiert sich dabei an der geschichtlich geprägten Substanz und nimmt die Bau- und Nutzungsgeschichte ernst. Unterstützt von einem wissenschaftlichen Beirat gibt die Wüstenrot Stiftung nicht nur Geld, sondern agiert auch als verantwortliche Projektträgerin und Bauherrin. Neben ihrem Denkmalprogramm ist die Wüstenrot Stiftung in den Themengebieten Zukunftsfragen, Stadt & Land, Literatur, Kunst & Kultur sowie Bildung operativ und fördernd tätig.*