

TEC21



Heftreihe
BETON
N° 1

Beton, exponiert

Raststätte Deitingen-Süd: Zeitloser Schwung
Landesmuseum Zürich: Gefalteter Monolith

Wettbewerbe

Neubau Kriminalabteilung der
Stadtpolizei am Mühleweg, Zürich

Panorama

Das Wunder von Biel

sia

Ursachen der Mehrvergütung
Zukunft der Ingenieure in Europa

TRAGKONSTRUKTION ERWEITERUNG LANDESMUSEUM ZÜRICH

Gefalteter Monolith

Der Erweiterungsbau des Landesmuseums Zürich ist gewagt und im ingenieurspezifischen Sinn alles andere als sperrig. Schnetzer Puskas Ingenieure liessen sich auf die architektonische Intention ein und schufen ein räumliches Tragwerk für den expressiven Baukörper. Möglich machte dies der Werkstoff Beton.

Text: Clementine Hegner-van Rooden



Die Umbauarbeiten am Landesmuseum Zürich auf der Halbinsel zwischen Limmat und Sihl hinter dem Hauptbahnhof haben einen Meilenstein erreicht: Nach 15 Jahren Ausschreibung, Wettbewerb¹, Planung, Vor- und Bauprojekt sowie Ausführung ist der fünfgeschossige Erweiterungsbau von Christ&Gantenbein Architekten seit Juli 2016 eröffnet. Die in Grund- und Aufriss mehrfach geknickte Erweiterung dockt an den Bestand von 1898 an und schliesst den U-förmigen Haupttrakt des Altbaus von Gustav Gull: (Abb. S. 33) Sie behebt den Platzmangel des Museums – Ausstellungsflächen, eine Bibliothek und ein Auditorium für öffentliche Veranstaltungen finden darin Platz – und ermöglicht erstmals einen Rundlauf durch alle Ausstellungsräume.

Foto: Iwan Baan



Alt und Neu:

Der im Juli 2016 eröffnete Erweiterungsbau ergänzt das Gebäude des damaligen Stadtbaumeisters Gustav Gull von 1898 um einen neuen Gebäude- trakt. Dieser bildet mit seiner Brücke ein Tor zum Platzspitz und ermöglicht einen Rundlauf durch das Museum. Ein grosser Teil des Altbaus wurde vor den und während der Neubauarbeiten nach denkmalpflegerischen Grundsätzen erneuert und umgebaut.

Fugenloses Fassadenkonzept

Während den Altbau eine historistische, feingliedrige Fassade auszeichnet, prägen grossflächige, wuchtig anmutende und schlichte Sichtbetonfassaden den Neubau. Diese sind weitgehend geschlossen, denn die Ausstellungsräume gegenwärtiger Museen benötigen kaum natürliches Licht. Einzig Bandfenster in der nordöstlichen Gebäudeecke und 69 Rundfenster, die einzeln und gruppiert in allen Ansichten angeordnet sind, durchbrechen die Fassade. Die Bandfenster zeigen, wo die Bibliothek platziert ist. Als Einschnitte in den geschlossenen Kubus sind sie vorab als Aussparungen in die Schalung eingelegt worden. Die Rundfenster lassen erahnen, wo sich der Neubau im Innern erschliesst. Sie wurden nachträglich als Kernbohrungen in die Fassade gebohrt und lassen punktuell die Sicht von innen nach aussen – weniger von aussen nach innen – zu.

Die Fassaden sind monolithisch und damit fugenlos erstellt. Um eine solche Wandfläche mit einer abgewinkelten Länge von 103 m (Seite Landesmuseum) bzw. 162 m (Seite Park) erstellen zu können, ist ein ausgeklügeltes konstruktives Prinzip erforderlich. Normalerweise nehmen in regelmässigen Abständen angeordnete Dilatationsfugen die Verformungen der Wände auf. Die Bewegungen werden auf diese Weise klein gehalten. Allerdings bedingen direkt bewitterte Fugen einen hohen Unterhaltsaufwand und sind ein ästhetischer Störfaktor. Deswegen ist die selbsttragende, 21 cm dicke Aussenhaut der zweischaligen Aussenwand durch die 33 cm dicke Isolationsschicht hindurch an die tragende 25–40 cm starke Innenwand rückverankert. Die Verformungen, die aus relativ hohen Temperaturschwankungen von –10 bis +30 °C entstehen, werden mit geschaffenen Bewegungsfreiräumen aufgefangen. Die Aussenhaut verschiebt sich horizontal auf Gleitlagern. Nur lokal sind Fixpunkte platziert (Abb. S. 30, Mitte). Die gegen innen oder gegen aussen springenden Fassadenecken sind nicht verankert. Hier «pumpt» die Aussenhaut, da sie sich beidseitig der Ecken infolge Temperaturschwankungen, Schwinden und Kriechen ausdehnt und zusammenzieht. Um diese Bewegungsfreiheit zu gewährleisten, ist die Isolationsschicht an den Gebäudeecken 6 cm dünner ausgeführt. Im Freiraum zwischen Betonwand und Dämmung bewegt sich die Fassade.

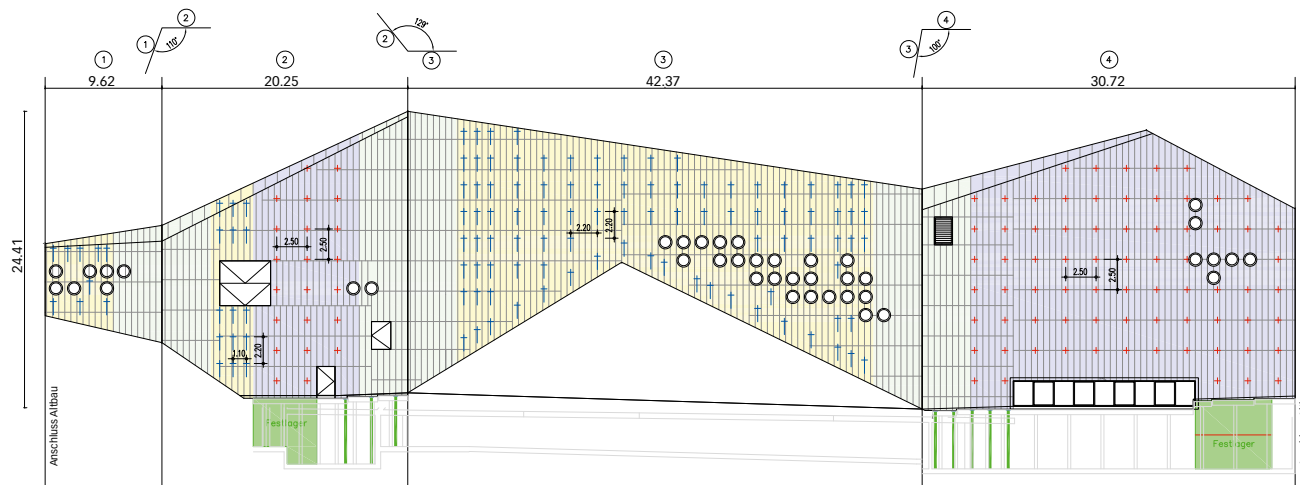
Meilensteine

- 2002 Wettbewerb, 1. Preis; Instandsetzung und Erweiterung
- 2006–2009 Instandsetzung und Erneuerung Haupttrakt
- 13. Juli 2010 Volksabstimmung Baukredit Stadt Zürich
- 13. Februar 2011 Volksabstimmung Kanton Zürich
- 2012–2015 Erstellung Erweiterungsbau
- 2013–2014 Instandsetzung und Erneuerung Kunstgewerbeschulflügel
- 2014–2015 Instandsetzung und Erneuerung Hofflügel und Innenhof
- 2016 Rückbau Provisorium und Umgebungsarbeiten
- 31. Juli 2016 Eröffnung Erweiterungsbau
- 2017–2020 Instandsetzung und Erneuerung West- und Ostflügel sowie Turm
- 2020 Wiedereröffnung des kompletten Landesmuseums

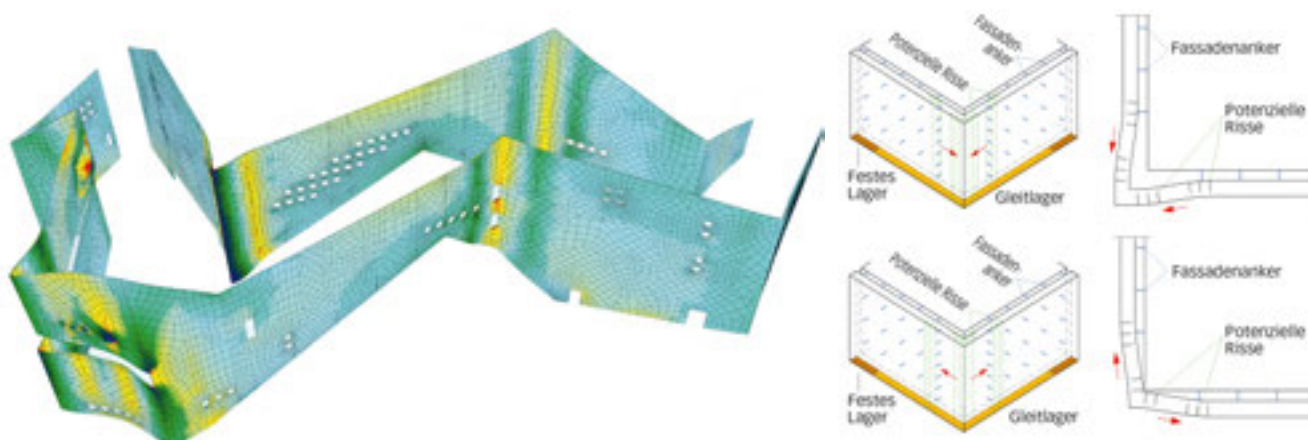
Spezieller Beton – eigene Verantwortung

Aus dem Fassadenkonzept erschliesst sich die Betonrezeptur, denn die entstehenden Zwängungen und Verformungen bedingen bestimmte Betoneigenschaften, wie beispielsweise einen Wasser/Zement-Wert von <0.45 bzw. ein Schwindmass von $<0.4\%$. Daneben musste mit der Betonrezeptur auch eine konkrete Farbe erreicht werden, denn so sehr sich die historische Bruchsteinfassade und die neue Fassade strukturell voneinander unterscheiden, verbindet vor allem ihre Farbgebung und eine gewisse Rauheit in der Oberfläche die beiden Gebäudeteile miteinander. Der Tuffstein des historischen Bruchsteinmauerwerks findet sich deshalb in der neuen Fassade wieder. Er wurde dem Beton zusammen mit Kalk beigemischt, um ihm die Farbe der historischen Bausubstanz zu geben.

Allerdings war die Beimengung nicht ohne Weiteres möglich. Aufgrund der vulkanischen Gaseinschlüsse ist Tuff häufig porös und saugt Wasser. «Es ist daher schwierig», so Heinrich Schnetzer von Schnetzer Puskas Ingenieure aus Basel, «mit einem solchen Zuschlag Beton herzustellen, denn er hat für die Betonherstellung ungeeignete Eigenschaften.» Tuff entzieht dem Beton vor und während dem Abbinden Wasser. Dadurch ist die Betonmischung schlecht verarbeitbar, und der Wasser/Zement-Wert und damit das Schwindmass werden unkontrollierbar. Ausserdem schleifen sich die weichen Gesteinskörner beim Mischen ab und verändern ihre Korngrösse – ein gut abgestuftes Korngerüst für ein kompaktes Volumen wird unmöglich. Für eine monolithische Fassadenkonstruktion wie die am Erweiterungsbau des Landesmuseums sind diese Aspekte aber zentral. Erst ein eineinhalb Jahre andauernder Entwicklungs-



Abwicklung der Südfassade mit Aufhängungen (blau) in den Bereichen, wo die Sichtbetonfassade mit Zugankern aufgehängt ist (gelb), und Verankerungen (rot) in den Bereichen, wo die Sichtbetonfassade (violett) auf Festlager als Fixpunkte (grün, breit) oder auf Konsolen mit Gleitlagern (grün, schmal) abgestellt ist. In den Fassadenecken (hellgrün) sind keine Anker gesetzt worden, um die notwendige Bewegungsfreiheit der Fassade zu gewährleisten.



Das Konstruktionskonzept der fugenlosen Fassade sorgt dafür, dass sie sich verformen kann (links: Verformungsbild der beiden Wände mit einer abgewinkelten Länge von 103 bzw. 162 m). Die geknickte Gebäudeform begünstigt dieses Verhalten. **In den Fassadenecken verkürzen sich die Wände oder dehnen sich aus, um Zwängungen auszugleichen.** Es entstehen lokal fein verteilte Risse (rechts oben: Fassadenecke bei einer Ausdehnung, rechts unten: Fassadenecke bei einer Verkürzung).



Um die **Gesteinskörnung** der Sichtbetonfassade stärker sichtbar zu machen, und den **Bezug zum Altbau** mit seiner Bruchsteinfassade aus Tuff herzustellen, liess man die Fassade unter Hochdruck 5 mm wasserstrahlen.



prozess inklusive Prüfungen und Fassadenmuster auf der Baustelle ergab die richtige Rezeptur (Tuffstein-Beton C25/30 nach Zusammensetzung). Der Clou war vor allem, den Tuff vorab zu nassen und ihn wassergesättigt in die Betonmischung einzubringen. Für diesen Beton nach Zusammensetzung trugen die Ingenieure die volle Verantwortung, denn die Ausschreibung konnte nicht wie gewohnt mit Expositionsclassen, sondern musste wie früher nach Rezeptur erfolgen. Dank seiner jahrelangen Erfahrung in der Baupraxis und in der Beton-Werkstoffforschung an der ETH Zürich konnte Heinrich Schnetzer diese Verantwortung übernehmen.

Die Betonrezeptur musste noch vor der Ausschreibung – bevor der ausführende Baumeister bestimmt war – mit einem Betonlieferanten definiert werden. Dass dieser den Auftrag nicht erhalten könnte, war ein reales Risiko, das in diesem Fall tatsächlich eintraf. Mit dem neuen Lieferanten wurde der Wasser/Zement-Wert bei jeder Lieferung überprüft. Für die richtige Konsistenz zum Einbringen und Vibrieren sorgten wie üblich und je nach Bedarf Verzögerer, Stabilisatoren, Luftporenbildner und Verflüssiger.

Grundwasser, Schotter und Moräne

Besondere Anforderungen an den Beton waren im Untergeschoss erforderlich, da es sich grösstenteils im Grundwasser befindet (die Gründungssohle liegt etwa 2.5 m im Grundwasser) und als weisse Wanne ausgeführt wurde. Geplant und umgesetzt wurde nur ein Untergeschoss, da die Baukosten so vor allem bezüglich Baugrubensicherung und Auftriebssicherheit während der Bauphase reduziert werden konnten. Der Baugrubenabschluss bildete eine rückverankerte Spundwand

mit einer Länge von etwa 16 bis 20 m. Sie durchstösst im oberflächennahen Bereich den sehr durchlässigen Schotter und darunter, in einer Tiefe von etwa 12 bis 16 m, die mässig durchlässigen Seeablagerungen, die wiederum auf den Moränen der letzten Eiszeit liegen. Die Spundwand wurde in die Seeablagerung und teilweise in die Moräne eingebunden.

Das funktionale statische System erkennen

Der architektonische Ausdruck und das Tragwerk der Erweiterung bedingen sich grundsätzlich gegenseitig: Der räumliche Körper setzt somit auch ein räumliches Tragwerk voraus. Schnetzer Puskas Ingenieure stiessen erst während des Vorprojekts zum Planungsteam hinzu. Sie verstanden es, für den mäandrierenden Bau das zweckmässige und angemessene statische System festzulegen. Gerade in einem solchen Fall ist die Analyse, das heisst das gedankliche – nicht digitale – Zerlegen des Tragwerks in seine wesentlichen Komponenten unter Berücksichtigung des gegenseitigen Zusammenwirkens, unentbehrlich. Heinrich Schnetzer betont denn auch: «Das richtige statische System für einen Bau zu finden setzt voraus, dass der Ingenieur ganzheitlich Bescheid weiss über das räumliche Zusammenwirken von einzelnen Tragelementen und über den tragwerkspezifischen Kraftfluss. Nur mithilfe dieses analytischen Vorgangs lassen sich die wesentlichen bauwerksspezifischen Eigenschaften der Tragwerkelemente erarbeiten und für die Konzeption des Tragwerks optimal verwenden.» Nach der Analyse kann das Bauwerk im Sinn einer Synthese als Ganzes betrachtet und auch mit den digitalen Hilfsmitteln berechnet werden.



Baustellenfotos während den Ausführungsarbeiten an der Brücke. Die Neigungen der Brückenplatten betragen 45 und 27 Grad. Um sie betonieren zu können, sind Konterschaltungen erforderlich. Zuerst betonierte man die Untersicht der Brücke – die nichttragende Aussenhaut –, verlegte die Dämmung und die Bewehrung und betonierte anschliessend die tragende Platte.

Die Leistungsfähigkeit einer einfachen, aber das Wesentliche erfassenden Tragwerksanalyse lässt sich am Beispiel der Verbindung vom bestehenden Hof in den Park aufschlussreich zeigen. Der brückenartig ausgebildete Neubaukörper mit der torförmigen Öffnung ermöglicht diese Verbindung und ist ein zentrales Element des architektonischen Entwurfs. Seine Tragwirkung zu definieren und seine Tragelemente zu dimensionieren waren wesentliche Ingenieuraufgaben.

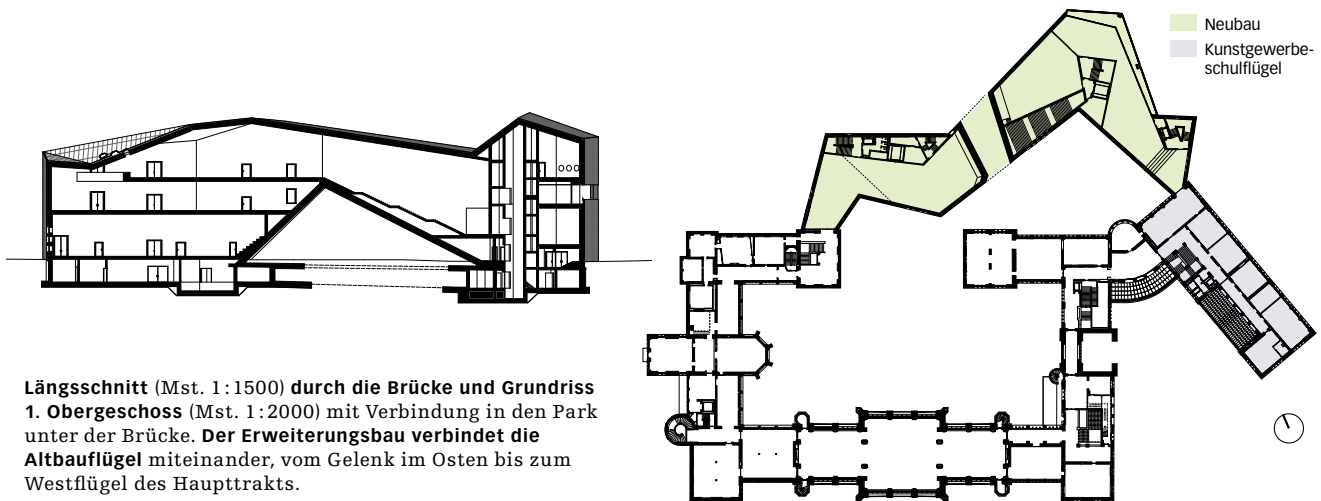
Die Wirkungsweise der 46 m weit spannenden Brückenkonstruktion lässt sich auf zwei substanzielle Elemente abstrahieren: eine gefaltete Platte als stützen-der Sockel – der eigentliche «Torbogen» – und die Wandscheiben (Abb. rechts unten). Die beiden 45 und 27 Grad geneigten Druckplatten des «Torbogens» sind an ihren Füßen über die Decke des Untergeschosses miteinander verbunden. Diese Untergeschossdecke als Bodenplatte in der Verbindung zum Park ist vorgespannt und funktioniert statisch als Zugband. Die Decke ist somit Raumabschluss und Tragelement zugleich. Die Druckplatten bilden zusammen mit dem Zugband ein Dreieck, das ein Kräftegleichgewicht herstellt und die Fassadenscheiben stützt. Gleichzeitig steifen die hohen Scheiben die Druckplatten aus, sodass diese relativ dünn ausgebildet werden können. Die Firstlinie bzw. der Stützpunkt der beiden Druckplatten reduziert die Spannweiten der Fassadenscheiben um etwa die Hälfte und damit die Schnittkräfte auf ein Viertel. Dadurch können auch die Wandscheiben relativ schlank ausgebildet und trotz scheibenartiger Träger teilweise aufgelöst bzw. perforiert werden.

Anschluss ohne Kraftübertragung

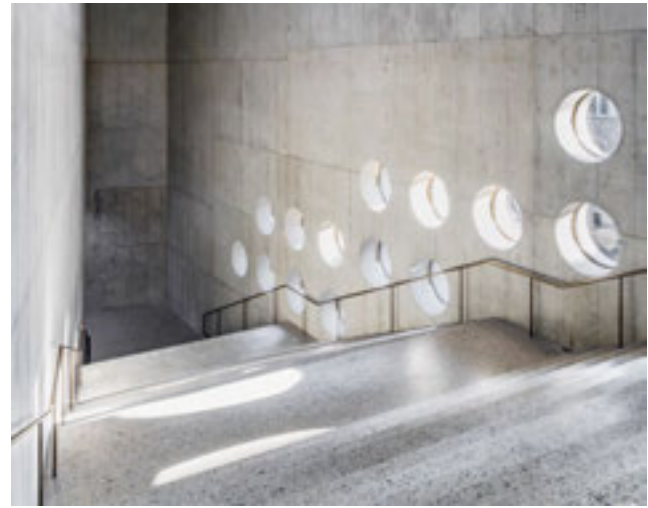
Nicht ganz offensichtlich ist auch die Tragwirkung des Erweiterungsbaus an seinen Enden bzw. seinen Anschlussstellen an die bestehende historische Substanz.

An dieser Stelle treffen markant unterschiedliche Gebäudeteile aufeinander – hier die einheitliche und grossflächige neue Wand, dort die feingliedrige historische Altbaufassade.

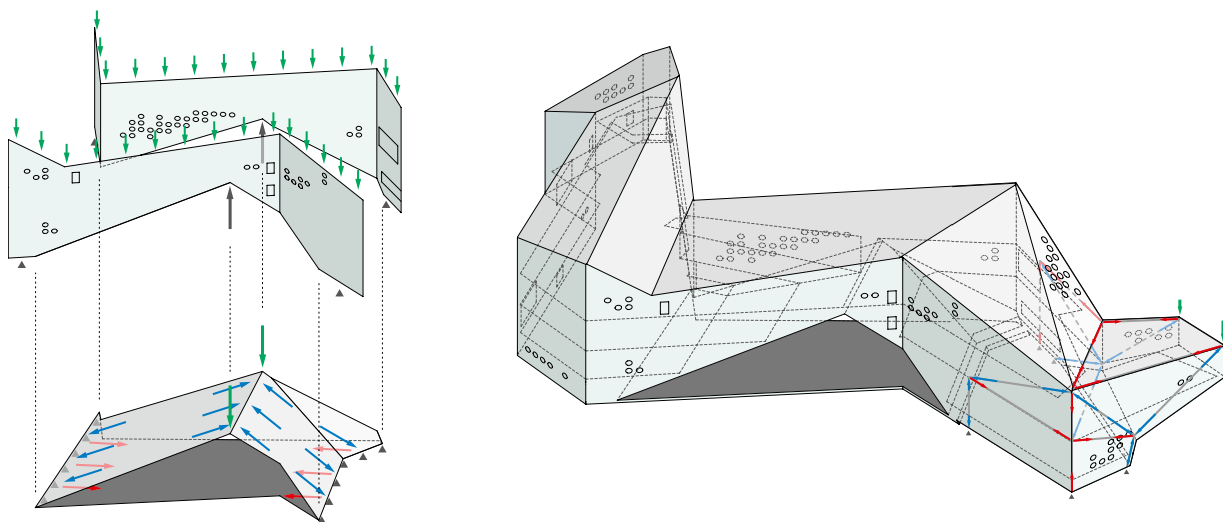
Beidseitig dockt die Erweiterung zwar wie eine Landungsbrücke am West- und Ostflügel des bestehenden Baus an. Doch weil die bestehende Bausubstanz und ihre Foundation nicht für zusätzliche Lasten ausgelegt sind und um aufwendige Verstärkungsmassnahmen im Altbau zu verhindern, überträgt der Neubau keine Lasten: Der flach mit partiellen Vertiefungen fundierte Massivbau, der durch die Betonscheiben der Aussen-, Treppen- und Liftwände horizontal ausgesteift ist, steht grundsätzlich nur auf zwei Füßen und kragt gegen den Altbau beidseitig aus – am einen Ende mit einer Auskragung, die einen zweiten Durchgang kreiert, am anderen Ende – weil so kurz – nur im statischen System sichtbar. Aus ingenieurkonstruktiver Sicht schmiegt sich der Neubau also behutsam an den Bestand. Und ebenso bedacht werden die Kräfte aus der Auskragung in die dahinterliegenden Tragelemente weitergeleitet: Die Gebäudeform des Neubaus mäandriert. Einzelne Gebäudevolumen reihen sich abgewinkelt aneinander. Auch die auskragenden Enden sind über die Fassadenscheiben abgewinkelt am folgenden Gebäudeteil eingespannt. Der Knick verursacht im Zug- und im Druckbereich der vertikalen Scheiben Ablenkkkräfte. Es ist nicht sinnvoll, diese Kräfte über Biegung abzutragen. Effizienter ist die Rückverankerung des Knicks bzw. die Kraftumlenkung mittels horizontaler Scheiben. Dazu dient im Zugbereich die Dachscheibe und im Druckbereich eine Deckenscheibe. Die horizontalen Kräfte bzw. das Kräftepaar in den Scheiben ist zugleich die Torsionseinspannung des abgelenkten und auskragenden Gebäudeteils. Es wird über Wandscheiben oder Kerne gekoppelt und schliesst so den Kräftefluss zu einem Gleichgewicht.



Längsschnitt (Mst. 1:1500) **durch die Brücke und Grundriss 1. Obergeschoss** (Mst. 1:2000) mit Verbindung in den Park unter der Brücke. **Der Erweiterungsbau verbindet die Altbauflügel miteinander, vom Gelenk im Osten bis zum Westflügel des Haupttrakts.**



Die charakteristische Brücke aussen ist im Innenraum eine monumentale **Kaskadentreppe**, über die die Besucher von den Dauerausstellungen im Erdgeschoss zu den Wechselausstellungen im zweiten Obergeschoss gelangen. Der Sichtbeton ist etappiert – der Monolith wurde mit etwa 300 Betonieretappen zu einem monolithischen Bauteil erstellt. Durch die Bullaugen gelangt Tageslicht ins Innere, zugleich zeigt sich der Altbau von aussen.



Visualisierung des statischen Systems der Brücke (links) und des gesamten Körpers der Erweiterung mit auskragendem Ende (rechts, Schnabel). Die **Brücke funktioniert statisch als Dreibein**: Eine gefaltete druckbeanspruchte Platte ist Lager für die Wandscheiben. Das Zugband – die vorgespannte Decke über dem Untergeschoss (dunkelgrau) – stellt das Kräftegleichgewicht her. Die darin verlegten Vorspannkabel sind so eingelegt, dass sich die Umlenkkräfte gegenseitig abstützen und aufheben. Beim Schnabel treffen Alt und Neu aufeinander. **Der Neubau gibt an der Schnittstelle keine Lasten an den Altbau ab** – er steht für sich auf zwei Füßen und kragt an beiden Enden aus, ohne den Altbau konstruktiv zu belasten.



Ansicht von der Limmat mit Alt und Neu: Ein grosser Teil des Altbaus wurde vor den und während der Neubauarbeiten nach denkmalpflegerischen Grundsätzen aufwendig erneuert und umgebaut (vgl. «Meilensteine», S. 29, und TEC21-Sonderheft «Sanierung Landesmuseum», Dezember 2008).

Intention verwirklichen

Mit diesem gekonnten Umgang der Kräfte zeigt sich die Effizienz des Tragwerks, das zugleich Teil der Architektur ist. Die Ingenieure bedienen sich der architektonisch ohnehin vorhandenen Elemente und dimensionieren sie statisch effizient. Ob Flaggschiff oder Felsenriff, reizvoll oder brachial – das Landesmuseum ist aus ingenieurspezifischer Sicht eine besondere, behutsame und vor allem auch kreative Ingenieurarbeit. Aus ihr entwickelte sich eine Beton-Tragkonstruktion, die zusammen mit der Betonrezeptur die architektonische Intention verwirklicht. •

Clementine Hegner-van Rooden, Dipl. Bauing. ETH, Fachjournalistin BR und Korrespondentin TEC21, clementine@vanrooden.com

Anmerkung

1 TEC21 33-34/2002, S. 44–45.



Weiterführende Literatur (Auswahl)

«Einweihung des Schweiz. Landesmuseums. Rede des Herrn Stadtpräsidenten Pestalozzi», in: Schweizerische Bauzeitung, 2. Juli 1898, S. 1–2.

«Der Entwurf von Architekt Gustav Gull für ein Schweizerisches Landesmuseum in Zürich», in: Schweizerische Bauzeitung, 6. Dezember 1890, S. 142–144.



Bauherrschaft

Schweizerische Eidgenossenschaft, vertreten durch das Bundesamt für Bauten und Logistik (BBL)

Generalplanung

ARGE Generalplaner SLM, Proplaning, Basel/Christ & Gantenbein, Basel

Architektur

Christ & Gantenbein, Basel

Baumanagement/Bauleitung

Proplaning, Basel

Tragkonstruktion Altbau

APT Ingenieure, Zürich

Tragkonstruktion Neubau

Schnetzer Puskas Ingenieure, Basel; Proplaning Bauingenieure, Basel

Elektroplanung

Pro Engineering, Basel

HLKKS-Koordination

Stokar & Partner, Basel

Landschaftsarchitektur

Vogt Landschaftsarchitekten, Zürich

Gesamtkosten

111 Mio. Franken (Erweiterungsbau und Instandsetzung Kunstgewerbeschulflügel; davon Stadt 10 Mio., Kanton 20 Mio., Bund 76 Mio., Private 5 Mio.)

Baustandard

Minergie-P-Eco-Zertifikat (Neubau), Minergie-Zertifikat (Altbau)

Sanierung Altbau: TEC21-Dossier «Sanierung Landesmuseum», Dezember 2008.

Roman Hollenstein, «Ein graues Felsenriff. Kritische Anmerkungen zur Erweiterung des Landesmuseums», in: Neue Zürcher Zeitung, 24.9.2016.