Lasten auf Umwegen

Autor(en): **Engler, Daniel**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **129 (2003)**

Heft 6: **Lasten auf Umwegen**

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-108716

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Daniel Engler

Lasten auf Umwegen

Eine Schule am Stadtrand von Zug benötigte mehr Raum. Das siegreiche Wettbewerbsprojekt ist ein in die Höhe entwickelter, sechsgeschossiger Betonbau mit einem durchlässigen, überwiegend freien Erdgeschoss. Stützen wollte man da nur an wenigen, genau definierten Punkten haben. Eine Freude für die Statiker, die in dieser schwierigen Vorgabe eine spannende Herausforderung sahen.

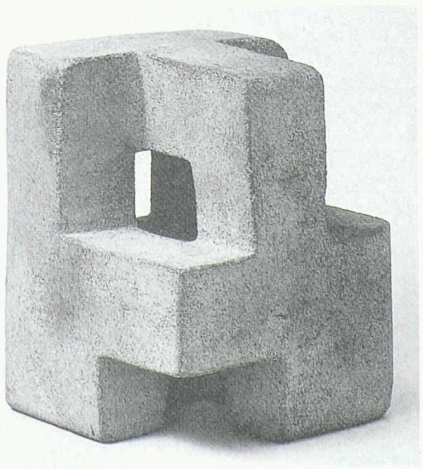
Zehn Teams wurden 1999 zum Wettbewerb für die Erweiterung der Kantonsschule Luegeten in Zug eingeladen. Die Gewinner hatten als einzige den engeren, an zwei bestehende Schulhaustrakte anknüpfenden Standort (von zwei möglichen) gewählt. Neben den so erzielten städtebaulichen und betrieblichen Vorteilen liess sich die Jury vor allem auch von den räumlich-plastischen Qualitäten des Siegerprojektes überzeugen. Tatsächlich hatten sich die ArchitektInnen unter anderem von den Skulpturen Eduardo Chillidas inspirieren lassen (Bild 1). Aus dem Jurybericht: «Die strenge Beweiskraft des Entwurfes (liegt) in den auf Ordnung bedachten Grundrissen als auch in der Gesamtvolumetrie, die von einem substraktiven Prinzip ausgeht, in dem Teile eher entfernt als zugefügt werden (...).»
Oft kommen solch ungewöhnliche Entwürfe in der Realisierungsphase unter den Druck von Standardherstellungsverfahren, statischen Problemen und zu hohen Kosten und verlieren dann viel von ihrer ursprünglichen Stärke. Nicht so in diesem Fall, wie man sich am unterdessen fast fertigen Bau überzeugen kann. Wesentlich war, dass schon für den Wettbewerbsentwurf zusammen mit den Bauingenieuren intensive Studien zu Tragwerk und Statik stattgefunden hatten und damit die konzeptionell wichtigen statischen und konstruktiven Fragen bereits geklärt waren.

Konzept

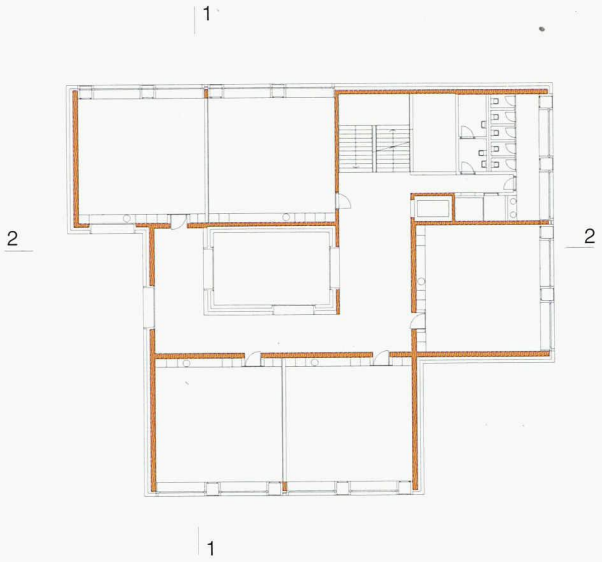
Ein wichtiger städtebaulicher Anspruch bestand in der Integration des Projektes in die bestehende Anlage. Daher wollte man eine existierende öffentliche Fussverbindung durch das Baugelände weiterhin aufrecht erhalten, das Erdgeschoss also möglichst offen gestalten. Ein «substraktives Prinzip» impliziert die Idee des «Herausschneidens», und diese wollte man spürbar machen – kein in klassisch-modernem Sinne auf «Pilotis» vom Terrain abgehobenes Gebäude also. Das hat zur Konsequenz, dass die hohen Lasten aus den fünf Obergeschossen über teilweise beträchtliche Spannweiten und Auskragungen zu ihren vertikalen Abtragungspunkten transferiert werden müssen.

Statik

Von der Attika (5. OG) bis zum zweiten Obergeschoss gehen die Lasten zuerst einmal auf wenig spektakulären Wegen nach unten. Die Wände stehen schön übereinander, die Spannweiten liegen im üblichen Rahmen, sind betongerecht (Bild 2, tragende Wände rot eingezeichnet). In der Mitte liegt der grosse Ausschnitt mit Aussenklima, oben rechts noch ein zweiter, innen liegender Lichthof. Im 1. Obergeschoss allerdings wird es interessanter: Auf der Nordseite fehlen bereits substan-

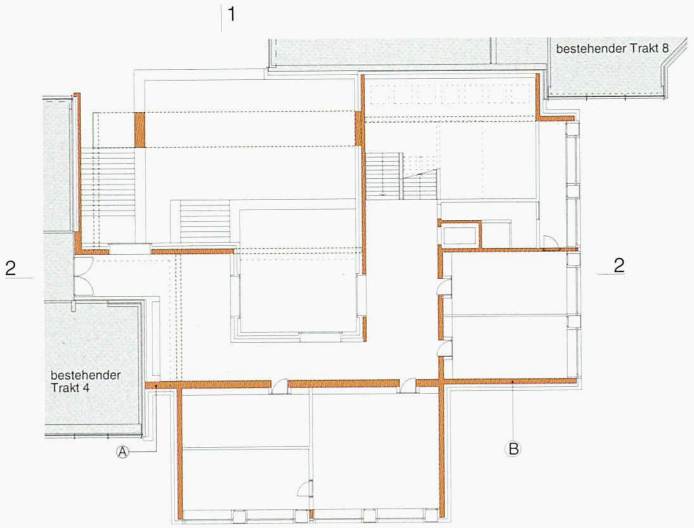


1
Skulptur Lurra 79, 1982/1983, von Eduardo Chillida (Abbildung aus «Eduardo Chillida: Skulpturen aus Ton». Copyright Pro Litteris)



2

Grundriss 2.–4. OG. Um den grossen, offenen Lichthof im Zentrum sind fünf Schulzimmer gruppiert. Die rot eingezeichneten Haupttragwände liegen jeweils übereinander (Plan Architekten, Mst. 1:500)



3

Grundriss 1. OG. Tragwände im darüber liegenden 2. OG., die hier keine vertikale Fortsetzung finden und abgefangen werden müssen, sind grün gestrichelt. Links unten das Wandstück A, für das (zum ersten Mal in der Schweiz) hochfester Beton B 70/60 verwendet wurde (Plan Architekten, Mst. 1:500)

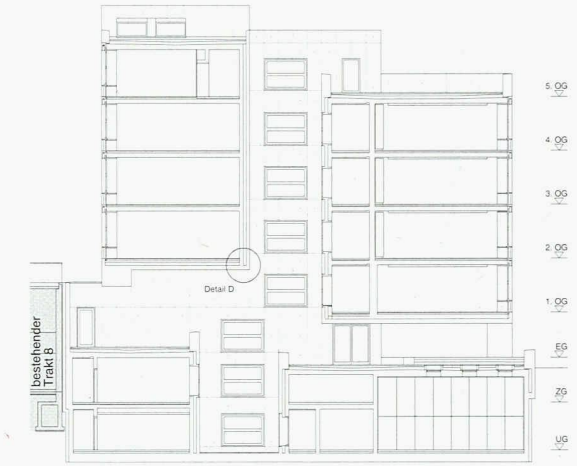
4

Grundriss EG. Das Erdgeschoss ist, abgesehen vom Erschliessungsbereich, weitgehend frei. Die grün gestrichelten Linien zeigen die zum Teil weit spannenden bzw. auskragenden Tragwände des 1. Obergeschosses. Die Abmessungen der Mittelstütze unter den auskragenden südlichen Klassenzimmern folgen architektonischen Überlegungen. Was die Statik betrifft, könnte sie wesentlich dünner sein (Plan Architekten, Mst. 1:500)

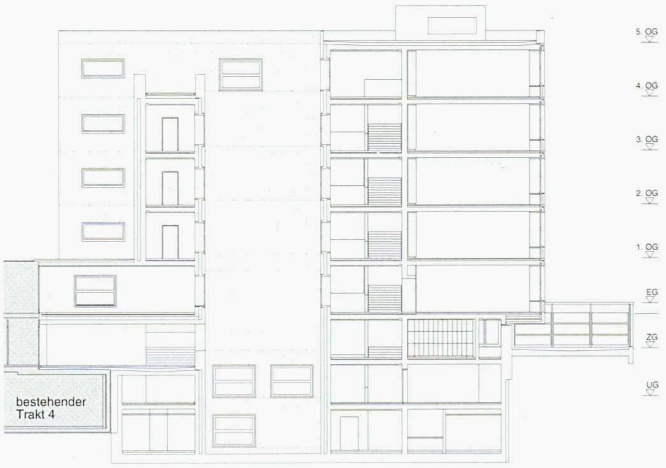
zielle Teile unter den lastabtragenden Wänden und Scheiben (grün gestrichelte Teile in Bild 3). Ein Stockwerk tiefer dann liegt das oben angesprochene, offene Erdgeschoss (Bild 4). Hier reduziert sich die Zahl der tragenden Elemente noch einmal beträchtlich.
Einer der grössten statischen Knackpunkte war die Aufnahme der Lasten der Wandscheibe B (vgl. Bild 7). Diese Scheibe ist das Element, das den grössten Teil der Lasten der südlichen Auskragung über das Erdgeschoss spannt. Während sie auf der östlichen Seite (rechts in Bild 7) bis hinunter ins Fundament reicht, müssen auf der anderen Seite grosse Kräfte über das Wandstück A in die an den Altbau anschliessende Betonmauer C transferiert werden.

Iteratives Vorgehen

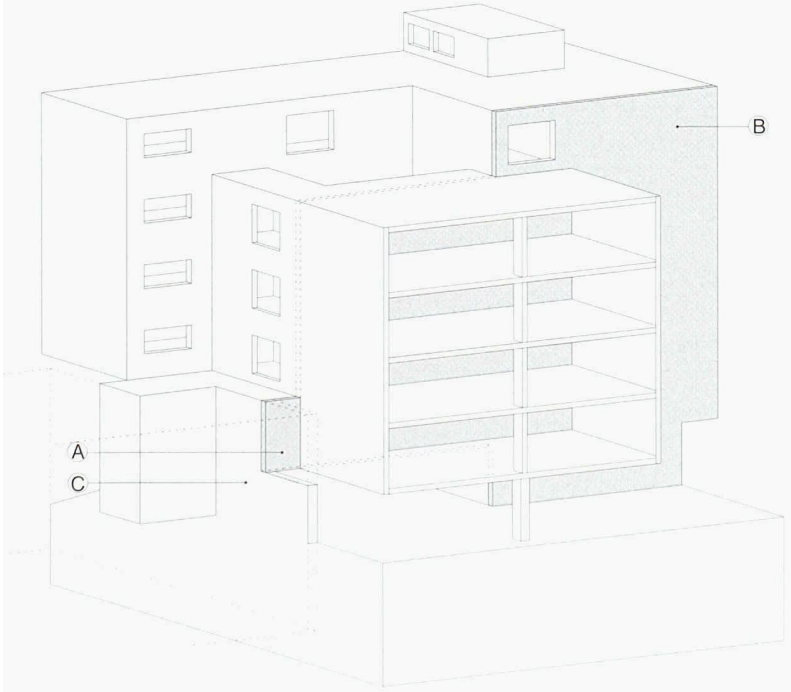
Für die Bemessung liessen die Bauingenieure den Computer mit finiten Elementen (FE) einen (elastischen) Spannungszustand rechnen. Bild 8 zeigt für die Wandscheibe B das Netz der finiten Elemente, für das in jeder Zelle die Spannungen errechnet wurden. In der Ausschnittvergrösserung sind die Hauptspannungen (maximale, zueinander senkrecht stehende Druck- bzw. Zugspannung) in Grösse und Richtung für das Wandstück A ablesbar. Angesichts der komplexen Verhältnisse wollten sich die Ingenieure allerdings nicht bloss auf die Computerberechnung verlassen, sie wollten das Tragverhalten der Scheibe auch selber nachvollziehen können. Ausgehend vom Verlauf der Hauptspannungstrajektoren (rot-blaue Kreuze in Bild 8) entwickelten sie in einem iterativen Prozess ein Fachwerkmodell. Iterativ deshalb, weil nach der Konstruktion des Modells die Stabkräfte gerechnet und aufgrund des Resultats wiederum Anpassungen vorgenommen werden. Dabei ver-



5
Querschnitt 1-1. Die beheizten Zonen sind grau angelegt. Schnitt durch die offene Eingangshalle und den mit ihr verschränkten Lichthof, der nach oben und in die Untergeschosse greift. Rechts die teilweise auskragenden südlichen Klassenzimmer (Plan Architekten, Mst. 1:500)



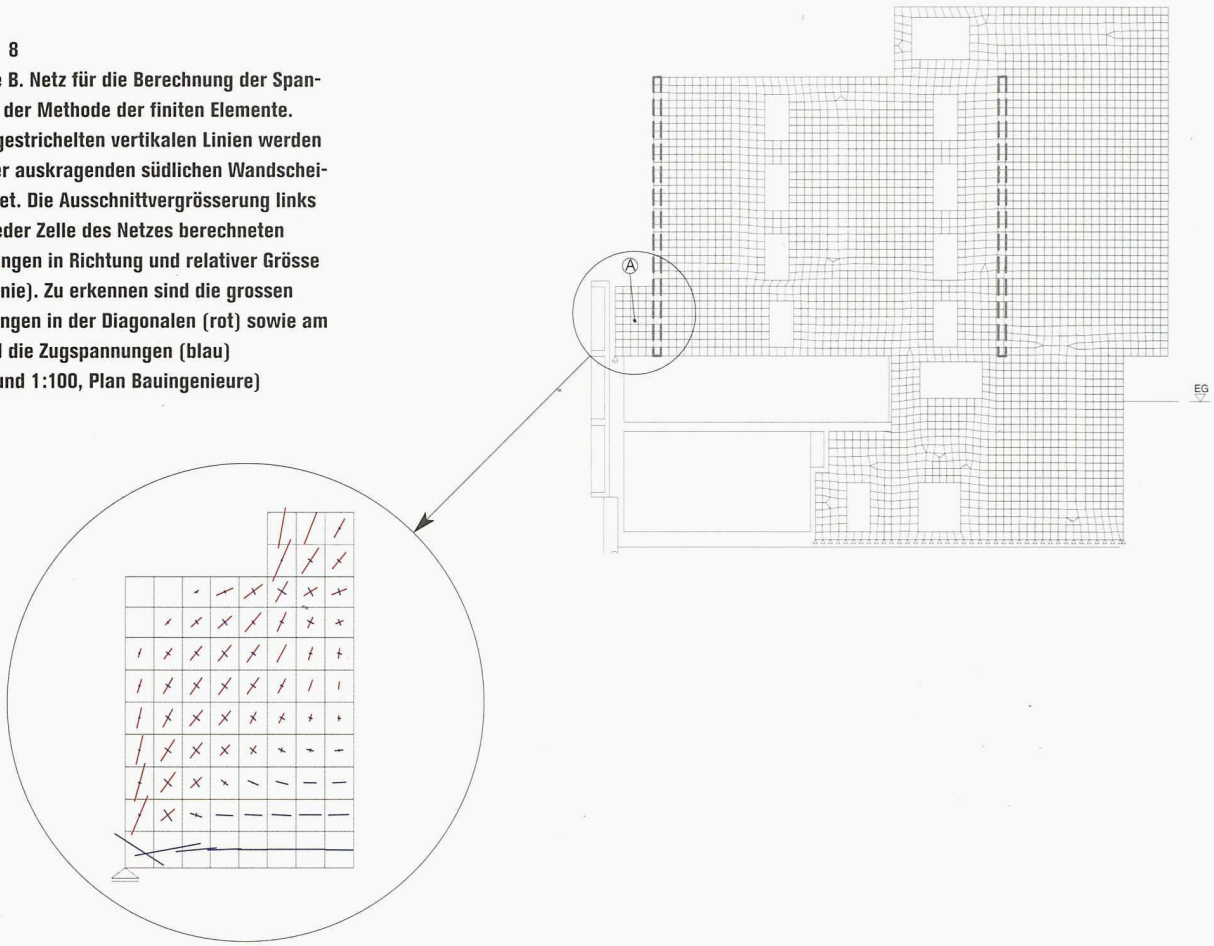
6
Längsschnitt 2-2. Schnitt durch den offenen Lichthof. Links die Verbindung zu einem bestehenden Trakt (Plan Architekten, Mst. 1:500)



7
Axonometrie aus Südwesten. Unten links das hochbelastete Wandstück A, das die Lasten des auskragenden Schulzimmerblocks im Vordergrund und der Scheibe B übernehmen muss. Dann wiederum werden sie an die senkrecht dazu stehende Scheibe C abgegeben (Plan Architekten, ohne Mst.)

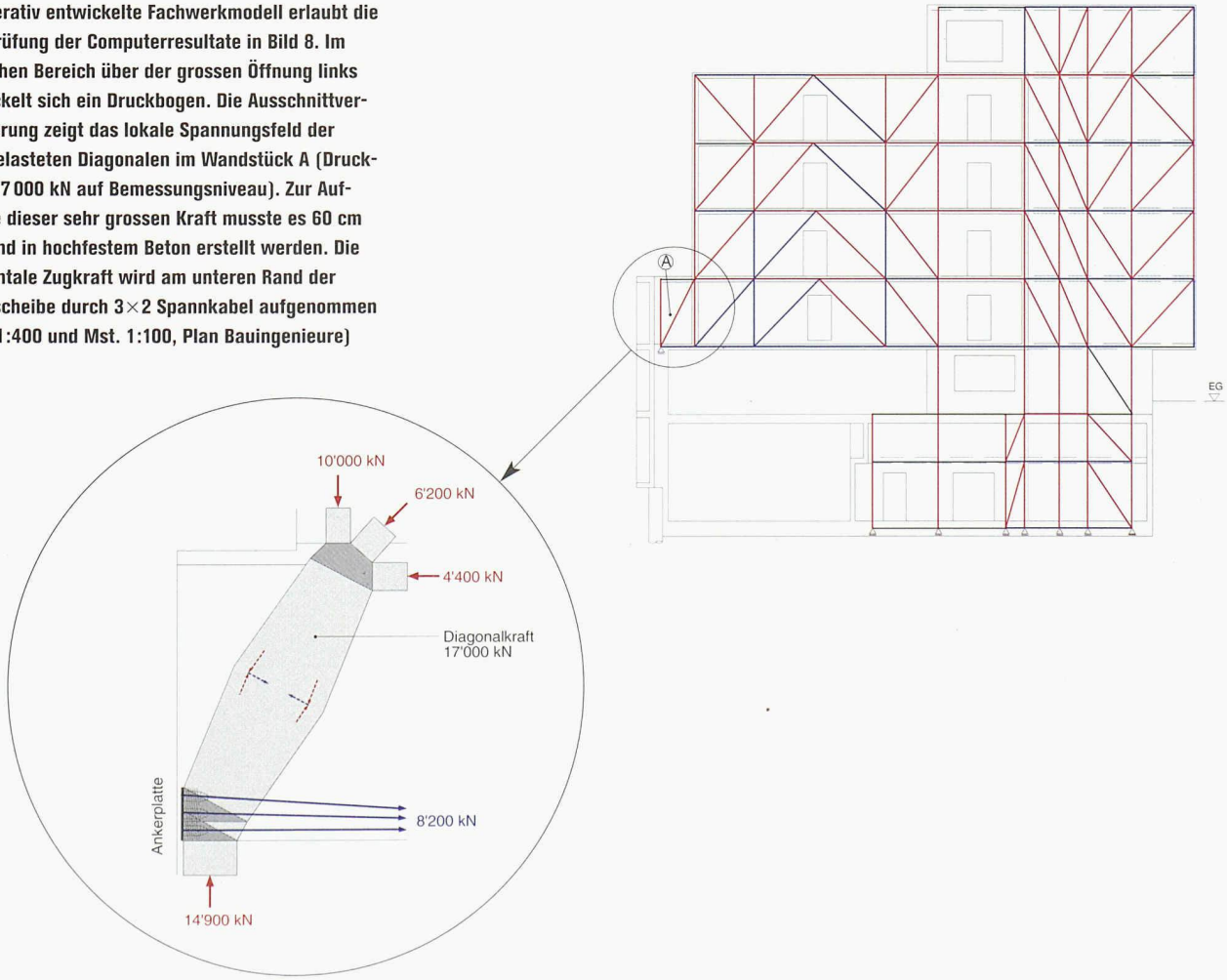
8

Wandscheibe B. Netz für die Berechnung der Spannungen nach der Methode der finiten Elemente. Entlang den gestrichelten vertikalen Linien werden die Lasten der auskragenden südlichen Wandscheiben eingeleitet. Die Ausschnittvergrösserung links zeigt die in jeder Zelle des Netzes berechneten Hauptspannungen in Richtung und relativer Grösse (Länge der Linie). Zu erkennen sind die grossen Druckspannungen in der Diagonalen (rot) sowie am unteren Rand die Zugspannungen (blau) (Mst. 1:400 und 1:100, Plan Bauingenieure)



9

Das iterativ entwickelte Fachwerkmodell erlaubt die Überprüfung der Computerresultate in Bild 8. Im kritischen Bereich über der grossen Öffnung links entwickelt sich ein Druckbogen. Die Ausschnittvergrösserung zeigt das lokale Spannungsfeld der hochbelasteten Diagonalen im Wandstück A (Druckkraft 17 000 kN auf Bemessungsniveau). Zur Aufnahme dieser sehr grossen Kraft musste es 60 cm dick und in hochfestem Beton erstellt werden. Die horizontale Zugkraft wird am unteren Rand der Wandscheibe durch 3×2 Spannkabel aufgenommen (Mst. 1:400 und Mst. 1:100, Plan Bauingenieure)



sucht man z. B. (zu) grosse Stabkräfte zu reduzieren und Zugkräfte in den Diagonalen (erfordert komplizierte Bewehrung) zu vermeiden. Das Modell wird also entsprechend verändert, neu berechnet, wieder verändert usw. Am Ende dieses Prozesses stand das Fachwerkmodell in Bild 9. Dieses stellt einerseits einen Gleichgewichtszustand für eine wirtschaftliche Bemessung der Wandscheibe dar und kommt andererseits dem Tragverhalten unter Gebrauchslasten sehr nahe. Des Weiteren lassen sich aus dem globalen Fachwerk an den Punkten der Krafteinleitung lokale Spannungsfelder entwickeln, die eine richtige konstruktive Ausbildung der Fachwerkknoten sicherstellen. Die Ausschnittvergrösserung des Wandstückes A (Bild 9) zeigt diesen Prozess exemplarisch:
Die Berechnungen ergaben eine Druckkraft (auf Bemessungsniveau) von 17 000 kN in diagonaler Richtung. Die Horizontalkomponente dieser Druckkraft wiederum wird durch eine am unteren Rand der Scheibe wirkende Zugkraft von 8200 kN im Gleichgewicht gehalten. Im Wandstück A sind also auf kleinem Raum sehr grosse Kräfte auf die verschiedenen Elemente zu übertragen. Damit die zulässigen Betondruckspannungen nicht überschritten werden, wurde das Wandstück erstens 60 cm dick und zweitens mit (als Schweizer Premiere) hochfestem Beton B 70/60 erstellt. Die horizontale Zugkraft wird von Spannkabeln übernommen und über Ankerplatten in den Beton eingeleitet.

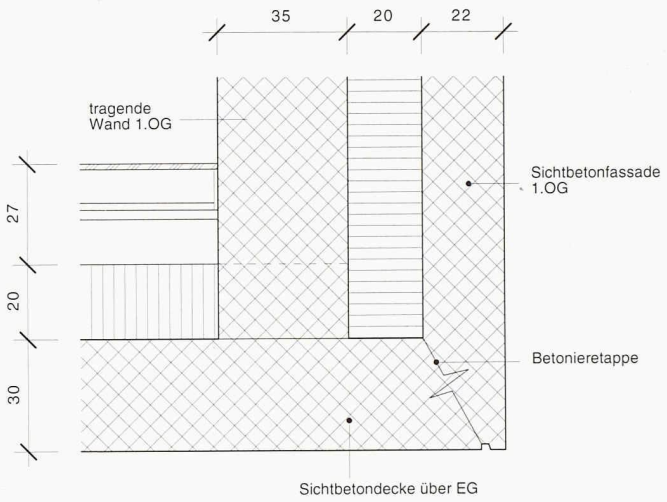
Konstruktion und Bauvorgang

Das Haus ist vollständig in Beton konstruiert. Eine innere Schale trägt, es folgen 20 cm Isolation, dann eine äussere Schale, ebenfalls in Ortbeton. Hier waren hohe ästhetische Anforderungen zu erfüllen bezüglich Oberflächenqualität wie auch in Bezug auf die Anordnung der Bindlöcher. Diese waren für alle sichtbaren Flächen genau zu positionieren. Bild 10 zeigt den Vertikalschnitt einer freien Ecke im Detail. Auf Wunsch der Projektverfasser sollte keine Betonierfuge sichtbar sein. Der Bauunternehmer schlug vor, diese in einer Ecke der Wassernase zu verstecken. Das hiess, dass die Decke schräg auslaufend betoniert werden musste. Die anschliessende Ausführung der Wand erforderte dann allerdings das ganze Können der Bauleute, musste doch ganz unten in der nur 22 cm breiten, aber 4,40 m hohen Schalung in einer hocharmierten Ecke Beton eingebracht und verdichtet werden.

Bauunternehmer gefordert

Allgemein war das Projekt für den Bauunternehmer aus Zug eine grosse Herausforderung. Vor allem deshalb, weil ein ehrgeiziges Terminprogramm einzuhalten war. Die komplexe Gebäudegeometrie hatte einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf den Bauablauf. So wurde der gesamte auskragende Gebäudeteil erst mit der Fertigstellung des 4. Obergeschosses tragfähig. Ein beträchtlicher Teil der Lasten musste darum über Schwerlastspriesse provisorisch abgefangen werden, wobei sich herausstellte, dass es in der ganzen Schweiz nicht genug davon gab – es wurden zusätzliche in Deutschland beschafft.

Es hat sich auch gezeigt, dass die Verwendung von verschiedenen Betonqualitäten am gleichen Bau relativ aufwändig ist. Kontrollen und Prüfungen sind notwendig, um sicherzustellen, dass der jeweils richtige Beton für die vorgesehenen Tragelemente verwendet wird. Hochfester Beton B 70/60 ist zwar nur etwa 20 % teurer als der normalerweise verwendete. Er bleibt aber, vor allem wenn Sichtqualität gefordert ist, mit einem Wasser/Zement-Faktor von 0,25 trotz Hochleistungsverflüssigern in der Verarbeitung schwierig.



10

Detail D, Vertikalschnitt an freier Untersicht/Aussenwand. Zweischalige Betonwand mit dazwischen liegender Isolation. Die innere Tragwand steht auf einzelnen Nocken, zwischen denen die Isolation durchgeht (gestrichelte Linie). Um in der Wandansicht (Sichtbeton) eine Betonierfuge zu vermeiden, wurde diese in die Wassernase gelegt (Mst. 1:20, Plan Architekten)

AM BAU BETEILIGTE

BAUHERRSCHAFT
Baudirektion des Kantons Zug, vertreten durch das Hochbauamt Kanton Zug
ARCHITEKTUR
Enzmann + Fischer AG, Architekt/innen BSA SIA, Zürich
Projektleitung: Philipp Fischer, Andreas Zimmermann
BAUINGENIEURE
Dr. Lüchinger + Meyer, Zürich
Projektleitung: Dani Meyer + Andreas Gianoli
BAULEITUNG UND KOSTENPLANUNG
Ghisleni GmbH, Zug
Projektleitung: Stefano und Maurizio Ghisleni
BAUUNTERNEHMUNG
Landis Bau AG, Zug
Projektleitung: Thomas Stocker
Poliere: Josef Bachmann, Werner Von Wyl
FACHPLANER
Umgebung: Stefan Koepfli, Luzern
Haustechnik: Alfred Meier, Unterärgeri
Elektroplanung: ELO-Plan AG, Baar
Bauphysik: Martinelli + Menti AG, Meggen
Energieberatung: Urs Steinemann, Wollerau