

STÜTZENLOS BAUEN – TRAGWERK

# Ballett der Kräfte

Beim MFH von Architekt Christian Kerez an der Krönleinstrasse in Zürich verlaufen Tragwerk und Raum scheinbar nahtlos von innen nach aussen. Ein genauer Blick in die Tragkonstruktion von Dr. Joseph Schwartz Consulting offenbart jedoch, welcher Kraftakt diese Inszenierung ermöglicht.

Text: Thomas Ekwall



**Der sichtbare Stahlbau dringt in den Innenraum ein und wirkt monolithisch.** Dieser Effekt wurde durch ein zugleich unsichtbares und faszinierendes Detail im Bereich der Fassade gelöst, wo Statik und Bauphysik aufeinander abgestimmt sind (Abb. S. 28 unten).

**D**er Sehnsucht nach transparenten Fassaden und stützenlosen Innenräumen gingen das eingespielte Team von Architekten und Ingenieure hartnäckig nach. Das gebaute Resultat erfüllt diese Vorstellung – insbesondere dort, wo es wirklich darauf ankommt: beim Ausblick auf den Zürichsee (zur Architektur vgl. «Verstörend radikal», S. 30). Möglich wurde dies dank einem kühnen Stahlbau mit weiten Auskragungen, der folgendes Paradox in sich trägt: Das dominante Tragwerk wirkt monolithisch und steif, aber diese von aussen empfundenen Eigenschaf-

ten erweisen sich in den konstruktiven Details und im Gesamtverhalten als das Gegenteil.

## Galgen statt Rahmen

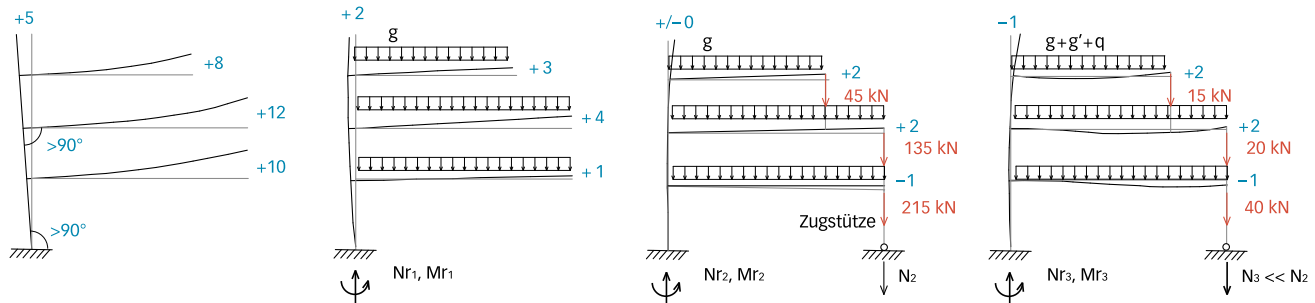
Die Stahlkonstruktion besteht aus drei Paaren galgenförmiger Stabwerke, die windmühlenartig angeordnet sind (Abb. S. 29). Ihre Dimensionen im Grundriss leiten sich von der Nutzung ab: Sie umfassen im Osten das Treppenhaus (Innenmass 2.55×4.40 m), im Norden den Lift (1.70×1.80 m) und im Westen den Haustechnikschacht (0.60×1.15 m). Ein Galgen besteht aus einer

drei Geschosse hohen Stütze sowie je einem Kragarm pro Geschoss, der darin eingespannt ist. Vergebens sucht man die Stütze am auskragenden Ende, die den Galgen zum klassischen Rahmen formulieren und ein gefühltes Gleichgewicht hervorrufen würde (Abb. S. 29 oben rechts). Der Verzicht auf diese Stütze ist die technische Innovation des Tragwerks, er hat allerdings weitreichende Konsequenzen auf den Kräfteverlauf und stellt die Verhältnismässigkeit dieser Entwurfsidee stark infrage. Erst die Einspannung des Stützenfusses im Stahlbetonsockel des EG und die Rückverankerung mittels Zugstangen ermöglichen den 12.5 m langen Kragarm und stabilisieren das Tragwerk in horizontaler Richtung. Die einzelnen Galgen sind nicht selbsttragend, sondern wirken erst durch die vorgespannten Stahlbetondecken miteinander und werden proportional zu ihrer Steifigkeit beansprucht.

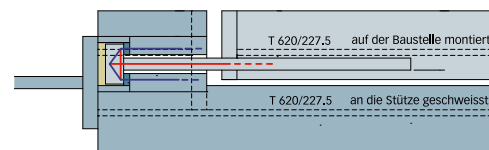
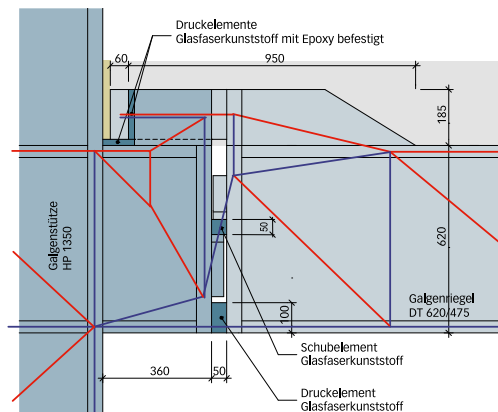
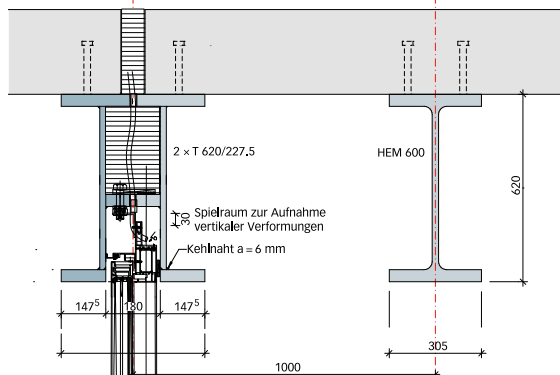
### Kontrollierte Verformung

Die massiven Stahlträger kompensieren das besonders weiche Tragwerk: Ohne weitere Massnahmen würde sich die südliche Ecke des Bauwerks im Gebrauch um 12 cm nach unten verformen. Damit die Kriterien der Gebrauchstauglichkeit erfüllt wurden, unternahmen die Ingenieure komplexe Berechnungen in der Planung und kluge Feinjustierungen auf der Baustelle.

Entsprechend der Verformung unter Eigengewicht wurde eine Vorverdrehung und Gegenkrümmung des Stahlbaus im Werk realisiert. Zudem wurde das Haus – analog zum Stimmen einer Gitarre – durch gezieltes Vorspannen der Zugstützen in der Fassadenebene gerichtet und ins Lot gebracht (Abb. unten). Sämtliche Steifigkeitspotenziale wurden ausgereizt: Die 28 cm dicke Spannbetondecke wirkt dank Kopfbolzendübeln



Das Tragwerk wurde im Werk und auf der Baustelle justiert, um die Verformung im Endzustand zu reduzieren. Von links nach rechts: **Lastfall 0:** Die Vorkrümmung und -verdrehung der Struktur wird im Werk eingebaut. Der Galgenriegel wird bis zu 12 cm überhört. **Lastfall g:** Unter dem Eigengewicht des Rohbaus (g) beträgt die Überhöhung nur noch 4 cm. **Lastfall g+N:** Durch Vorspannung der Zugstützen (N) entsteht ein vertikales Auflager am auskragenden Ende. Die Fassade wird eingemessen. **Endzustand g+g'+q+N:** Die Ausbau- (g') und Nutzlasten (q) entlasten die Zugstützen, die immer noch als Auflager wirken, solange sie Zugspannungen haben ( $N > 0$ ).



**Der Stahlbau ist im Fassadenbereich thermisch getrennt:** Die Schnittkräfte im Galgenriegel werden in drei Druckkomponenten (blau) zerlegt, die von den isolierenden druckfesten GFK-Klötzen vom warmen (hell) in den kalten Bereich (dunkel) übertragen werden.



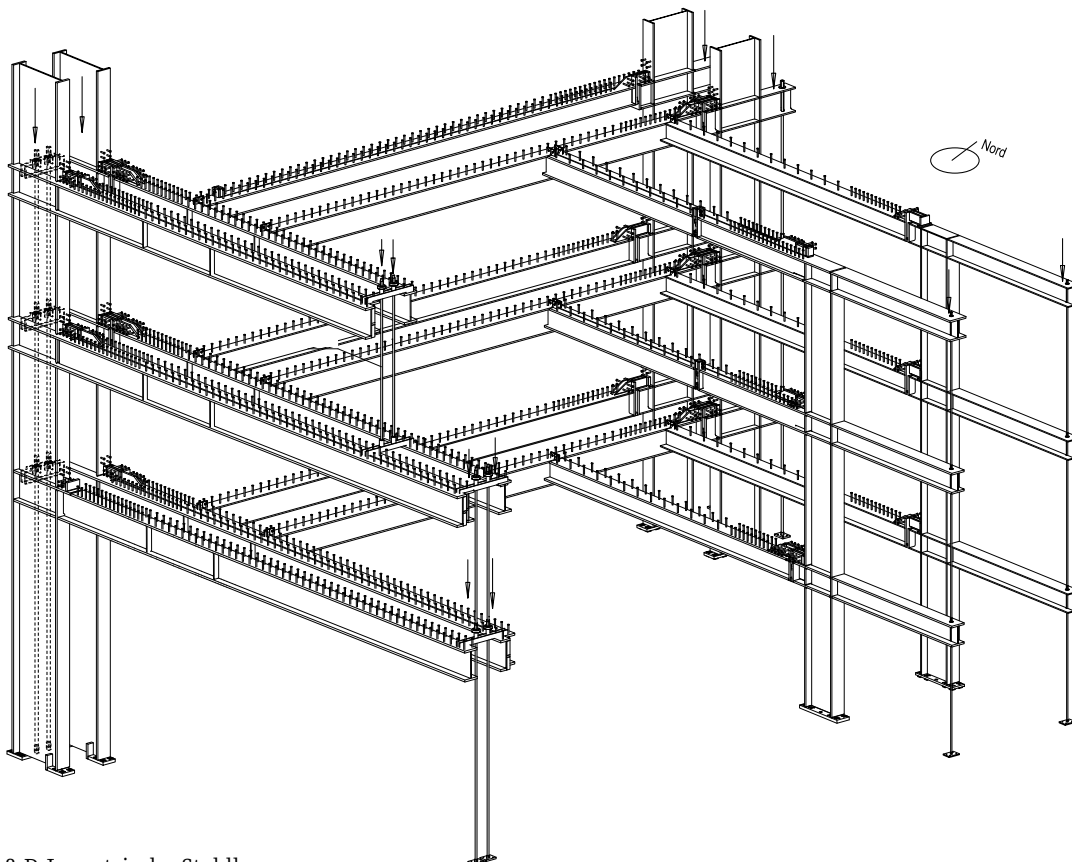
**Links:** Ansicht des nördlichen Ecks. Im Vordergrund umfassen die Galgenstützen den Lift.

**Rechts:** Ansicht der freigestellten Südwestfassade. Die Zugstützen am auskragenden Ende sind kaum sichtbar.

im Verbund mit den Stahlträgern. Die Vorspannung der Decke entlang der Südwestfassade (Vorspannkraft  $P_0 = 3150 \text{ kN}$  verteilt über 3 Kabel pro Geschoss) aktiviert der Betonanteil des Verbundträgers, damit er trotz Biegung stets ungerissen bleibt. Die Vorspannung der Decke senkrecht dazu ( $P_0 = 5600 \text{ kN}$  über sieben Kabel pro Geschoss) gewährleistet ihrerseits das Zusammenwirken der einzelnen Galgen und verhindert starke Rissbildungen infolge Biegung der Deckenebene.

Das weiche Verhalten musste präzise erfasst werden: In der Regel vernachlässigbare Effekte wie die

Weichheit der GFK-Verbindungen und die Drehweichheit des Rahmenknotens machen hier bis zu 40% der gesamten Vertikalverformungen aus. Weil der Gebrauchszustand massgebend ist, wird der Stahlbau in Bezug auf die Tragfähigkeit überdimensioniert. Als Vorteil erweisen sich die grossen Blechstärken im Hinblick auf das Brandverhalten: Im Innenbereich erfüllt das Tragwerk die R30-Anforderungen ohne Sprinkleranlagen oder dämmschichtbildende Anstriche. Nur die Stützen im Aussenbereich sind mit einem Zweikomponenten-anstrich versehen.



3-D-Isometrie des Stahlbaus

## Thermisch unterbrochen, stark abstrahiert

Die Umsetzung dieser statischen Fingerübung im Gesamtsystem wird zusätzlich zur konstruktiven Herausforderung im Detail: Im Fassadenbereich, wo eine räumliche Kontinuität von innen nach aussen erreicht wird, passiert aus konstruktiver Sicht das Gegenteil: Das Tragwerk wird in kritischen Bereichen zerklüftet und wieder kraftschlüssig zusammengelegt. Die westliche Fassadenecke steht sinnbildlich für diese Massnahme (Abb. S. 27 beziehungsweise Detail S. 28).

Die thermische Trennung von innen und aussen entlang der Südwestfassade verläuft genau in der Achse des Stahlträgers. Im Detail ist dieser als zwei geschweisste Doppel-T-Träger konstruiert, die sich jeweils im kalten und im warmen Bereich befinden. Dazwischen liegen die Fassaden- und Schiebetürprofile mit einem vertikalen Spiel von 30 mm zur Aufnahme von langfristigen Verformungen. Dort, wo die thermische Trennung um die Ecke entlang der Nordwestfassade verläuft, wird der innenliegende Stahlträger unterbrochen, wo die Beanspruchung am höchsten ist: Die Momente ( $M_d$  bis 2800 kNm) und Querkräfte ( $V_d$  bis 900 kN) werden über druckbeanspruchte Glasfaserkunststoffelemente weitergeleitet.

Die architektonische Idee der Transparenz konstruktiv umzusetzen hat weitreichende Konsequenzen auf die innere Tektonik. Dem Ingenieur standen viele

Mittel zur Verfügung, handkehrum schränkten dieselben Kriterien seinen Spielraum stark ein. Als Beispiel dafür stehen die konstanten Stahlquerschnitte, die nicht auf die Intensität ihrer Beanspruchung abgestimmt wurden. Weil nicht die eigentliche Tragfähigkeit im Fokus stand, sondern eine maximale Abstraktion des Tragwerks, kann der Betrachter – trotz dem besonderen Stellenwert der Konstruktion für den Entwurf – kein Gefühl für den Kräfteverlauf entwickeln.

Die grosse Herausforderung für den Ingenieur bestand letztlich darin, dass die Verformung und nicht die Spannung massgebend war. Eine Bemessung des Tragwerks «auf der sicheren Seite» wäre kontraproduktiv gewesen, denn die Verformung durfte weder zu gross noch zu klein sein, sondern musste möglichst nah der Realität entsprechen. Angesichts der komplexen Zusammenhänge innerhalb des Tragwerks – langfristiges Kriechen des Betons, Nachgiebigkeit der Lager, Interaktion zwischen Beton, Stahl und Baugrund – setzt dieses Kunststück ein hohes Fachwissen voraus.

Neven Kostic, Ingenieur im Büro Dr. Joseph Schwartz Consulting, bringt das Experiment auf den Punkt: «Dieses Haus ist ein architektonisches Bijou und nicht eine Suche nach allgemeinverträglichen Konzepten. Die konstruktiven Details, die dafür entwickelt wurden, sind einmalig und gehören nun diesem Haus.» •

*Thomas Ekwall, Redaktor Bauingenieurwesen*

STÜTZENLOS BAUEN – ARCHITEKTUR

# Verstörend radikal

Wie wirkt der Raum, wenn das Tragwerk zwar inszeniert ist, aber rätselhaft bleibt? Im «Haus mit einer fehlenden Stütze» hat Christian Kerez eine neuartige Architektur geschaffen. Der ungewöhnliche Stahlbau von Dr. Joseph Schwartz Consulting ist integraler Bestandteil davon.

Text: Hubertus Adam

**D**ie exorbitanten Grundstückspreise am Zürichberg führen dazu, dass Liegenschaften nachverdichtet werden – durch zusätzliche Baukörper oder, falls das die Grösse des Areals nicht zulässt, durch Neubauten, die das mögliche Volumen bis auf den letzten Kubikzentimeter ausschöpfen. Auf eine verglichen mit den Abmessungen mancher Grundstücke in der Umgebung eher bescheidenen Parzelle an der Krönleinstrasse stand ein Einfamilienhaus,

das die maximal erlaubte Baumasse nicht erreichte. Angesichts dieses Potenzials entschieden sich die Besitzer zu einem Neubau, der neben ihrer eigenen auch zwei weitere Wohnungen umfassen sollte. Mit dieser Idee traten sie an Christian Kerez heran, dessen eigenes Wohnhaus sich in der Nachbarschaft befindet und ihnen vertraut war. 2014 war der Neubau fertig.

Von der Strasse aus führt eine Zufahrt direkt in die Tiefgarage des ins Terrain zurückgesetzten Hauses. Verbirgt sich die Garagenebene völlig im Gelände, so