

Unter Gittern

Exemplarische Schadensaufnahme an der Mannheimer Multihalle

Vielleicht war es ja nur eine geschickte Werbemaßnahme: Die Ankündigung der Stadt Mannheim 2016, die Multihalle abzureißen, brachte dem in die Jahre gekommenen Kulturdenkmal weltweite Aufmerksamkeit. In der Folge wurden neue Nutzungskonzepte und mögliche Lösungen für die statische Ertüchtigung entwickelt. Basis jeder denkmalgerechten Instandsetzung, sei es einer hochmittelalterlichen Stiftskirche oder einer erst knapp fünfzig Jahre alten Holzgitterschale, ist eine fundierte Kenntnis des Bestands, insbesondere der Konstruktion sowie der vorhandenen Schäden und Mängel. Um diese unverzichtbaren Grundlagen auch für die Mannheimer Halle bereitzustellen, veranlasste das Landesamt für Denkmalpflege 2018 eine erste beispielhafte Untersuchung, bei der nicht nur Befunde und Schäden erfasst wurden, sondern auch eine diesem bedeutenden Baudenkmal auf den Leib geschnittene Aufnahme-Methodik entwickelt wurde.

Christian Kayser/Ivan Kovacevic

Zur Baugeschichte

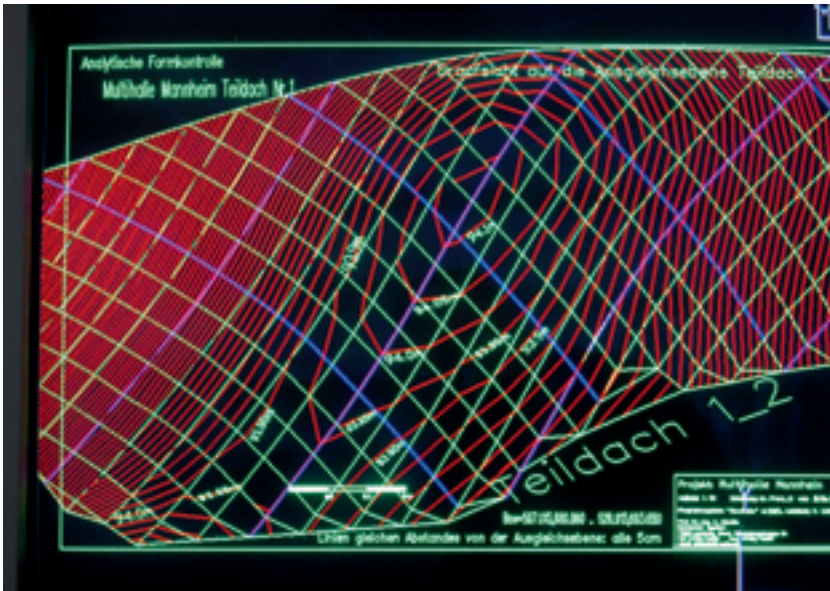
Der Mannheimer Herzogenriedpark war als Standort der Bundesgartenschau 1975 bestimmt. Auf dem Gelände sollte eine große zentrale Halle mit anschließenden überdachten Freiflächen errichtet werden. Mit den Entwürfen war das Architekturbüro Mutschler + Partner betraut (siehe dazu den Beitrag Mertens in diesem Heft [S.9]). Nach verschiedenen ersten Studien wandten sich die Architekten an Frei Ottos Atelier Warmbronn, das aus der Umkehrung eines Hängemodells eine filigrane Holzgitterkonstruktion entwickelte. In enger Abstimmung verschiedener Fachplaner gelang zwischen 1973 und 1975 in bemerkenswerter Geschwindigkeit die Entwicklung, Konstruktion und schließlich Ausführung der Halle. Wesentlich waren die Beteiligung des Vermessungsingenieurs Klaus Linkwitz, der die Geometrie des Hängemodells in den größeren Maßstab überführte und später die messtechnische Überwachung beim Aufbau sowie das Monitoring übernahm, von Edmund Happold und Ian Liddell des Londoner Ingenieurbüros Ove Arup & Partners, das die statischen Berechnungen und die daraus abgeleitete Entwicklung der Details durchführten, sowie von Fritz Wenzel und Bernd Frese, Karlsruhe, denen die bautechnische Prüfung und die spätere Begutachtung der Halle oblag. Für die erforderlichen statischen Berechnungen kamen – auch dies eine zukunftsweisende Pionierleistung – EDV-basierte Sys-

teme zum Einsatz. Die Ergebnisse der Berechnungen machten lokale Modifikationen der Konstruktion erforderlich, wie etwa die Verdoppelung der Lattenlage über den beiden weitspannenden Bereichen. Vor der Umsetzung der Planung erfolgten zahlreiche Versuche an Modellen und Werkstoffen, beispielsweise zur Biegefähigkeit der Latten.

Die Ausführung stellte dann noch einmal erhebliche Herausforderungen. Bereits für die präzise Fertigung der Latten mussten neue Wege gegangen werden. Es wurden eigens 31 m lange Fertigungsbahnen mit Oberfräsen hergestellt, um die Latten präzise fertigen zu können. „Insgesamt mussten 150 000 Löcher gebohrt werden, davon fast 50 Prozent Langlöcher in unterschiedlichen Längen, da durch die Krümmung der Schale während der Montage gegenläufige Längenänderungen eintraten. Um Lattenbrüche während der Verladung und des Transports zu vermeiden, wurden die Latten zu je 25 Stück gebündelt und verschnürt. Jede einzelne Latte erhielt einen Stempel mit einer sechsstelligen Zahl, aus der ihre Lage und Zuordnung zu ersehen war.“ (Buhr 1975, S. 288 f.) Spuren dieser speziellen Fertigungstechnik finden sich noch am Objekt: So kann der interessierte Beobachter die Bauteilnummern (Abb. 1), quasi als modernes Pendant zimmermannsmäßiger Abbundzeichen, wie auch die Spuren der Fräsen entdecken.

Nach Abwägung verschiedener Aufbauvarianten wurde die Holzgitterschale über einem Unterbau





1 Scheitelbereich mit „Abbundnummerierung“ auf der Latte der großen Halle.

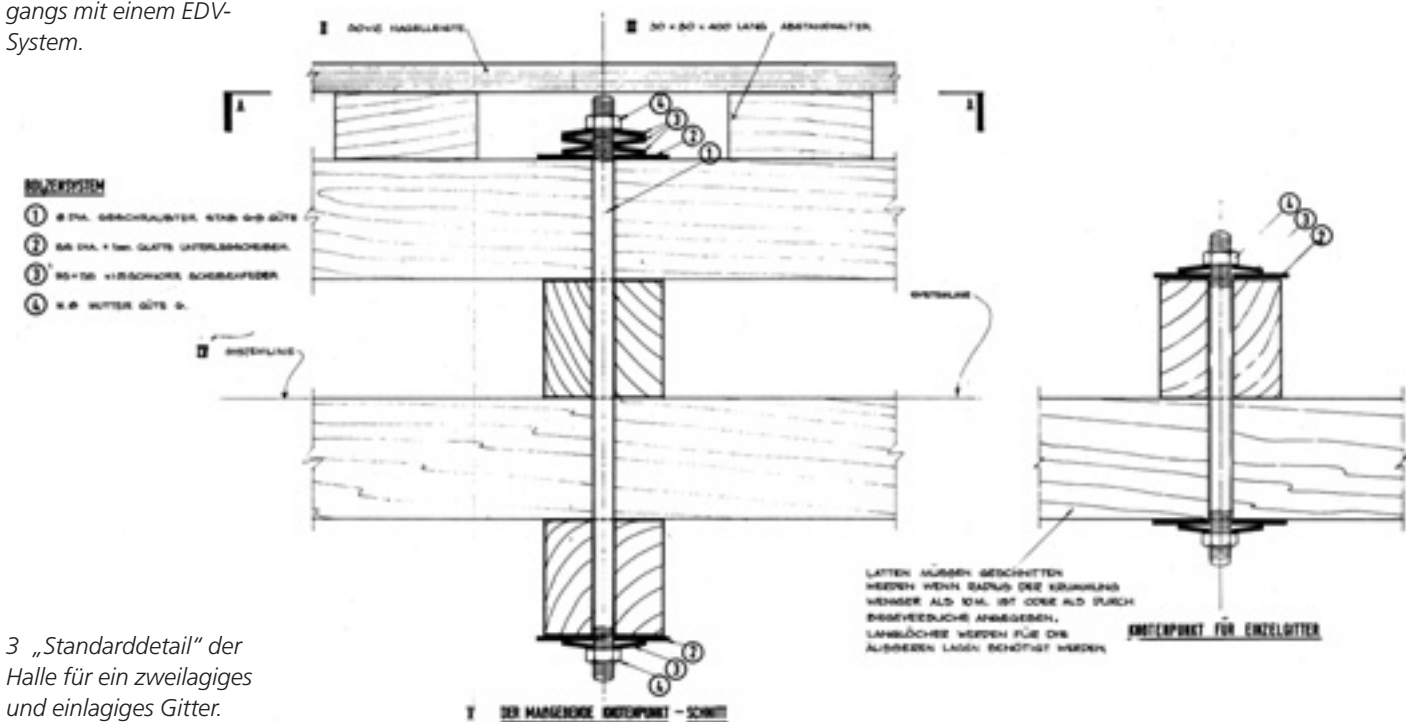
2 Messtechnische Kontrolle des Aufbauvorgangs mit einem EDV-System.

aus Einzelstützen aufgeführt, die stufenweise angehoben und verlängert wurden. Die messtechnische und digitale Überwachung des Aufbauvorgangs (Abb. 2) gewährleistete eine präzise Übereinstimmung von Modellgeometrie und realisiertem Bauwerk.

Die Halle war seinerzeit als temporäres Bauwerk mit einer zugelassenen Standzeit von 20 Jahren konzipiert. Die für die Gartenschau erteilte befristete Baugenehmigung wurde erstmals 1977, in der Folge immer wieder bis in das neue Jahrtausend verlängert. Da die Halle bei ungünstigen, feuchten Witterungsbedingungen aufgebaut worden war, kam es in den ersten Jahren zu einem gewissen Schwund der Latten, sodass die Bolzen und Seile immer wieder nachgespannt werden mussten. 1980 wurden erste Reparaturen an schadhafte Bereichen der Randträger vorgenommen. Hierbei fielen erstmals lokale Verformungen an der Gitterschale auf, denen in den Folgejahren durch das Einfügen von Futterhölzern begegnet wurde. Vor über einem Jahrzehnt wurden die Verformungen an den südlichen Randbereichen der Halle schließlich als so gravierend angesehen, dass provisorische Abstützungen ergänzt wurden. Bei einer Reparaturkampagne 2011 erfolgten noch einmal kleinteilige Instandsetzungen der Gitterschale, an den Randträgern und an der Dachhaut; seit 2014 werden detaillierte statische Berechnungen zur Bestandskonstruktion mit Vorschlägen für mögliche Ertüchtigungen vorgenommen.

Die Konstruktion der Halle

Einer der aus ingenieurtechnischer Sicht faszinierendsten Aspekte der Multihalle ist, dass die gesamte Gitterschale im Prinzip mit einem einzigen Detail ausgeführt wurde: Das einlagige „Standardgitter“ ist mit einer Maschenweite von 50 cm konstruiert; die Latten haben Querschnitte von 5 x 5 cm und bestehen aus importierter Canadian



3 „Standarddetail“ der Halle für ein zweilagiges und einlagiges Gitter.



4 Aufnahme vor Ort, von links nach rechts: Befundung am Objekt, händische Kartierung mit Stift auf Papier, digitale Kartierung am Tablet.

Hemlock Pine. An den Kreuzungspunkten wurden die Latten mit 8 mm starken Gewindestangen verbunden; unter den Muttern sind Tellerfedern angebracht (Abb. 3). Die Latten sind an den Kreuzungspunkten mit Langlöchern versehen, die Verformungen und Toleranzen in der aufgerichteten, gewölbten Geometrie aufnehmen. Die Fixierung der Stöße erfolgte nach Aufrichten des Gefüges; die Tellerfedern dienen dazu, leichte, etwa durch Schwinden oder Quellen verursachte Formänderungen zu kompensieren.

Nach dem ersten Entwurfskonzept sollten alle Bereiche der Halle mit einem einfachen Lattengitter überdeckt werden. Aus statischen Erfordernissen wurde über den beiden Großräumen schließlich ein zweilagiges Gitter errichtet. Die Detailausbildung in diesen Bereichen ist identisch mit derjenigen des einlagigen Gitters; der Bolzen ist durch den Kreuzungspunkt der vier Lattenlagen durchgeführt (vgl. Abb. 3, links).

Die teils erhebliche Länge der durchlaufenden Latten machte die Ausbildung von Stößen erforderlich. Diese wurden teils stumpf, teils mit kurzen Keilzinkverbindungen von circa 20 mm Länge ausgebildet. Die stumpfen Stöße und ein Teil der Zinkverbindungen wurden beidseitig mit Brettlaschen (50 x 25 mm) geschient. Die Laschen wurden zunächst planmäßig mit je 4 x 4 Nägeln befestigt. Allerdings zeigte sich während des Bauprozesses, dass mit der intendierten Befestigung keine ausreichende Steifigkeit der Verbindungen erzielt werden konnte; die Befestigung der Latten wurde daher mit zusätzlichen Bolzen mit Tellerfedern ergänzt (Abb. 6). Die gleiche Verstärkung kam auch bei der Reparatur der beim Aufrichten gebrochenen Latten zum Einsatz.

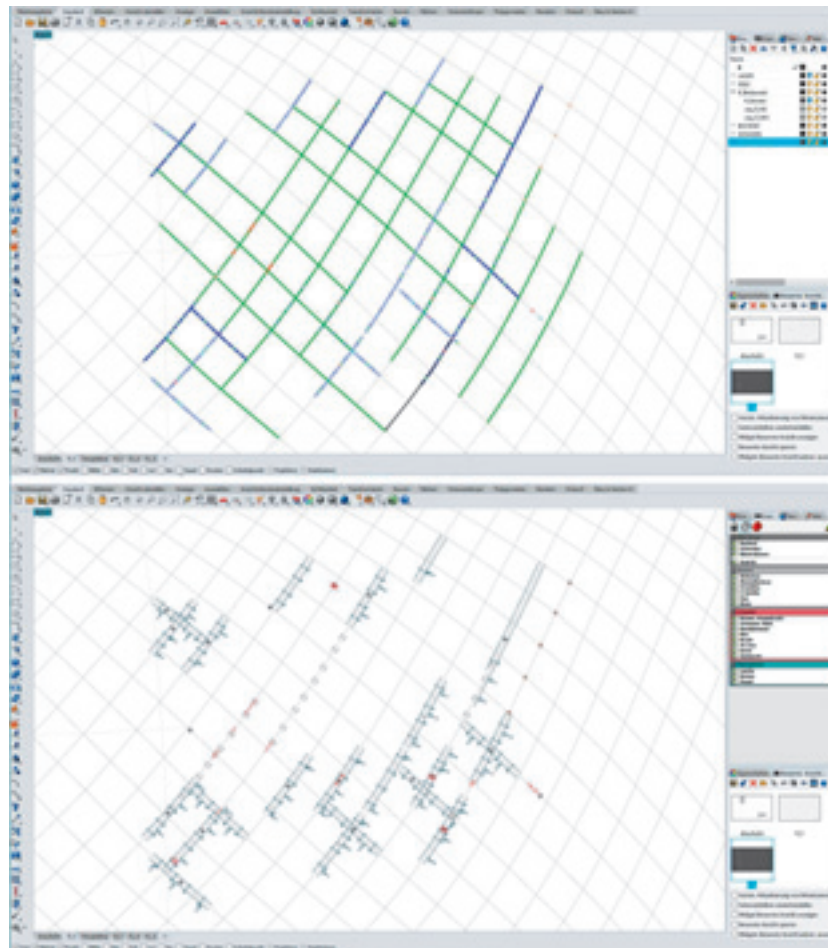
In Teilbereichen des zweilagigen Gitters mussten zusätzliche „Schub-Sperrkeile“ zwischen den parallelen Lattenlagen eingeführt werden, um die Schubsteifigkeit der Doppellatten zu erhöhen. Ebenso wurden in den beiden weitspannenden Be-

reichen der Halle zusätzlich doppelte Stahl-Spiralseile (Ø 6 mm) ergänzt, die im Abstand von je 4,25 m diagonal über das Gitterraster verlaufen und Verformungen bei asymmetrischen Belastungen entgegenwirken.

Knoten pro Stunde – Zur Kartierungsmethodik

Die Halle hat eine Oberfläche von etwa 10 000 qm, das Gitter ist mit etwa 70 000 Kreuzungspunkten oder auch Knoten ausgebildet – Maße und Mas-

5 Aufnahmemethodik: Kartierung der Phänomene im digitalen Modell mit einfachen Elementen; automatisierte Umwandlung in aussagekräftige Symbole.

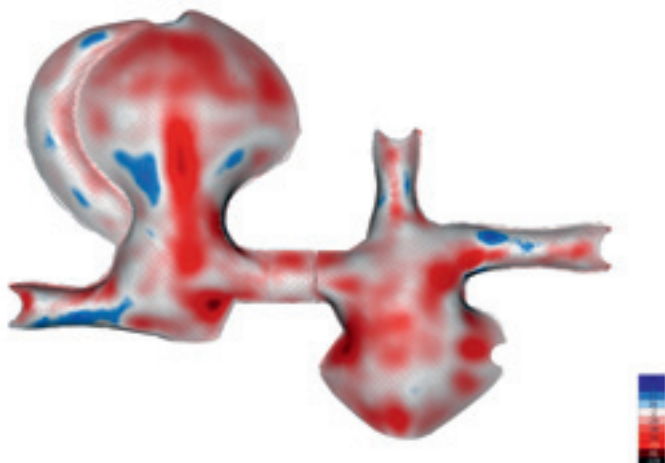




6 *Bauzeitliche Sicherung der Stöße mit Brettlaschen. Gut erkennbar die zunächst aufgebrachten Nagelgruppen, die nachträglich mit einem Bolzen ergänzt wurden.*

sen, die bei der Schadens- und Bestandsaufnahme die Möglichkeiten einer klassischen Kartierung mit bunten Stiften auf Papier übersteigen (Abb. 4). Dabei stellt nicht nur die schiere Quantität eine Herausforderung dar, sondern auch der Umgang mit der räumlichen Komplexität. Zweifach gekrümmte Schalenbereiche müssten abgewickelt und projiziert, doppellagige Gitterpartien parallel in zwei Ebenen aufgenommen werden. Die hohe Gleichartigkeit macht die Aufnahme zudem zu einer recht unübersichtlichen Angelegenheit. Schließlich sollen die Daten im Anschluss auch verarbeitet, gefiltert und analysiert werden können. Aus den Voraussetzungen erschloss sich rasch, dass eine Kartierung nur digital auf Basis eines modifizierten dreidimensionalen Bestandsmodells erfolgen kann. Für die exemplarische Kartierung wurden zunächst Musterflächen identifiziert, anhand derer die Aufnahme-Methoden entwickelt werden sollten. Aus mehreren erprobten Methoden zur Erfassung wurde schließlich eine Option ausgewählt: Bei der Aufnahme vor Ort können in einem gängigen Programm zur Bearbeitung der geometrischen Daten bestimmte einfache Marker für die einzelnen Bestands- und Schadensphänomene hinterlegt wer-

7 *Verformungsanalyse der Halle durch Überlagerung der Aufmaße von 1975 und 2014. Rot markiert: Senkungen, blau markiert: Hebungen.*



den (Abb. 5). Diese über Basiselemente „Linie“ und „Punkt“ kartierten Elemente werden mit einem Programmaufsatz automatisiert in aussagekräftigere Symbole umgewandelt. Die geometrischen Daten können aus dem Modell ausgelesen und in semantische Daten umgewandelt werden. Die so erzeugten Datensätze lassen sich in einer Datenbank verwalten und analysieren. Die Kartierung vor Ort erfolgt damit digital. Mit einer Geschwindigkeit von 40–50 Knoten pro Stunde übertrifft man nicht nur gängige Schnellboote, sondern erreicht auch die Aufnahmefrequenz einer klassischen „Stift-und-Papier“-Kartierung.

Formänderung und Knicke – Schäden an der Gitterschale

Gerade im Rahmen der aktuellen Debatte zur Zukunft der Halle wird immer wieder über die zahlreichen Schäden gesprochen – doch worin bestehen diese, und wie verteilen sie sich?

Die Auswertung der Daten erbrachte zwei unterschiedliche und auch nur bedingt zusammenhängende Phänomene. Wie bereits früh beobachtet, bestehen einerseits deutliche Formänderungen am Gesamtsystem, andererseits gibt es Substanzschäden an den einzelnen Elementen.

Für eine Ansprache der Formänderungen konnte auf die präzise Messaufnahme des Ursprungs, also Aufbauzustands und auf ein aktuelles Laseraufmaß des Jahres 2014 zurückgegriffen werden. Beide Modelle wurden überlagert und so die geometrischen Differenzen ermittelt (Abb. 7). Die stark verformten Bereiche wurden deutlich ablesbar. Auffällig ist etwa die Formänderung an der weitspannenden großen Halle. Östlich des in Nord-Süd-Richtung laufenden Scheitels finden sich erhebliche Absenkungen von bis zu 0,7 m, auf der Westseite erfolgte dagegen eine leichte Hebung. Die Abflachung von Teilbereichen auf der Ostseite ist auch mit bloßem Auge von einem in Hallenmitte gestellten Gerüstturm aus zu erkennen: Eine Teilfläche hängt mit negativer Krümmung durch (Abb. 8).

An maximalen Verformungen konnten Ausbeulungen von circa 0,7 m sowie Einsenkungen von bis zu 1,1 m ermittelt werden. Wann die Formänderungen entstanden, ist aus den vorliegenden Daten nicht ohne Weiteres zu ermitteln – einige Modifikationen der Geometrie können bereits frühzeitig nach dem Aufbau aufgetreten sein, andere ergaben sich wohl auch in Folge von Schäden an den Randträgern.

Im Zuge der Untersuchung stellte sich heraus, dass in bestimmten Bereichen Schäden in Form von Brüchen und Knicken an den Latten bestehen (Abb. 9). Hiervon sind besonders die drei Tunnel betroffen, während das Gitter über den weiträumigeren Hal-



len keine derartigen Schäden zeigt. Namentlich an dem Nord- und dem Osttunnel ist die Schadensdichte hoch, wobei die Mehrzahl der Brüche wohl bereits beim Aufbau entstand; die Schäden sind mit bauzeitlichen Anlaschungen geschieht.

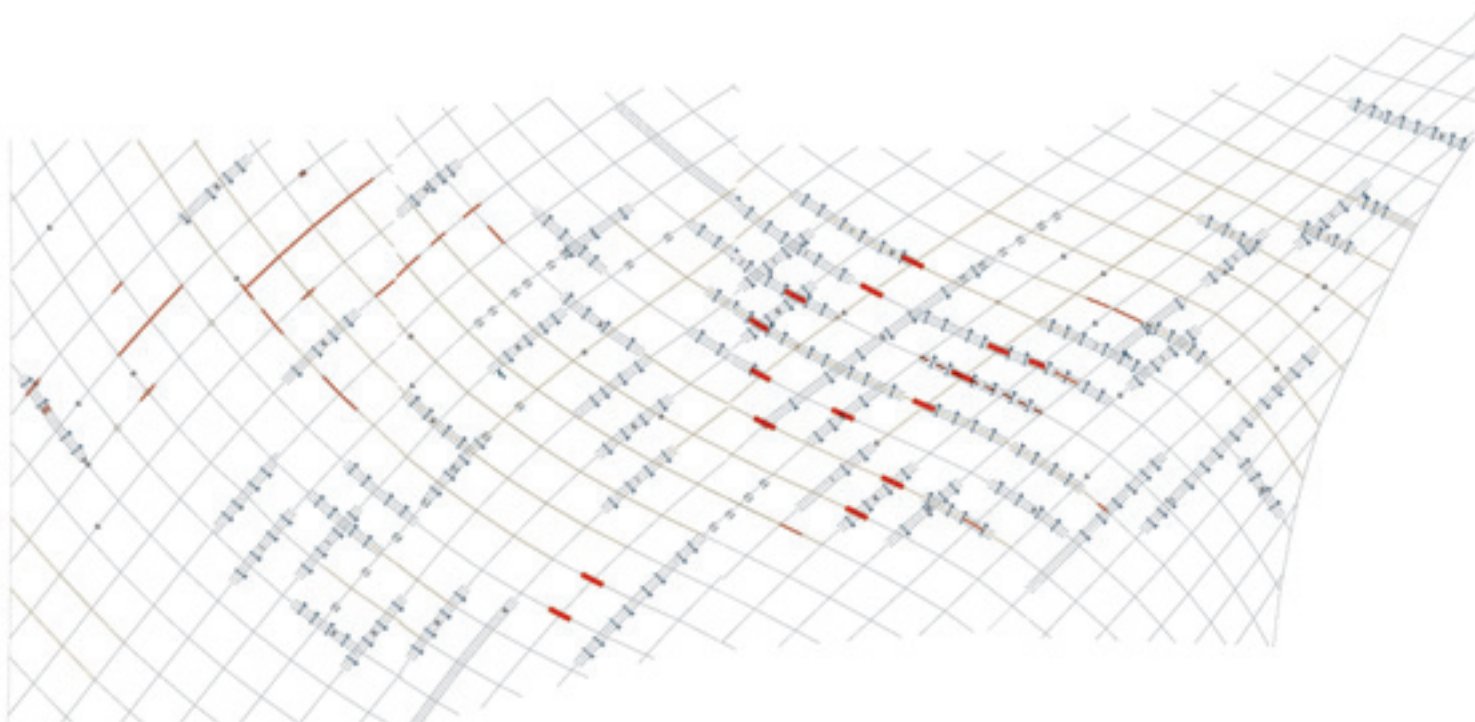
Eine weitergehende Auswertung der Bestandsgeometrie bezeugt, dass die auffällige Häufung der Schäden in Verbindung mit den Krümmungsradien der Latten steht, also Brüche vor allem in Bereichen mit minimalen Krümmungsradien auftreten (Abb. 10). Dieses Konstruktionsproblem war von den Konstrukteuren der Halle zwar antizipiert worden, doch unterschätzte man, trotz intensiver Modellbildung und Voruntersuchungen, die auftretenden Minimal-Biegeradien der Latten. Bei den vorgeschalteten Biegeversuchen wurden lediglich minimale Radien von 10 m angesetzt. Zur Bewältigung der erwarteten geringeren Radien von bis zu 6 m sollten die Latten entlang der Längsachse

aufgeschnitten werden. Dieses Verfahren wurde, wie die Befunde zeigen, in der sogenannten Banane, dem Nebenraum der großen Veranstaltungshalle, angewandt. An den Partien mit stark gehäuften Schäden – oft ausgerechnet die Bereiche mit den kleinsten Biegeradien – wurde es jedoch nicht konsequent durchgeführt. Die realisierte Geometrie unterschreitet deutlich die von den Konstrukteuren angenommenen Minima (Abb. 11): Tatsächlich treten zahlreiche Minimalradien von 4 m auf, namentlich an den Tunneln und den Sattelkehlen der großen Halle. Minimalradien von 3 m sind noch gehäuft am westlichen Tunnelportal oder an der Kehle zwischen Osttunnel und kleiner Halle zu finden; in diesen Bereichen finden sich auch einzelne Minimalradien von 2 m. Die engen Radien führten bereits beim Aufbau der Halle zu ersten Schäden, besonders die Keilzinkstöße erwiesen sich als Schwachpunkt. Brüche und

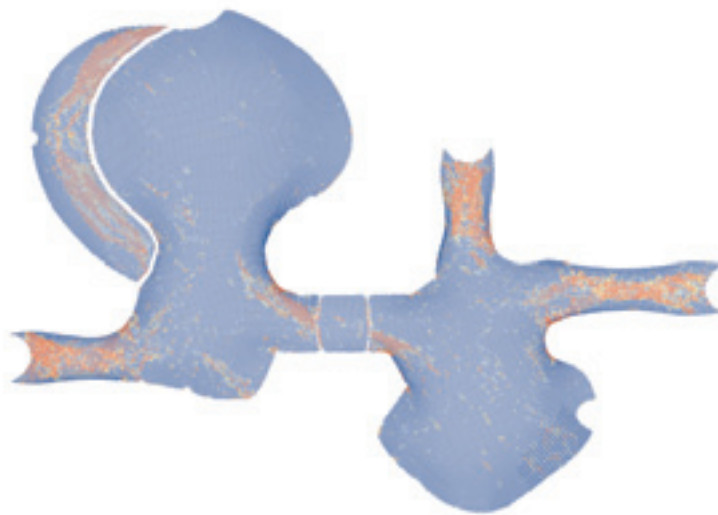
8 Scheitelbereich der großen Halle mit sichtbarem Durchhang.

9 Wohl bereits beim Aufbau gebrochener und unmittelbar im Anschluss mit Brettlaschen geschiehter Keilzinkstoß.

10 Digitale Kartierung eines Teilstücks (westlicher Tunnel), orange markiert: Lattenbereiche mit Minimalradien < 3 m.



11 Übersicht über die Halle mit Markierung von minimalen Krümmungsradien der Latten. Farbgradient blau: Krümmungsradien >10 m, gelb: Krümmungsradien 7–8 m, rot: Krümmungsradien < 6 m.



Stöße wurden noch während des Baus mit Brett-laschen verstärkt. Die engmaschigen Verstärkungsmaßnahmen an Bereichen mit besonders engen Krümmungsradien brachten jedoch eine relevante Änderung der Materialeigenschaften mit sich. Die Applikation der Laschen führte dazu, dass die Latten im Verlauf ausgesprochen heterogene Eigenschaften zeigen. Die mit Laschen versehenen Partien sind sehr steif und kaum zu biegen. Alle Formänderungen werden notwendig den dazwischenliegenden Partien ohne Laschen aufgezungen. Bereichsweise kommt es zu einer regelrechten Polygonalisierung der Latten (Abb. 12), bei der an Stelle der intendierten kontinuierlichen Krümmung eine Folge von geraden, mit Laschen verstärkten Abschnitten entsteht und sich dazwischen Knicke einstellen. Die Knicke wiederum bilden Sollbruchstellen für die Entstehung weiterer Brüche.

Resümee

12 Nördlicher Tunnel, mit deutlich sichtbaren „Knicke“ an den Latten zwischen den mit Laschen verstärkten Partien.

Die Multihalle, die Frei Otto für eines seiner wichtigsten Werke hielt, fasziniert: Aus einfachen Grundprinzipien formt sich ein komplexer Raum, der beim Durchschreiten immer wieder neue Perspektiven entdecken lässt. Dabei ist die Halle nicht



nur ein wichtiges Denkmal der neueren Bautechnikgeschichte, sie bleibt auch als Sinnbild und symbolische Agora einer offenen Gesellschaft ein zeitloses Zeugnis. Um dieses außergewöhnliche Objekt dauerhaft zu erhalten, müssen nun, im Geiste der Erbauer, abermals innovative Wege eröffnet und beschriftet werden.

Für die Schadens- und Bestandsaufnahme an der Multihalle konnte beispielhaft ein effizientes Verfahren zur Untersuchung der Raumgeometrie entwickelt und erprobt werden. Die bei der Aufnahme angetroffenen Befunde zur Bau- und Reparaturgeschichte wie auch die Ergebnisse der anschließenden Auswertung bezeugen, wie wichtig die Auseinandersetzung mit der materiellen Überlieferung von Baudenkmalern ist – unabhängig von deren Entstehungszeit. Die detaillierte Erfassung von Schadensphänomenen bietet nun eine Grundlage für die Entwicklung maßgeschneiderter Lösungen zur Reparatur und Instandsetzung, und ermöglicht damit hoffentlich auch eine „Zukunft für unsere (jüngste) Vergangenheit“.

Literatur

- Berthold Burkhardt (Hrsg.): Multihalle Mannheim. Mitteilungen des Instituts für leichte Flächentragwerk, Universität Stuttgart, Leitung Frei Otto (IL 13). Stuttgart 1978.
- Heinz Buhr: Herstellung und Montage der Holzkonstruktion, in: Bauen mit Holz, Heft 6, 1975, S. 288–290.
- Fritz Wenzel/ Bernd Frese: Schalenförmiges Holzgitterdach, Anmerkungen zu Entwurf, Berechnung und Ausführung, in: Bauen mit Holz, Heft 6, 1975, S. 278–288.

Dr.-Ing. Christian Kayser
Dipl.-Ing. univ. Ivan Kovacevic
 Kayser + Böttges, Barthel + Maus
 Ingenieure und Architekten GmbH
 Infanteriestraße 11a
 80797 München