

Historisches Tonnendach aus Glasbausteinen

Autor(en): **Russenberger, Judith / Ciari, Anna**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **136 (2010)**

Heft 45: **Stadthaus Zürich**

PDF erstellt am: **25.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-130743>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

HISTORISCHES TONNENDACH AUS GLASBAUSTEINEN

Bei der Gesamtinstandsetzung des Stadthauses in Zürich überprüfte die Firma Synaxis zusammen mit Bauingenieur Carlo Galmarini als Korreferenten das Glastonnendach über der Eingangshalle. Das historische Dach hält den neuen Belastungen stand, trotzdem bleibt ein Sicherheitsnetz eingebaut.

Das Stadthaus Zürich besteht aus zwei Gebäuden. In einem ersten Schritt wurde der Eckbau an der Kreuzung Fraumünsterstrasse/Kappelergasse durch Arnold Geiser ab 1883 erbaut, danach war Gustav Gull ab 1898 für den Ergänzungsbau zwischen Limmat und Fraumünsterstrasse mit den beiden Anschlussbauten zur Fraumünsterkirche hin verantwortlich (vgl. «Provisorien leben länger», S. 28 ff.). Das Tragwerk beider Gebäude ist eine Mischkonstruktion mit unterschiedlichen Decken. Der Teil Geiser besteht aus behauenen Natursteinen, Backsteinen und Holzdecken; beim Gebäudeteil Gull wurden Deckenkonstruktionen mit Ton-Hourdis-Gewölben, Stahlträgern und Backsteinbögen erstellt.

Im Zuge der Gesamtinstandsetzung ergaben sich für den Bauingenieur anspruchsvolle Aufgabenstellungen an der historischen Tragkonstruktion. Das vierte und das fünfte Obergeschoss wurden mit neuen Treppen und Liftanlagen besser erschlossen. Weitere Umbauten, wie beispielsweise Schächte und Durchbrüche für die neue Gebäudetechnik, mussten vielerorts aufgrund der historisch wertvollen Räume unsichtbar im Raum geführt werden, und wegen lokaler Nutzlasterrhöhungen wurden stellenweise Tragwerksverstärkungen eingebaut. Eine Rosine im Aufgabenbereich des Bauingenieurs war die Untersuchung des historischen Glastonnendachs über der Eingangshalle (Abb. 1 und 2).

ZU HEISS ZWISCHEN GLASTONNENDACH UND GLASSATTELDACH

Das im Jahre 1901 erstellte Glastonnendach besteht aus sieben Bögen aus vermörtelten Glasbausteinen. Aufgrund der zweiseitigen Wölbung trägt es einerseits von Bogenträger zu Bogenträger bei einer Spannweite von 2.65m (= Abstand Stahlfachwerkbinder) und andererseits von Wand zu Wand bei einer Spannweite von 13.12m (Abb. 10, S. 45). Über der Glastonne befinden sich sieben filigrane Stahlfachwerkbinder, die sich im Obergurt zu einem Satteldach formen. Die Dachfläche darüber ist verglast. Die Binder bestehen aus zwei mit Bindeblechen verbundenen L-Profilen. Ihre Lagerung ist gemäss Originalplänen einseitig fest und einseitig verschieblich ausgebildet. Die Kopplung der beiden Tragsysteme erfolgt über je fünf Flachstähle von den Fachwerkknoten zu den einzelnen Bogenträgern. Mit Temperaturmessungen hatte man in einem ersten Planungsschritt in Erfahrung gebracht, dass die Temperatur an heissen Sommertagen zwischen Glastonnendach und Verglasung des Satteldaches bis auf 60 °C steigen konnte. Da man aus denkmalpflegerischen Gründen in das Glastonnendach keine Wärmedruckentspannung wie zum Beispiel Lüftungsflügel integrieren konnte, musste eine Lösung im darüberliegenden Satteldach gefunden werden. Mit dem neuen klimatischen Konzept aus Isolierverglasung, innenliegender Beschattung und Querlüftung für den Glasdachzwischenraum (vgl. Kasten «Gebäudetechnik: Zwischen Kuppel und Glasdach», S. 45), das in erster Linie die hohen sommerlichen Temperaturen in den um den Lichthof angeordneten Büros im vierten Obergeschoss auf ein von der Bauherrschaft gefordertes Mass reduzieren sollte, beabsichtigte man, ein konstanteres Klima über und unter dem Glastonnendach zu erreichen. Ausserdem setzten sich die Planenden zum Ziel, mit einem ausgeglicheneren Temperaturverlauf die Dehnungen und somit die Dehnungsspannungen der gesamten Dachkonstruktion zu reduzieren.



01



02

01 Glastonnendach, aufgenommen nach der Gesamtinstandsetzung: Das Dach wurde statisch überprüft und bleibt erhalten. Das neue Sicherheitsnetz ist direkt unter dem Glastonnendach montiert und praktisch nicht sichtbar
02 Glastonnendach und Sicherheitsnetz auf Höhe der Brüstung vor dem Gesamtumbau
 (Fotos: Roger Frei)

TRAGWERKSANALYSE, MESSKONZEPT UND STATISCHES SYSTEM

Die neue Verglasung auf dem Satteldach ist deutlich schwerer als die bestehende, und da die Architekten bei der Gesamtinstandsetzung das auf der Höhe der Brüstung des vierten Obergeschosses gespannte Sicherheitsnetz entfernen wollten, mussten das Glastonnendach und das Stahlfachwerk umfassend analysiert werden, damit ganzheitliche Lösungen ausgearbeitet werden konnten. Die Untersuchung wurde in vier Phasen gegliedert, die der Bauingenieur Carlo Galmarini begleitete. In der ersten Phase erfolgte die statische Berechnung des Dachtragwerks. Man erfasste Systemsensibilitäten bezüglich Einwirkungen und Lagerungsbedingungen und stimmte das Messkonzept darauf ab. Es wurden verschiedene Sommer- und Winterlastfälle ermittelt und analysiert. Diese Analyse hat aufgezeigt, dass die beiden statisch bestimmten Systeme über die fünf Kopplungsstäbe zu einem gesamten, statisch unbestimmten System verbunden sind. Diese Stäbe stehen je nach Lastfall unter Zug oder Druck – vor allem hervorgerufen durch Längenänderungen infolge Temperaturanstieg oder -abfall. Zusätzlich wurde in dieser ersten Untersuchungsphase ersichtlich, dass ein Lager pro Fachwerkbinder tatsächlich horizontal verschieblich oder zumindest gefedert gelagert sein muss, sonst würden unzulässig hohe Horizontalkräfte auf die Mauerwerkswände auftreten. In der zweiten Phase sollten Systematiken und Regelmässigkeiten bei der Schadensauf-tretung festgestellt werden. Die Auswertung der Schadenskartierung erfolgte statistisch und hat aufgezeigt, dass die höchste Dichte in den Randzonen nahe den begehbaren Randbereichen zu finden ist. Bei etwa einem Drittel aller zerstörten Glasbausteine handelt es sich um «halbe» Abschlusssteine, die sich jeweils am Bogenende befinden (Abb. 4). Anlässlich der Gesamtinstandsetzung wurden sie durch neue, identisch aussehende Steine ersetzt. In der dritten Phase wurde das Messkonzept basierend auf den Erkenntnissen aus der Tragwerksanalyse erstellt. Es umfasst Verschiebungs-, Dehnungs-, Längenänderungs- und Temperaturmessungen im Sommer und im Winter, die von einem Vermessungsbüro und der Empa durchgeführt wurden.



03



04

03 Das Glastonnendach ist über Kopplungsstäbe mit der Tragkonstruktion des Satteldaches verbunden

04 Glasbausteine des Tonnendachs: Vor allem die halben Steine am Rand waren zerstört und mussten ersetzt werden

10 Statisches System mit Fachwerk und Glasbogen mit Profilangaben und Vermassung

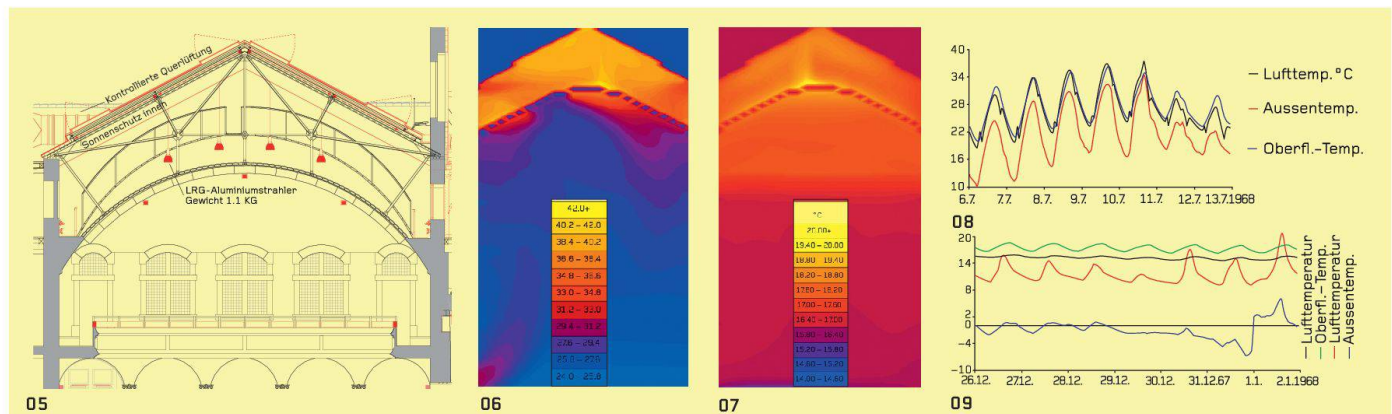
11+12 Statische Modelle mit Verformungsfigur im Sommerlastfall mit (Abb. 11) bzw. ohne (Abb. 12)

12 seitliche Kopplungsstäbe – Ausfall durch Knicken (Fotos und Grafiken: Autorinnen)

In der vierten Phase wurde die reale Tragkonstruktion aufgrund der vorliegenden Messergebnisse in einem iterativen Prozess abstrahiert und im entsprechenden statischen System dargestellt. In dieser Studie variierte man die Auflagerfedersteifigkeiten, die Steifigkeit des Bogenträgers unter Berücksichtigung des Glas-Mörtel-Gefüges – der Bogenträger wirkt als Stahl-Mörtel-Verbundträger – und die Mitwirkung beziehungsweise den Ausfall der äusseren Kopplungsstäbe. Das ermittelte und kalibrierte statische System wies schliesslich im Hinblick sowohl auf die Verformungen als auch auf die Spannungen und Spannungsänderungen das erstrebte ähnliche Verhalten auf wie die wirkliche Tragkonstruktion. Somit konnten zuverlässige Tragsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsanalysen durchgeführt werden.

ANALYSEN ERGABEN AUSSAGEN ZUM TRAGVERHALTEN

Das statisch unbestimmte System verhält sich im Sommer anders als im Winter. Je nach Temperaturlastfall hängt sich der Bogen am Fachwerk auf – dies ist in den Wintermonaten der Fall – oder stützt sich das Fachwerk auf den Bogen, was während der Sommermonate geschieht, wenn sich der Bogen gegen oben ausdehnt. Diese Wechsel im Tragverhalten widerspiegeln sich in den in der ersten Untersuchungsphase festgestellten Spannungen der Kopplungsstäbe, die je nach Temperatur auf Zug oder Druck beansprucht werden. Im «Sommerlastfall» knicken die beiden äusseren diagonalen Kopplungsstäbe plötzlich aus, was die abrupten Spannungs- und Verformungswechsel im Tragwerk verursacht. Diese Lastumlagerungen führen zu unterschiedlichen Verformungsfiguren des Glasbogens. Da er sich wegen der Kopplungsstäbe nicht frei nach oben ausdehnen kann, bildet sich eine wellenartige Verformungsfigur aus (Abb. 11), die sich hält, bis die äussersten beiden Kopplungsstäbe ausknicken und der Bogen abrupt eine neue Verformungsfigur einnimmt (Abb. 12). Das Ausknicken führt zu einer Rotation des Bogenstahlträgers beziehungsweise des Glasbogens rund um das seitliche untere Auflager – dies verursacht vermutlich die Glasbrüche entlang des Auflagers. Dieses von den extremen Temperaturschwankungen verursachte



05 Querschnitt durch den Dachraum (ohne Massstab) (Plan: Pfister Schiess Tropeano Architekten)

06 + 07 Falschfarbenbilder inkl. zugehöriger Skalen der Lufttemperaturen im Sommer (Abb. 6) bzw. im Winter (Abb. 7). Querschnitt über Hallenhöhe ab Boden Hochparterre

08 + 09 Temperaturverlauf über eine Woche im Sommer (Abb. 8) bzw. Winter (Abb. 9). Innere Temperaturen reagieren auf äussere Bedingungen (Abb. 8); dämmendes Luftpolster verkleinert Innentemperaturamplituden (Abb. 9) (Grafiken: Kopitsis Bauphysik AG)

GEBÄUDETECHNIK: ZWISCHEN KUPPEL UND GLASDACH

Bei Umbauten von bestehenden Gebäuden besteht oft der Wunsch, die Behaglichkeit und die Komfortbedingungen wie angenehme Raumtemperaturen und keine Zugerscheinungen so herzustellen, wie dies bei Neubauten nach geltenden Normen und Vorschriften üblich ist. Das ist meist ein schwieriges Unterfangen – insbesondere dann, wenn die bauphysikalisch relevante Bausubstanz aus Gründen des Denkmalschutzes weder aussen noch innen verändert oder verkleidet werden darf.

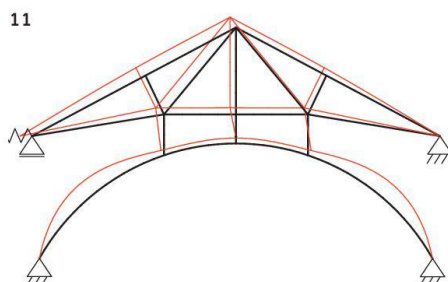
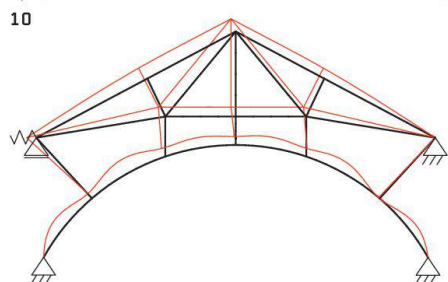
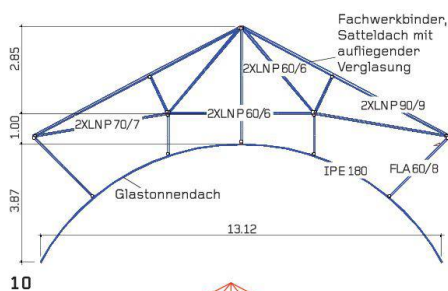
Beim Stadthaus Zürich lag besonderes Augenmerk

auf dem Raum zwischen dem Glastonnendach und dem Glassatteldach (Abb. 5). Die Lufttemperaturen solcher Zonen sind stark von äusseren Bedingungen wie Jahreszeit und Sonneneinstrahlung abhängig. Um die thermischen Vorgänge zu simulieren, bieten sich CFD-Analysen (Computational Fluid Dynamics) auf Basis der FEM (Finite-Elemente-Methode) an.

Die Verbesserungen der bauphysikalischen Werte beschränkten sich auf den Ersatz der Dachgläser durch eine Doppelverglasung mit guten Wärmedämmeigenschaften ($U_g = 1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$) und durch die Applikation von innenliegenden Sonnenschutzrol-

los mit einem tiefen Energiedurchgangsgrad ($g = 20\%$). Die Kuppel aus Glasbausteinen wurde belassen. Die Schicht weist Werte von $U_g = 5.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ und $g = 50\%$ auf. Komplettiert wird das sanierte Glasdach durch den Einbau von Lüftungsflügeln, um eine gute Querlüftung des Dachzwischenraumes zu gewährleisten. Wie genau diese Querlüftung im Sommer bei geschlossenen Innentoren ihre Wirkung entfalten wird, werden Messungen am gebauten Objekt noch feststellen.

Denis N. Kopitsis, M. Sc., dipl. Bauphysiker SIA, kopitsis@kopitsis.com



12

Problem wird mit dem ausgeglichenen Klima im Zwischenraum behoben. Die sich infolge Temperaturerhöhung ergebenden Spannungen – überlagert mit den Spannungen aus Eigengewicht und ständigen Lasten – liegen mit einem Ausnutzungsgrad von 0.40 weit unter dem Bemessungswiderstand der Stahlbauteile. Die Tragsicherheit der Dachkonstruktion bestehend aus Stahlfachwerk und Glastonnendach ist also ausreichend.

Ein neues Sicherheitsnetz

1996 wurde ein Netz mit einer Maschenweite von etwa $3 \times 3 \text{ cm}$ unter das Glasdach gehängt. Es sollte grössere Glassplitter bei einem Glassteinbruch auffangen und damit eine Gefährdung der sich in der Eingangshalle aufhaltenden Personen verhindern. Das Netz beeinträchtigte die Wahrnehmung des mächtigen Hallenraumes von oben nach unten massiv (Abb. 2). Die Ursache für den auftretenden Glassteinbruch wurde damals von Experten untersucht. Man führte ihn auf Fremdeinwirkung wie Manipulation durch Werkzeuge oder auf Spannungsspitzen an den Glassteinen infolge hoher Temperaturdifferenzen zurück – nicht aber auf eine auflastbedingte Überlastung einzelner Tragwerksbauteile; dies haben aktuelle Untersuchungen bestätigt. Da das Glastonnendach auch in Zukunft vom Dachraum her zugänglich ist, kann nicht ausgeschlossen werden, dass auch künftig durch äussere Einwirkungen Glasbrüche entstehen können. Deshalb blieb ein Sicherheitsnetz aus Sicht der Bauingenieure weiterhin eine Notwendigkeit. Es gelang den Architekten aber, ein neues Netz mit einer Maschenweite von $2.5 \times 2.5 \text{ cm}$ direkt unter das Tonnengewölbe einzubauen. Neuartige technische Qualitäts- und Fertigungsmöglichkeiten erlaubten, mit einem feinmaschigeren Netz die aktuellen brandschutz- und sicherheitsspezifischen wie auch die ästhetischen Anforderungen zu erfüllen (Abb. 1).

Judith Russenberger, dipl. Bauingenieurin ETH, Synaxis AG, Zürich, j.russenberger@synaxis.ch

Anna Ciari, dipl. Bauingenieurin TU, Synaxis AG, Zürich, a.ciari@synaxis.ch