

# Hochbau

# Bâtiment

# Buildings



# Lastumlagerung im Hochhaus Prime Tower

## Load redistribution in the Prime Tower high-rise building

Tomaž Ulaga

### Einleitung

Die Beanspruchung von Stützen und Wänden wird im Allgemeinen ermittelt, indem die Geschosse gesondert betrachtet und deren Reaktionen dann über die Höhe summiert werden. Diese Betrachtung am unverformten System entsprechend Fig. 1b ist sicherlich zweckmäßig für alle Projekte mit moderater Geschosszahl.

In Hochhäusern stapeln sich Stützen und Wände zu langen Gebilden. Auch geringe Dehnungen können deshalb beträchtliche Verschiebungen bzw. Verschiebungsdifferenzen verursachen (Fig. 1c, 1d und 1e). Da die Strukturen im Allgemeinen statisch unbestimmte Systeme sind, resultiert eine Umverteilung der Kräfte. Dies ist bei der Bauteilbemessung zu berücksichtigen [1].

Für die Auseinandersetzung mit dem Thema wurde ein Verfahren

### Introduction

Generally, the loading of columns and walls can be determined by a separate consideration of the individual floors and the subsequent summation of the reactions. This approach, according to Fig. 1b, is surely appropriate for most projects with a moderate number of floors.

In high-rise buildings columns and walls are vertically joined to long members; relatively small strains add up to significant displacements or relative displacements over the entire building height, (Fig. 1c, 1d and 1e). In statically indeterminate systems this leads to load redistributions that need to be considered for member design [1].

Simple mechanical principles were used to develop an approach to treat the issue. A spreadsheet program can be used to carry out efficient and transparent param-

entwickelt, das auf einfachen mechanischen Grundsätzen basiert. Die Auswertung mit Tabellenkalkulation ermöglicht ein effizientes und transparentes Parametersstudium. Das Wissen um die Unsicherheit vieler Parameter bestätigt die Vorteile der simplen Modellierung gegenüber bedeutend aufwändigeren FE-Analysen, die das gleiche Ziel verfolgen und analoge Erkenntnisse liefern [2, 3]. Das Verfahren wird allgemein erläutert und anhand des Hochhauses Prime Tower in Zürich illustriert (Fig. 1a). In diesem Projekt wurden die gewonnenen Erkenntnisse für die Optimierung der Struktur sowie für die Bemessung der Bauteile genutzt.

### Modellbildung

Nach der Erstellung einer Stütze oder einer Wand beginnt ein Verformungsprozess, der Zwängungen verursacht und damit die Statik der umliegenden Bauteile beeinflusst. Für die Modellierung wird ein einfaches Vorgehen gewählt, das die Einflussgrößen separiert, sodass deren Auswirkungen getrennt beurteilt werden können.

Der Endwert einer Verformung kann im Allgemeinen auf einfache Weise berechnet werden, die Ermittlung des zeitabhängigen Verlaufs («Geschwindigkeit») dagegen ist mit vielen Unsicherheiten verbunden. Für die folgenden Überlegungen eignet sich daher die Annahme, dass jeder Verformungsprozess einer Sättigungsfunktion folgt, die mit einem End- und einem Zwischenwert beschrieben werden kann (Fig. 2a). Lastbedingte Deformationen resultieren aus der elastischen Längenänderung beanspruchter Bauteile sowie aus den zugehörigen Kriechvorgängen (Fig. 1c). Schwindbedingte Deformationen entstehen wegen der Verkürzung

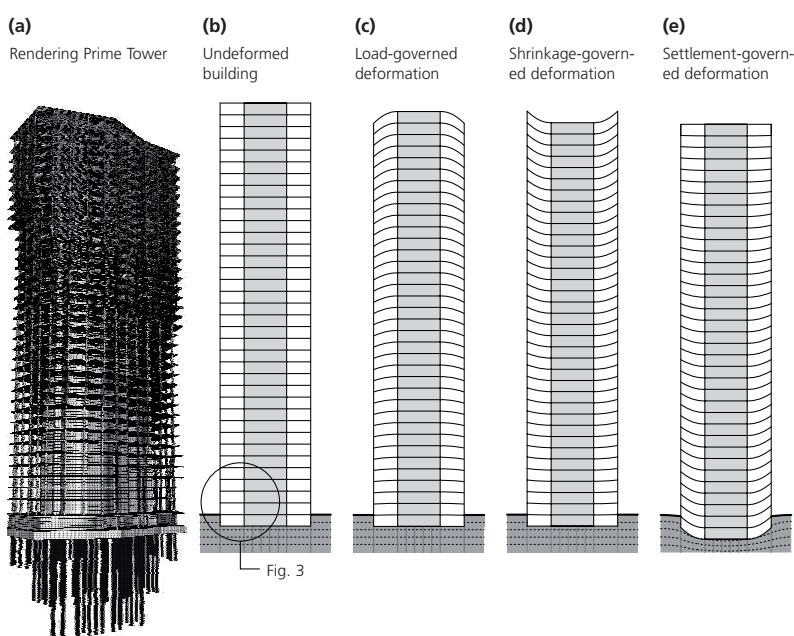
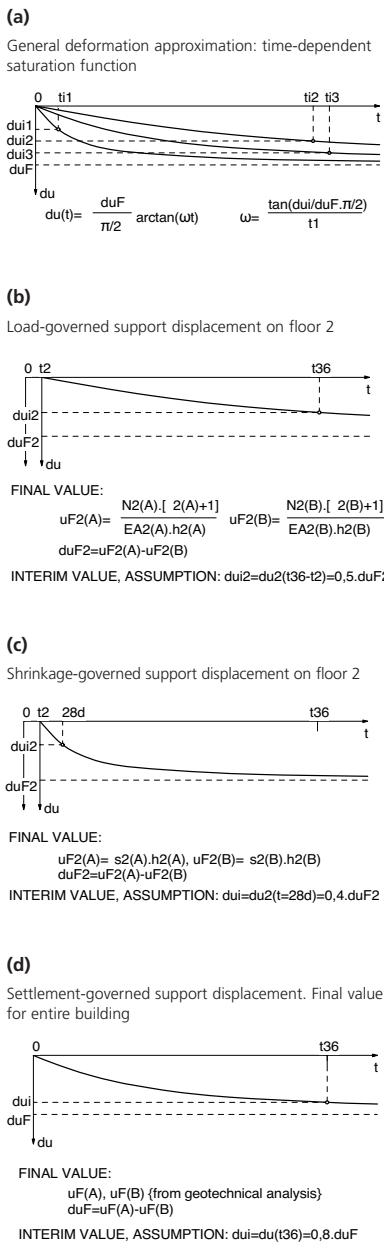


Fig. 1  
Hochhaus Prime Tower mit schematischer Deformationsdarstellung.  
High-rise building Prime Tower with schematic diagrams of the deformation types.



**Fig. 2**  
Grundlagen der Verformungsmodellierung.  
Basics of deformation modelling.

ter studies. The awareness of the fuzziness of several parameters confirms the advantages of such a simplified model in comparison to much more complex FE-calculations which provide analogous findings [2, 3]. A general discussion of the method will be followed by the demonstration of load redistribution effects in the high-rise building Prime Tower in Zurich (Fig. 1a). The findings were used to optimize the structure and to design the members.

des Betons infolge chemischer Vorgänge im Zementgefüge (Fig. 1d). Die Gebäudesetzung verursacht eine Mulde im Baugrund, die eine Vertikalverschiebung zwischen den Wänden im Gebäudeinneren und den Stützen in der Gebäudefassade bewirkt (im Rahmen der Betrachtung am Prime Tower wird dieser Verschiebungswert nicht berechnet, sondern von einer gesonderten geotechnischen Analyse übernommen, Fig. 1e).

Fig. 2b, 2c und 2d zeigen die Ermittlung der Anteile von last-, schwind- und setzungsbedingter Deformation exemplarisch für OG2.

Die Decken sind als statisch unbestimmte Systeme auf den vertikalen Bauteilen gelagert. Für die Ermittlung derer Zwängung stellt sich die Frage, um welches Mass sich die Stützen und Wände der darunterliegenden Geschosse verformen werden, wenn die Decke erstellt ist. Fig. 3 zeigt das Vorgehen zur Ermittlung der Lastumverteilung in Decke über OG2 infolge Relativverschiebung der Lager A und B. Die Anordnung der geschossweise zugehörigen Deformationsfunktionen in Fig. 3c, 3d und 3e visualisiert die Berechnungssystematik: Die Diagramme liegen entsprechend dem Bauablauf auf einer Diagonalen, die zusammengehörenden Verschiebungswerte «du» auf einer Senkrechten. Mit einer einfachen Tabellekalkulation gelingt eine formale und numerische Zusammenstellung des Sachverhalts, der insgesamt ein statisches Modell für die Lastumlagerung darstellt.

Das System enthält eine Vielzahl von Parametern. Einige davon sind direkt vom tatsächlichen Projekt abgeleitet und können hinsichtlich Reduktion der Lastumlagerung untersucht und optimiert werden (z.B. Stützenquerschnitt, -baustoff und -bewehrungsgehalt, Wandquerschnitt, Wandbewehrungsgehalt, Schwindwert des Wandbetons). Andere Parameter sind physikalisch schwierig fassbare Größen (z.B. Steifigkeitsreduktion der Decken infolge Reissen und Kriechen, Geschwindigkeiten der

## Modelling

After the erection of a column or wall a deformation process starts that will cause restraint forces in the adjacent members. For their analysis a simple method can be used. The approach is based on a strict separation of the governing effects in order to enable a clear interpretation of the results.

The final value of a deformation can normally be calculated in a simple way; the determination of the time dependency ("rate") however often faces multiple uncertainties. The following considerations are based on the assumption that every single deformation process can be described with a saturation function that is defined by the final and one intermediate value (Fig. 2a). Load-governed deformations result from the elastic change of the length of a loaded member and from the corresponding creep component (Fig. 1c). Shrinkage-governed deformations result from concrete contraction due to chemical processes in the cement matrix system (Fig. 1d). Settlement causes ground deformations that lead to a vertical differential displacement between the core walls and the façade columns (for the following investigation of the Prime Tower the settlement values are taken from a separate geotechnical analysis, Fig. 1e).

Fig. 2b, 2c and 2d show the determination of the effects load-governed, shrinkage-governed and settlement-governed deformation with focus on floor No. 2.

The floor slabs are statically indeterminate systems that are supported by vertical members. To calculate the restraint forces of an individual slab it is necessary to derive the deformation of all underlying vertical members after its completion. The procedure for the determination of the load redistribution in the slab above floor No. 2 due to differential displacement of the supports A and B is given in Fig. 3. The arrangement of the corresponding deformation functions "du" in Fig. 3c, 3d and 3e shows the calculation

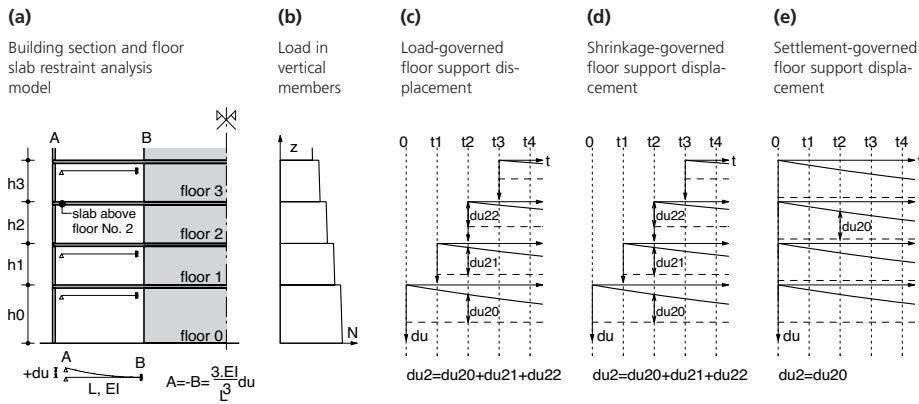


Fig. 3

Grundlagen der Lagerverschiebungsmodellierung.  
Basics of the support displacement modelling.

last- und schwindbedingten Deformation, Geschwindigkeit der setzungsbedingten Bauteilver-schiebung) [4, 5]. Statt der direkten Festlegung erfolgt deren Quantifizierung über eine Sensitivitätsanalyse, die die Auswirkung auf das Ergebnis aufzeigt.

## Resultate

Fig. 4a stellt die Deckenverfor-mung infolge lastbedingter Verfor-mungsprozesse im Prime Tower dar. Da nur die Deformationsanteile unter einem bestimmten Ge-schoss eine Zwängung verursa-chen, sind die unteren Deckenwenig betroffen, die oberen stark. Weil die Stütze A einen viel geringeren Querschnitt aufweist als die Wand B, ist die Spannung entsprechend höher und es resul-tiert eine Verschiebung des Deckenrands nach unten (Extrem-wert  $du \approx -10$  mm). Fig. 4b zeigt den Einfluss des Schwindens. Die vorfabrizierten Stützen schwin-den wenig, der Ortbetonkern dagegen «normal». Dementspre-chend resultiert eine relative Verschiebung des Deckeninnen-bereichs nach unten. Der Einfluss ist vor allem in den oberen Ge-schossen gross, wo sich die Schwindeffekte über die gesamte Gebäudehöhe kumulieren (Ex-tremwert  $du \approx 11$  mm). Die Form der Setzungsmulde verursacht hohe Zwängungskräfte in den unteren Geschossen, weil die gesamte Deformation erst nach der Geschoßerstellung eintritt (Fig. 4c). Die relative Verschiebung des

procedure: According to the build-ing process, the diagrams are positioned on a diagonal line; the corresponding deformation val-ues can be found on vertical lines. With a simple spreadsheet a for-mal and numerical model can be obtained to calculate load redis-tribution effects.

The system contains a multitude of parameters. Some are directly taken from the actual project in order to find an optimum way to minimize load redistribution ef-fects (e.g. the column section, ma-terial or reinforcement ratio and the core wall section, reinforce-ment ratio or concrete shrinkage properties). Other parameters are difficult to determine (e.g. the stiffness reduction of the floor slabs due to cracking and creep, rates of load-governed and shrink-age-governed deformations, rate of settlement-governed member displace-ments) [4, 5]. Instead of a direct estimate the quantification can be derived from a sensitivity analysis to investigate the impact on the final results.

## Results

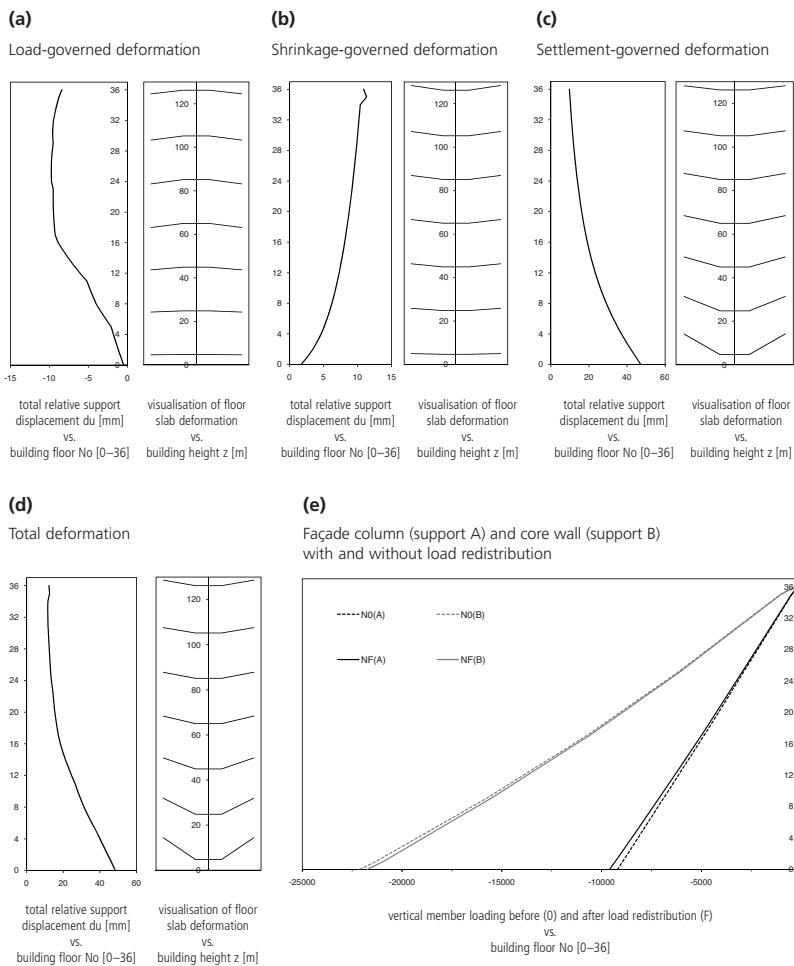
The load-governed deformation of the floor slabs in the Prime Tower is given in Fig. 4a. Lower floors are exposed to minor restraint forces simply because the underlying part of the structure is not greatly deformed. Therefore, maximum restraint values can be found in the region of the higher floors. The edge of the outer slab exhibits sagging, because high

Deckeninnenbereichs erfolgt nach unten (Extremwert  $du \approx 47$  mm). Fig. 4d und 4e zeigen die summierte Auswirkung der Zwängung so-wie die daraus folgende Lastumvertei-lung. Im Prime Tower ist es so, dass der Langzeitwert in der Stütze A ca. 6% höher liegt, als bei rein statischer Betrachtung ermittelt. Die Kernwände B dagegen werden um den entsprechen-den Betrag entlastet.

## Erkenntnisse

Die Modellierung der zeitbeding-ten Lastumlagerung ist mit vielen schwierig quantifizierbaren Para-

Spezifische Bezeichnungen/ Specific notations	
du	relative Deckenlagerverschie-bung relative floor support displa- cement
du21	du in Geschoss 2 infolge Deformation in Geschoss 1 du on floor 2 due to defor- mations on floor 1
i	Index Zwischenwert index for interim value
F	Index Endwert index for final value
t2, t36	Fertigstellung Decke Nr. 2, Nr. 36 completion of floor No 2, No 36
L	Deckenspannweite floor slab span
z	Gebäudehöhe building height
εs	Schwinddehnung shrinkage strain
φ	Kriechwert creep value
ω	Parameter parameter



**Fig. 4**

Resultate der Lastumverteilungsanalyse.

Results of the load redistribution analysis.

normal stresses in the small façade column A cause more deformation than the moderate stresses in the massive core wall B (extreme value  $du \approx -10$  mm). Shrinkage-governed deformations are displayed in Fig. 4b. The shrinkage of pre-fabricated concrete columns is very moderate in comparison to "normal" shrinkage of the core walls. As a result, the central region of the floor slab is deflected positively. Again, maximum values can be found in the region of the higher floors, where shrinkage effects of the entire building are accumulated (extreme value  $du \approx 11$  mm). The shape of the ground settlement deformation mainly causes restraint forces in the lower slabs because virtually the whole deformation occurs after completion of these floors (Fig. 4c). The maximum displacement of the central slab re-

metern verbunden. Die Analyse mit FE-Modellierung ist möglich, tendiert aber zu einer gewissen Scheingenaugkeit. Das oben vorgestellte Verfahren ermöglicht die einfache Erfassung der bekannten Einflussgrößen sowie eine systematische Sensitivitätsanalyse zur Ermittlung des Einflusses der schwierig quantifizierbaren Parameter.

Das Tragwerkskonzept und die Bauteilgestaltung haben einen wesentlichen Einfluss auf die Lastumverteilung. Schlanke Wände und Stützen erfahren eine hohe lastbedingte Deformation. Ortbetonwände schwinden, wobei dieser Effekt mit gezielter Wahl der Betonsorte gesteuert werden kann. Die Schwindverformung vorfabrizierter Betonstützen ist wegen der früheren Herstellung gering, Stahlstützen schwinden überhaupt nicht. Die Form der

gion is positive, i.e. downwards directed (extreme value  $du \approx 47$  mm). Fig. 4e gives the sum of all restraint effects and of the corresponding load redistribution. The long-term loading of the façade column A is approx. 6% higher than the result that derived by analysing the undeformed building. The loading of core wall B is reduced accordingly.

## Findings

The modelling of time-dependent load redistributions involves several parameters that cannot be determined precisely. The application of FE analysis is possible but tends to provide pseudo-accurate results. The presented approach allows a simple treatment of the known parameters and a comprehensive sensitivity analysis to investigate the effect of the parameters that are difficult to estimate.



**Fig. 5**  
Stand der Bauarbeiten im März 2010.  
**Construction state in March 2010.**

Setzungsmulde kann mit dem Fundationskonzept beeinflusst werden. Mit einer steifen Bodenplatte bzw. mit einem steifen Untergeschoss kann ein Ausgleich geschaffen werden. Lange Bohrpfähle im Kernbereich reduzieren die Verformungen in Gebäudemitte.

Das Tragwerk des Prime Tower wurde entsprechend den Ausführungen untersucht und optimiert (die in Fig. 4 dargestellten Resultate repräsentieren lediglich einen einzigen Parametersatz). Die Minimierung der Lastumverteilung erhöhte die Wirtschaftlichkeit, weil die Bauteile nicht für zwei stark unterschiedliche Zustände

**The structure and the design of the members have a significant influence on load redistribution effects. Slender walls and columns tend to undergo enhanced load-governed deformation. In situ concrete members are more sensitive to shrinkage deformations than pre-fabricated concrete elements, while steel elements exhibit no shrinkage at all. The magnitude of the settlement can be influenced by the foundation concept. A stiff base plate and long in situ concrete piles can reduce deformation in the building core region.**

**The structure of the Prime Tower was investigated and optimized according to the procedure set out above (the results in Fig. 4 represent one set of parameters only). The minimization of load redistribution effects lead to enhanced cost effectiveness, because the dimensioning of the members did not need to consider two rather different loading states (for the short-term and long-term states).**

**The results were also used to define the pre-camber of individual members in order to achieve a specific end geometry state. However, load redistribution effects remain unaffected by this measure.**

#### Project data

##### Owner

Swiss Prime Site AG, Olten  
**Structural engineering execution phase**

Walt+Galmarini AG, Zurich  
**Architects**

Annette Gigon/Mike Guyer Architekten AG, Zurich

##### Total service contractors

Consortium Prime Tower:  
Losinger Construction AG, Zurich,  
Karl Steiner AG, Zurich

##### Main data

Footprint: 30x50 m<sup>2</sup>  
Number of floors: 36  
Height: 126 m  
Structure: stiffening concrete cores and façade columns, concrete flat slab floors  
Construction period: 2008–2011

bemessen werden mussten (Anfangs- und Endzustand).

Die Resultate wurden auch für die Festlegung der Bauteilüberhöhung verwendet. Mit dieser Maßnahme wird das Erreichen des gewünschten geometrischen Endzustands angestrebt, während die Lastumverteilung unbeeinflusst bleibt.

#### Referenzen/References

- [1] J. Eisele, C. Kloft; Hochhausatlas. Callwey Georg D.W. GmbH, ISBN 3766715240, September 2002.
- [2] W. Sobek, S. Hagenmayer, M. Duder, T. Wintersteller; Die «Highlight Munich Business Towers» in München. Bautechnik 83 (2006), Heft 4, S. 247–253, Ernst & Sohn Verlag GmbH, 2006.
- [3] J. Zirnbauer, R. Müller; Tragwerksanalyse des Hochhauses Uptown München; Erfahrungen mit grossen FE-Strukturen. Beitrag SOFiSTik-Seminar 2003.
- [4] Norm SIA 261; Einwirkungen auf Tragwerke, SIA Zürich, 2003
- [5] Norm SIA 262; Betonbau, SIA Zürich, 2003

#### Autor/Author

Tomaž Ulaga  
Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH/SIA  
Ulaga Partner AG  
CH-4051 Basel  
(früher/former affiliation:  
Walt+Galmarini AG, Zürich)  
tomaz.ulaga@ulagapartner.ch

# Das neue Besucherzentrum des schweizerischen Nationalparks, Zernez

## The new visitor center of the Swiss National Park, Zernez

Joseph Schwartz

### Einleitung

Das neue Besucherzentrum des schweizerischen Nationalparks in Zernez vom Architekten Valerio Olgiati zieht die Aufmerksamkeit des fachkundigen Beobachters schon rein äusserlich durch sein unkonventionelles Erscheinungsbild auf sich. Das Bauwerk weist dank seinem einschichtigen Wandaufbau aus weissem Wärmedämmbeton einen ausserordentlich monolithischen Charakter auf (Fig. 1), ein Eindruck, der im Innern des Gebäudes durch die skulpturale Ausbildung des Erschliessungsbereichs noch gesteigert wird.

### Architektonischer Entwurf

Das dreigeschossige, aus zwei Würfeln bestehende Gebäude wirkt

### Introduction

A new visitor center for the Swiss National Park in Zernez designed by the architect Valerio Olgiati is attracting the attention of specialists and interested laymen due to its external features and its unconventional appearance. The building owes its monolithic character (Fig. 1) to the single-layered wall construction out of white coloured insulating concrete. This impression is enhanced on the inside by the sculptural character of the circulation space.

### Architectonic concept

The three-storey high building consists of two intersecting cubes and appears on the outside as an archaic, monumental and inartic-

äusserlich archaisch, monumental und schweigsam und entfaltet seine wahre Kraft erst im Innern, innerhalb seiner Hülle aus 55 Zentimeter starkem Dämmbeton. Es schafft Spannungsfelder zwischen der Architektur verschiedener Epochen einerseits sowie zwischen Architektur und Natur anderseits. Durch Verdrehung der vier im Mittelbereich des Gebäudes angeordneten Wände entsteht in den beiden Obergeschossen ein sternförmiger Raumbereich, der die Erschliessung sowie die Verbindung der beiden Gebäudewürfel im Erdgeschoss und im oberen Geschoss übernimmt. Im Erdgeschoss spaltet sich die Treppe erst nach einigen Stufen durch den Einschnitt der Gebäude-



Fig. 1

Neues Nationalparkzentrum, Aussenansicht (© Miguel Verme).  
New National Park Center, view from outside (© Miguel Verme).

culate structure. It unfolds its true power only on the inside behind a 55 cm thick envelope made of insulating concrete. The envelope creates tension between the building and different epochs of history as well as between architecture and nature. The slight rotations in the walls along the intersection of the two cubes result in a starlike spatial zone on the upper two floors and a vertical circulation space that allows for horizontal circulation between the two cubes as well. At ground level, the stairs bifurcate into two separate flights after a few steps due to the intersecting corner of the building (Fig. 2). Thus the seemingly clear spatial concept in plan (Fig. 3) is perceived as a labyrinthine sequence of polygonally deformed stairwells that have developed out of the surrounding walls and generous spaces with subtle demarcation lines between floor, wall, ceiling and stairs (Fig. 4). These lines act like a picture frame for the exhibition and guide the visitor through the building. On the way through the exhibition the identical floor plans are constantly mirrored leading to a disorientation of the visitor already after a short while – a concept that supports and enhances the content of the exhibition.

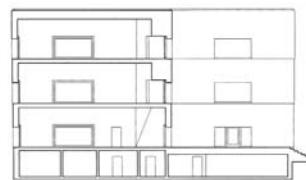
ecke in zwei unterschiedliche Treppenläufe (Fig. 2).

Das im Grundriss (Fig. 3) absolut klar wirkende Raumkonzept entpuppt sich als labyrinthische Abfolge von polygonal verformten Treppenschluchten, die sich zum Teil aus den Wänden heraus entwickeln, und grosszügigen Räumen, die durch eine raffiniert Führung der Boden-, Wand-, Decken- und Treppenlinien bestechen (Fig. 4). Sie werden so zu Bilderrahmen des Ausgestellten und zeichnen den Weg durch die Ausstellung vor. Der stets identische Raumgrundriss wird dabei immer wieder gespiegelt, sodass der Besucher nach kurzer Zeit die Orientierung verliert. Ein Konzept, das den Ausstellungsinhalt unterstützt und verstärkt.

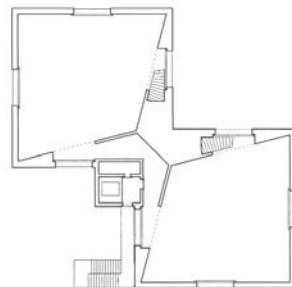
## Tragwerk und konstruktive Lösungen

Nicht nur der Bau ist aussergewöhnlich und innovativ, sondern auch das dafür verwendete Material. Das Gebäude besteht aus einem weissen Leichtbeton, der nebst Kies, Wasser und Zement aus Blähtonkügelchen besteht. Dank dieser leichten Gesteinskörnung in Kombination mit einem erhöhten Luftporengehalt weist der Beton eine Rohdichte von lediglich 880 bis 960 kg/m<sup>3</sup> auf, sodass keine weitere Wärmedämmung

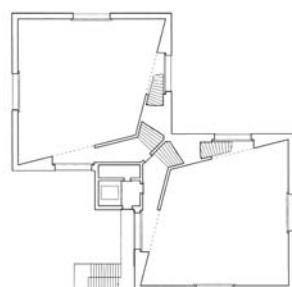
<b>Client</b>	Swiss National Park, Zernez
<b>Design engineers</b>	Consortium: Jon Könz, Zernez; Dr. Schwartz Consulting AG, Zug
<b>Architect</b>	Valerio Olgiati, Flims
<b>Contractor</b>	Consortium: Foffa & Conrad AG, Scuol; Lazzarini & Co. AG, Scuol
<b>Insulating concrete specialist</b>	Liapor Schweiz Vertriebs GmbH, Olten
<b>Date of completion</b>	Mai 2008



Querschnitt / Section



2. Obergeschoß / Second floor



1. Obergeschoß / First floor



Erdgeschoss / Ground floor



Fig. 2

Treppenaufgang (© Miguel Verme).  
Staircase (© Miguel Verme).

Fig. 3

Pläne (© Archiv Olgiati).  
Plans (© archive Olgiati).

**Bauherr**  
Schweizerischer Nationalpark, Zernez  
**Projektgenieur**  
Arge: Jon Könz, Zernez; Dr. Schwartz Consulting AG, Zug  
**Architekt**  
Valerio Olgiati, Flims  
**Bauausführung**  
Arge: Foffa & Conrad AG, Scuol; Lazzarini & Co. AG, Scuol  
**Wärmedämmbeton**  
Liapor Schweiz Vertriebs GmbH, Olten  
**Fertigstellung**  
Mai 2008

erforderlich ist. Der mit Hilfe unzähliger Musterelemente entwickelte weisse Wärmedämmbeton hat eine Würfeldruckfestigkeit von 10 bis 12 N/mm<sup>2</sup> und eine Zugfestigkeit von ungefähr 1,2 N/mm<sup>2</sup>. Es kam Weisszement zur Anwendung, der zusammen mit dem Füller und dem Feinsand (0–1 mm) aus Jurakalkmaterial die weiss-beige Farbe des Betons bestimmte. Die Wände haben zwei Funktionen: Sie sind tragende Elemente und Wärmedämmsschicht in einem. Die Decken sind in weissem konventionellem Beton hergestellt, der farblich sorgfältig auf den Wärmedämmbeton abgestimmt wurde. Zur Reduktion der Durchbiegungen wurden die Decken kostenneutral so vorgespannt, dass die Umlenkkräfte der Kabel die ständigen Lasten weitgehend kompensieren (Fig. 5). Die Konstruktionsweise mit Wärmedämmbeton weist diverse Vorteile auf: So werden Wärmebrücken vermieden und viele konstruktive Ausbildungsdetails vereinfachen sich formal. Weiter wird Energie gespart, und die Unterhaltskosten sind geringer als bei diversen anderen Bauweisen. Beheizt wird das Gebäude mit einer gemeindeeigenen Holzschnitzelheizung. Auf eine Klimaanlage wurde verzichtet. Dafür erlauben Erdregister das Aufwärmen und bei Bedarf das Kühlen der für die Lüftung angesaugten Luft.

## Besonderheiten bei der Ausführung

Alle Scheiben und Platten sind in Stahlbeton ausgeführt. Die gestalterischen Anforderungen an

## Structure and constructional solutions

The construction of the building is unusual and innovative as well as the materials that were used. The building consists of white coloured lightweight concrete which contains clay pellets besides the common sand, water and white cement. Thanks to these lightweight aggregates and to the increased air content the concrete has a density varying between 880 and 960 kg/m<sup>3</sup>, which is why the building requires no additional thermal insulation. The resulting insulating concrete, developed by testing a large number of model elements, has a cubic compressive strength between 10 and 12 N/mm<sup>2</sup> and a tensile strength of around 1.2 N/mm<sup>2</sup>. White cement was used, which in combination with the filler and fine sand (0–1 mm) made out Jura limestone is responsible for the white-beige colour of the concrete.

Hence, the walls have two functions: they are the supporting elements and at the same time the thermal insulation layer. The slabs are made with white conventional concrete with the colour carefully chosen to match that of the white insulating concrete of the walls. In addition, they are pre-

den Sichtbeton waren extrem hoch. Um ein möglichst einheitliches und abstraktes Erscheinungsbild des Sichtbetons zu erzeugen, wurden stockwerkhohe Schalungselemente mit einer möglichst glatten Oberfläche eingesetzt. Die Bindlöcher der Schalung wurden auf ein Minimum reduziert und deren Position sowie auch die Position der Schalungsstöße wurden sorgfältig vom Architekten in Absprache mit dem Baumeister geplant. Dieses Vorgehen setzte außerordentlich biegesteife Schalungselemente voraus.

Da alle äusseren Betonoberflächen in Sichtbeton ausgeführt wurden und diese Oberflächen ein möglichst gleichmässiges Aussehen aufweisen sollten, war es aus gestalterischen Gründen nicht möglich, klassische Verankerungsnischen für die Deckenvorspannung in der Fassade auszubilden. Alle beweglichen Ankerköpfe wurden in den Fensterzonen angeordnet, in denen zur Vermeidung von Wärmebrücken eine lokale Wärmedämmsschicht mit vorbetonierter Betonschürze angebracht wurde.

Alle technischen Installationsleitungen wurden in den Beton eingelagert. Auch die Decken weisen einen monolithischen Charakter



Fig. 4  
Innenräume (© Miguel Verme).  
Rooms (© Miguel Verme).

stressed to reduce bending effects. This method is cost-neutral and helps to compensate for all dead loads by the deviation forces of the cables (Fig. 5).

In general, the construction method using thermal insulating light-weight concrete for the walls has numerous advantages: thermal bridges can be avoided and the detailing of the construction is simplified formally. Furthermore, energy is saved and maintenance costs are lower compared to other construction methods. The building is heated by the communal wood chip-fired heating system. It was decided to do without air-conditioning. A geothermal heat pump, which controls the ventilation system, regulates the supply of warm or cold air as required.

### Special constructional aspects

All the concrete surfaces of the walls and the slabs are made of fair-faced concrete. The requirements on the finish of the concrete surfaces were very high. Large panels with a length equal to the storey height were chosen in order to achieve an appearance

### Referenzen/References

- [1] H. Adam; Einheit und Vielheit, Archithese, Heft 2.2009, S. 90–95.
- [2] Betonsuisse AG, Bern; Architekturpreis Beton 09, GTA Verlag Zürich, ISBN 978-3-85676-261-2, S. 21–35, 2009.

auf: Sie enthalten weder Trittschalldämmung noch Unterlagsboden. Der rohe Beton wurde an seiner Oberfläche abgeschliffen, um eine terrazzoartige Oberfläche zu schaffen. Ebenso die bodenebenen Fensterbänke, zur Erzielung einer optischen Einheit zusammen mit den Böden.

### Schlussbemerkungen

Die Anforderungen an den Entwurf, die Projektierung und die konstruktive Ausbildung waren beim neuen Besucherzentrum des schweizerischen Nationalparks wesentlich höher als bei einem konventionellen Hochbau und erreichten das Niveau eines Brückenbauwerks. Die hervorragende Zusammenarbeit aller am Projekt Beteiligten – Architekt, Bauingenieur, weitere Fachplaner, Bauleitung, Unternehmer, Betonlieferant und Spannfirma – ermöglichen die erfolgreiche Realisierung des Bauwerks.

of the concrete that is as abstract as possible. The formwork's tie rods were reduced to a minimum and their position as well as the position of the panel joints was accurately designed by the architects. This procedure necessitated extremely stiff formwork elements.

Conventional niches in the facade for the anchorage of the pre-tensioning cables were not possible due to the use of fair-faced concrete and the need for a uniform appearance of the surfaces. Therefore, all ends of the anchorages are placed within the window frames. In order to avoid thermal bridges, layers of insulation were installed locally together with prefabricated concrete lintels. In this way, conventional anchorage gaps could be avoided. All technical installations were located in the concrete structure. The upper surfaces of the slabs were abraded in order to achieve a terrazzo like finish, as also the window sills flush with the floor to obtain harmony with the floors.

### Final remarks

The requirements placed on the concept, the design, and the detailing were much greater for the visitor center of the Swiss National Park than with a conventional building and can be compared with those of a bridge structure. The excellent cooperation of all those involved in the project, i.e. architect, structural engineer, further specialist planners, site engineers, contractor, concrete supplier and prestressing firm, led to the successful realization of the structure.



**Fig. 5**  
Deckenvorspannung (© Jon Könz).  
Prestressing of floor slabs (© Jon Könz).

### Autor/Author

**Joseph Schwartz**  
Prof. Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH  
Dr. Schwartz Consulting AG  
CH-6300 Zug  
jschwarz@drsc.ch

# Emploi de béton recyclé pour le nouveau siège de l'IUCN

## Application of recycled concrete for the new IUCN headquaters

Claudio Pirazzi, Jérôme Pochat, Gabriele Guscetti

### Introduction

L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN), créée en 1948 est la plus vieille et la plus grande organisation environnementale mondiale. Elle compte plus de 1000 membres, gouvernements et ONG, et près de 11 000 experts bénévoles dans quelque 160 pays. Son siège construit à Gland dans le canton de Vaud dans les années 1990 arrivant à sa limite de capacité, l'IUCN a décidé de construire une extension. Il est évident qu'une organisation qui lutte pour la protection de la nature s'impose, pour son nouveau bâtiment administratif, un standard très élevé en matière de qualité environnementale et de durabilité. L'intention était d'obtenir non seulement la certification Minergie-P-Eco, label Suisse très exigeant par rapport au bilan énergétique du bâtiment, la durabilité et les aspects socio-écologiques, mais aussi la certification nord-américaine LEED «Platinum» (Leadership in Energy and Environmental Design), label de référence dans le monde anglo-saxon.

Une autre contrainte importante du projet était de réussir une construction avec un budget très restreint. Au final, la nouvelle construction ne devrait idéalement pas coûter plus cher que le bâtiment actuel, avec un volume comparable, construit il y 20 ans. La somme de ces contraintes ont fait du projet un défi considérable.

### Choix du matériau et du système structural

Pour un ouvrage dont la réduction de l'impact environnemental est d'une importance primordiale, il n'y a en soi pas de recette pour son architecture et pour le choix des matériaux. Même si les constructions en bois offrent certains

### Introduction

Created in 1948, the International Union for Conservation of Nature (IUCN) is the world's oldest and largest environmental organisation. It unites more than a 1000 members, governments and NGOs, with a huge professional network of about 11,000 experts around the world. Its headquarters in Gland in the Swiss canton of Vaud, built in the 1990s, is reaching its capacity limit, which is the reason why the IUCN has decided to build a new extension. Understandably, an organisation that stands for the protection of nature wants a building standard that seriously takes into account environmental and sustainability concerns. The aim with this extension therefore was to obtain not only the label of the Swiss certification Minergie-P-Eco, but also the label LEED "Platinum" (Leadership in Energy and Environmental Design). Both labels consider the energy balance, sustainability and socio-ecological aspects of a building throughout its entire lifecycle.

Building costs were another major restraint of the project. Ideally, the new structure should not be more expensive than the existing one, built with nearly the same volume 20 years ago. The sum of these constraints made the project a considerable challenge.

### Choice of building material and structural system

There is no general rule about architectural concept and choice of material concerning buildings with high environmental standards. Although timber buildings offer certain environmental advantages, the client decided on a concrete structure. The Minergie-Eco label requirement for such buildings is to replace at least 50% of the construction concrete

avantages à ce sujet, le maître d'ouvrage a opté pour une construction en béton armé. Le label Minergie-Eco exige pour de tels bâtiments de remplacer au moins 50% du béton de construction par du béton recyclé (RC) pour autant que ce soit techniquement possible. Le label LEED n'oblige pas explicitement son utilisation mais donne toutefois des points en cas d'application. Ces points sont importants pour l'obtention du degré «Platinum», plus haute distinction sur l'échelle.

Le bâtiment consiste en deux étages et un sous-sol de locaux techniques et de parking. Tandis que le sous-sol décrit une forme rectangulaire en plan, les deux étages supérieurs suivent une forme en zigzag, donnant ainsi naissance à deux généreux espaces de patio. Ce concept architectural favorise l'éclairage des bureaux par la lumière naturelle. Toutefois, cette forme en soi ne semble pas être propice à donner au bâtiment un rapport favorable entre son volume et sa surface exposée à la température ambiante, une contradiction apparente bien voulue par l'architecte.

Les dalles d'étages sont conçues comme des planchers-dalles avec une trame principale de 7,8 m, ce qui permet une grande flexibilité dans l'utilisation des espaces. La dalle sur sous-sol est une dalle champignon avec une diminution conséquente de son épaisseur grâce à des portées réduites entre les têtes de champignon.

Des coursives, disposées autour du bâtiment sur deux étages, servent comme chemin de secours du bâtiment et comme élément procurant de l'ombre pour éviter la surchauffe des bureaux en été. Elles sont constituées de dalles en béton armé, des parapets porteurs issus d'éléments triangulés en béton préfabriqué et d'une

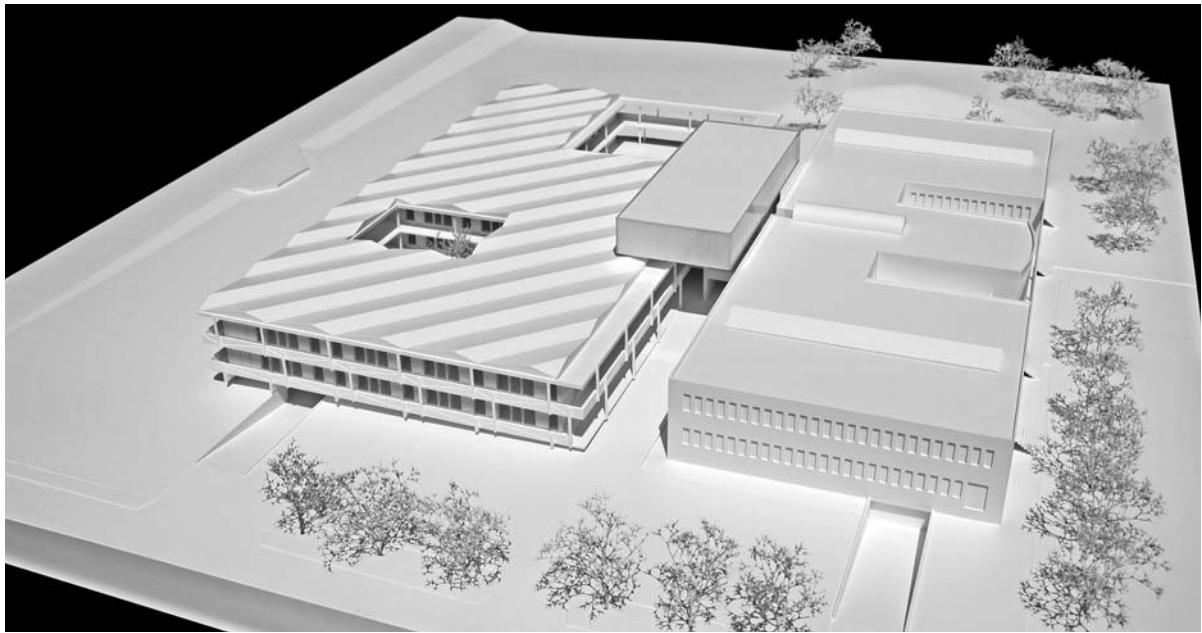


Fig. 1

Maquette d'architecte; extension (à gauche), bâtiment existant (à droite).

Architectural model; headquarters extension (left), existing building (right).

with recycled concrete (RC), as far as this is technically feasible. The LEED label does not specifically compel its use, however it does award points when it is used. These points are important to obtain the "Platinum" level, the highest LEED distinction.

The building consists of two storeys and a basement including technical installations and parking. Whereas the ground plan of the basement is rectangular, the upper storeys exhibit a zigzag shape, thus developing two generous patio spaces. This architectural concept promotes natural light in the offices. Although this shape does not give a favourable ratio between the building's volume and its surface exposed to ambient temperature, it is part of the architectural concept.

The floor slabs are planned as flat slabs with a distance between axes of 7.8 metres, which permits large flexibility in space utilisation. The ground floor slab is executed as a mushroom slab with significant reduction of thickness due to the decrease of span between the mushroom heads. The balconies around the building on two floors serve as an escape route and provide shade to

série de piliers métalliques qui assurent la transmission des charges du plan extérieur. Afin de minimiser les ponts thermiques, les dalles des coursives sont thermiquement dissociées des dalles d'étage grâce à des consoles isolantes.

Pour respecter le bilan énergétique selon Minergie-P une peau isolante importante de 34 cm d'épaisseur en laine minérale emballé le bâtiment en passant sur la dalle sur sous-sol, dans la façade et sur la dalle toiture. Le bâtiment est surplombé par une boîte à étage unique, dite le «Think-tank», qui renferme une salle de conférence modulable avec une vue imprenable sur le lac Léman et le Mont-Blanc en arrière plan. Cet étage repose sur un noyau et un mur qui descendent les charges jusqu'au sous-sol en traversant à plusieurs reprises les zones chauffées, non chauffées et froides du bâtiment en dessous. Afin de minimiser les pertes énergétiques suite à ces ponts thermiques importants et pour garder l'aspect béton apparent, ces éléments sont conçus en béton isolant. Sa faible résistance à la compression et sa performance isolante moyenne obligent

prevent the offices becoming too hot in summer. They are composed of reinforced concrete slabs, precast concrete balustrades and a series of steel columns, which guarantee vertical load transmission. In order to minimise thermal bridges, the balcony slabs are dissociated by means of thermal break elements.

To take into account thermal balance according to Minergie-P a significant 34 cm, mineral wool insulation skin is wrapped around the building, passing around the ground floor slab, through the facade and onto the roof slab.

The building is topped by a single storey box called the "think tank", containing a conference room with a view over Lake Geneva and Mont Blanc in the background. The box rests on a core and a wall, which transfer the loads down to the foundations at basement level, repeatedly passing through heated, unheated and cold areas of the building underneath. In order to minimise energy losses due to these significant thermal bridges, and to retain the aspect of the exposed concrete, these vertical elements are made of insulating concrete. However, weak strength and moderate

toutefois une épaisseur importante de 50 cm pour le noyau et de 55 cm pour le mur.

## Béton recyclé

Un nombre croissant de projets de recherche scientifique a été récemment effectué sur le sujet du béton recyclé dans plusieurs pays européens, notamment en Suisse et en Allemagne [1, 2]. Leurs résultats ont fait leur entrée dans différents prescriptions normatives [3, 4, 5]. Selon [3], un béton est appelé béton recyclé, si les granulats se composent d'au moins 25% de granulats recyclés. Ceux-ci peuvent être issus de béton de démolition (RC-B), de matériaux de démolition non-triés (RC-M), de gravas de recyclage provenant de matériaux dé-contaminés lavés (RC-W) ou d'un mélange des trois [6].

De nombreux projets en béton recyclé ont vu le jour en Suisse ces dernières années, un développement largement accéléré par les prescriptions du label Minergie-Eco qui est devenu une obligation pour les nouveaux bâtiments publics dans beaucoup de villes en Suisse. Dans un premier temps, l'application s'est limitée à l'usage des granulats traités et aux éléments d'une fonction structurale secondaire. La tendance d'aujourd'hui consiste de plus en plus en remplacer le granulat naturel par des granulats concassés issus de béton de démolition.

Au commencement du projet, aucun béton recyclé classé n'était

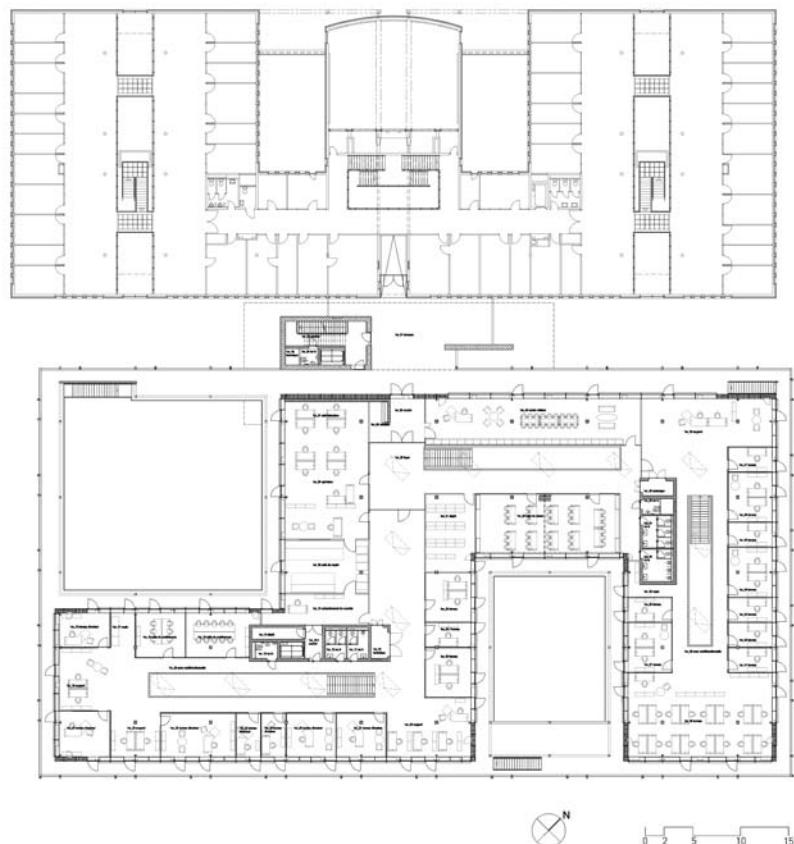


Fig. 2 Vue en plan du 1<sup>er</sup> étage; extension (en bas), bâtiment existant (en haut).

Ground plan of the first storey; headquarters extension (below), existing building (above).

**thermal properties of this innovative material requires a considerable wall thickness of 50 cm and 55 cm for the core and the wall, respectively.**

## Recycled concrete

An increasing number of research projects have been recently carried out in several European countries, in particular in Switzerland and Germany [1, 2]. Their results have been published in various standards [3, 4, 5]. According to [3], a concrete is called recycled concrete, if its aggregates are composed of at least 25% of recycled aggregate resulting from demolition concrete (RC-B), from unsorted demolition materials (RC-M), from gravel coming from washed de-contaminated materials (RC-W) or from a mixture of the three [6]. Several projects on recycled concrete have been executed in Switzerland in recent years, a development largely accelerated by the regulations of Minergie-Eco,

disponible sur le marché Suisse. Il était alors question de définir la recette adaptée. Toutefois, le défi ne se limitait pas seulement aux aspects technologiques, mais touchait aussi les aspects pratiques, comme la production du béton, sa mise en place et l'approvisionnement de quantités importantes du matériau concassé dont la faible variation dans sa granulométrie et dans sa qualité ont dû être assurée. La provenance de ce matériau recyclé ne se doit en outre pas dépasser, selon le label Minergie-Eco, une distance de 25 km autour du nouveau chantier. Holcim Suisse, intéressé par l'idée d'un ouvrage de haute qualité environnementale en béton armé était prêt de conclure un sponsoring d'envergure avec le maître d'ouvrage. Afin de trouver la recette adaptée, Holcim a effectué des essais préliminaires en laboratoire. La recette ainsi trouvée, avec un taux de granulats recyclés (0/20) qui s'élève à environ 50%

### Participants

**Maître d'ouvrage**  
Union International pour la Conservation de la Nature (UICN)

**Entreprise générale**  
Karl Steiner Genève SA

**Architecte**  
AGPS, Zurich

**Ingénieur civil**  
Guscetti & Tournier SA, Genève

**Ingénieur physique du bâtiment**  
Amstein & Walther SA, Genève

**Entreprise de construction**

Induni SA, Nyon

**Développement et contrôle du béton recyclé**

Holcim Suisse SA, Eclépens

**Durée des travaux du gros-œuvre**  
environ 10 mois



Fig. 3

Zone d'entrée avec le « Think-tank » surplombant le bâtiment.  
Entrance zone with "think tank" topping the building.

becoming an obligation for new public buildings in many Swiss cities. Initially, the application of recycled concrete was limited to the use of treated aggregates and to elements of secondary structural function only. The trend today is increasingly to replace natural aggregates by aggregates resulting from demolition concrete. At the beginning of the IUCN project, no classified recycled concrete was available on the Swiss market. Concrete composition had therefore to be defined. However, the challenge was not limited to technological aspects. Practical aspects had to be taken into account, like the production of the concrete, its casting and the supply of considerable quantities of demolition material, whose weak variation in its granulometry and its quality had to be assured at all time. According to Minergie-Eco, the origin of the demolition material should not exceed a distance of more than 25 km from the new building site. Holcim Switzerland, interested by the idea of a high-quality environmental building out of reinforced concrete, was ready to give a considerable sponsorship with the building's owner. In

de la totalité du granulat 0/32 et une valeur e/c d'environ 0,50 mène à un béton ayant une résistance moyenne sur cube après 28 jours de  $f_{c,cube} = 45 \text{ N/mm}^2$  et un module d'élasticité moyen d'environ  $E_m = 27\,000 \text{ N/mm}^2$ . Ce béton est comparable à un béton normal de classe de résistance C25/30. Il montre des classes d'exposition XC3 et XF1 mais ne peut pas être appliqué à l'extérieur exposé aux intempéries et ne résiste pas aux cycles de gel. C'est pour cette raison que le béton recyclé a été uniquement employé pour les dalles d'étages et à l'abri des intempé-

order to find the optimised concrete composition, Holcim carried out preliminary tests in a laboratory. The composition found has a ratio of recycled aggregate 0/20 of approx. 50% of the total of the fraction 0/32 and a w/c ratio of around 0.50. This leads to a concrete with an average cube strength of  $f_{c,cube} = 45 \text{ N/mm}^2$  after 28 days and an average modulus of elasticity of approx.  $E_m = 27,000 \text{ N/mm}^2$ . This concrete is comparable to a normal concrete of strength class C25/30. It has exposure classes of XC3 and XF1, but cannot be used outside under direct weather exposure because of insufficient frost resistance. For this reason the recycled concrete was only used for the floor slabs and in places sheltered from weather exposure or stagnant water. The total volume of recycled concrete for this project amounts to approx. 2,000 m<sup>3</sup>. At the request of the construction company, the consistency of the fresh concrete had to permit the casting using a concrete pump.

## Design

The design of the concrete slabs was carried out according to the Swiss national standard SIA 262

### Participants

<b>Client</b>
International Union for Conservation of Nature (IUCN)
<b>General contractor</b>
Karl Steiner Genève SA, Geneva
<b>Architect</b>
AGPS, Zurich
<b>Structural engineer</b>
Guscetti & Tournier SA, Geneva
<b>Building physics engineer</b>
Amstein & Walthert SA, Geneva
<b>Construction company</b>
Induni SA, Nyon
<b>Development and monitoring of the recycled concrete</b>
Holcim Switzerland SA, Eclépens
<b>Duration of construction works</b>
approximately 10 months

#### Littérature / References

- [1] C. Hoffmann; Beton- und Mischabbruchgranulat – Sachstandsbericht. EMPA 2007
- [2] F. Roos; Ein Beitrag zur Bemessung von Beton mit Zuschlag aus recycelter Gesteinskörnung nach DIN 1045-1. Thèse de doctorat, Technische Universität München 2001
- [3] SN EN 206-1; Béton – Partie 1: Spécification, performances, production et conformité (2000)
- [4] DIN 4226-100; Recyclierte Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel (2002-02)
- [5] BS 8500-2; Complementary British Standard to BS EN 206-1. Specification for constituent materials and concrete (2002)
- [6] Directive pour la valorisation des déchets de chantier minéraux; OFEV 2006

(2003) and based on the physical properties obtained in the preliminary tests. Further tests have been carried out during execution on cubes taken at each casting segment. A characteristic compression strength of  $f_{ck,cube} = 29 \text{ N/mm}^2$  has been obtained for a quantity of 30 samples. The initial comparison with a normal concrete of strength class C25/30 could thus be confirmed. A comparatively weak modulus of elasticity and an enhanced creep factor required a thickening of the slabs in order to reduce the long-term deformation. This led to slab thicknesses of 28 cm, 35 cm and 32 cm for the ground floor, the first floor and on the roof, respectively. This thickening of the slabs is about 8% in comparison with the preliminary design study with use of a normal concrete C30/37.

#### Summary

For the extension of the IUCN headquarters in Gland in the Swiss canton of Vaud, approx. 2,000 m<sup>3</sup> of recycled concrete was employed. The aggregates used result from demolition concrete coming from neighbouring building sites. At the time of execution, no classified recycling concrete was available on the Swiss market. Preliminary tests were necessary to determine the optimised concrete composition. The physical properties of this concrete can be compared to normal concrete of strength class C25/30 but exhibits weaker modulus of elasticity and enhanced creep behaviour. This leads to a thickening of the floor slabs. In the absence of sufficient frost resistance, the application of recycled concrete had to be limited to elements sheltered from direct weather exposure. Taking into account the thickening of the floor slabs, the employment of recycled concrete generated additional costs of approx. 14% compared to an application of normal concrete of the strength class C30/37. The additional costs compared to the total structure costs are approximately 1.5%.

ries ou de l'eau stagnante. Le volume total du béton recyclé pour ce projet s'élève à environ 2000 m<sup>3</sup>. Sur demande de l'entreprise, la consistance du béton frais devrait permettre une mise en place à la pompe.

#### Dimensionnement

Le dimensionnement des dalles en béton recyclé a été effectué selon la norme SIA 262 (2003) sur la base des propriétés physiques obtenues par les essais préliminaires. Lors de l'exécution de l'ouvrage, ces valeurs ont pu être confirmées par des essais sur des cubes prélevés à chaque étape de bétonnage. Une valeur caractéristique de la résistance à la compression  $f_{ck,cube}$  de 29 N/mm<sup>2</sup> a été déterminée sur une quantité de 30 échantillons. La comparaison initiale avec un béton normal de classe de résistance C25/30 a donc pu être confirmée.

Un module d'élasticité relativement faible et un coefficient de fluage plus élevé ont conduit à des dalles plus épaisse pour réduire les flèches à long terme. Ceci a ainsi mené à des épaisseurs de 28 cm, 35 cm et 32 cm pour la dalle sur sous-sol, la dalle sur rez-de-chaussée et la dalle de toiture,

respectivement. Cet épaissement est de 8% par rapport à l'avant-projet avec une application d'un béton normal C30/37.

#### Synthèse

Pour la construction de l'extension du siège de l'IUCN à Gland dans le Canton de Vaud, environ 2000 m<sup>3</sup> de béton recyclé ont été mis en œuvre. Les granulats utilisés sont issus de béton de démolition provenant des environs du chantier. Au moment de l'exécution, aucun béton classé n'était disponible sur le marché suisse. Des tests préliminaires étaient nécessaires pour déterminer la recette adaptée. Le résultat menait à un béton qui correspond à un béton normal C25/30 avec un module d'élasticité plus faible et un comportement rhéologique plus prononcé. Ceci a conduit à un épaissement des dalles d'étages. En absence d'une résistance suffisante aux cycles de gel, l'application du béton recyclé a dû être limitée aux éléments à l'abri des intempéries. Dans le cas présent et compte tenu de l'épaissement des dalles, l'application du béton recyclé a engendré un surcoût d'environ 14% par rapport à une application d'un béton normal C30/37. Le surcoût par rapport aux coûts totaux du gros-œuvre est d'environ 1,5%.

#### Auteurs / Authors

Claudio Pirazzi  
Dr ès sciences, Dipl.-Ing. TU

Jérôme Pochat  
ing. civil dipl. HES

Gabriele Gusetti  
ing. civil dipl. EPFL

Gusetti & Tournier SA  
CH-1227 Carouge  
[www.gti.ch](http://www.gti.ch)

# Das Rolex Learning Center der EPF Lausanne

## The Rolex Learning Centre of the EPF Lausanne

René Walther, Manfred Grohmann

### Einleitung

Mit diesem kürzlich fertig gestellten Grossbau wurde bezweckt, für die Studenten, Lehrkräfte und Gäste ein Studiums- und Begegnungszentrum zu schaffen. Dazu wurde ein Wettbewerb unter 12 renommierter Architekten durchgeführt. Die Jury empfahl einstimmig das originelle und kühne Projekt der Japanischen Architekturfirma SANAA (Leitung Kazuho Sejima) zu realisieren (Fig. 1). Im Unterschied zu den meisten anderen Vorschlägen, die mehrstöckige Bauten vorsahen, weist das Siegerprojekt über der Tiefgarage nur ein grosses wellenförmiges Geschoss mit einer Grundfläche von  $125 \times 160 \text{ m}^2$  auf, in der grosse Öffnungen, sogenannte Patios, ausgespart sind (Fig. 2). Auf diesem Geschoss und durch die Patios kann man frei zirkulieren und zu den verschiedenen Aktivitätszentren (Bibliothek, Computerräume, Restaurants, Amphitheater etc.) gelangen (Fig. 3).

### Introduction

The aim of this recently completed Learning Centre was to create a place for students, faculty members and guests where they could gather for studies, social events or simply leisurely get-togethers. For this purpose a competition among 12 world-renowned architects was launched. With an unanimous vote the jury recommended the very original and daring project of the Japanese architectural firm SANAA lead by Kazuho Sejima (Fig. 1). In contrast to most other projects, which proposed multi-storey buildings, the winning project consists of only one huge undulated floor above the garage basement with a surface of  $125 \times 160 \text{ m}^2$  with large openings, called patios (Fig. 2). All the activities take place on this shell-like floor and one can reach it from all sides of the building and freely circulate inside and through the patios (Fig. 3).

### Stabilitätsprobleme

Als dieses Projekt der Öffentlichkeit vorgestellt wurde, äusserten viele Experten ihre Zweifel an der Machbarkeit des Konzepts, denn es sah extrem flache Betonschalen vor, die bezüglich ihrer Knickstabilität und Langzeitverformungen sehr kritisch erschienen. Bekanntlich besteht die Kunst des Schalenbaus darin, eine ideale geometrische Form zu finden, das heisst eine, bei der im Beton lediglich Membrandruckspannungen, aber keine Biegemomente auftreten. Heinz Isler, der bedeutende, kürzlich verstorbene Schalenbauer, ermittelte die idealen Formen unter anderem dadurch, dass er in kalten Wintern in seinem Vorgarten Tücher aufhängte und besprinkelte, die nach dem Gefrieren und Umdrehen ein perfektes Modell einer reinen Membrankonstruktion darstellten. Ein Blick auf das komplexe Projekt genügt, um festzustellen,



Fig. 1

Ansicht des Wettbewerbprojekts SANAA.  
View at the project submitted by SANAA.



**Fig. 2**

Fertiggestellter Rohbau mit Patios.  
Completed structure with large patios.

## Stability Problems

When this project was presented to the public, many experts voiced serious doubts concerning the feasibility of the proposed structural concept, since it consists mainly of extremely flat shells, which are prone to buckling instability and large long-term deformations.

As it is well known, the art of shell construction consists of finding an ideal geometrical form in which the structure is predominately subjected to pure membrane action and free from flexural stresses.

Heinz Isler, the renowned Swiss specialist in shell construction, who recently passed away, used among other things a very simple method to determine and visualize the ideal form of shells: in cold winters he suspended and sprinkled linen-fabric in his backyard, which when frozen and turned upside down represented a perfect shell model subjected to pure membrane action.

However, by simply looking at the very complex structure of the project it becomes evident that no such analogy could possibly be found, which would match the proposed forms. The large and eccentric openings all but excluded such an approach – leading to the inevitable conclusion, that

dass ein derartiges Membranmodell unter anderem wegen der grossen, exzentrischen Öffnungen nicht möglich ist, was bedeutet, dass dieses Tragwerk nicht als Schalenkonstruktion konzipiert werden konnte, umso mehr, als ausser dem Eigengewicht auch variable Nutzlasten aufgenommen werden müssen.

Da aber das originelle Projekt als solches allgemein mit Begeisterung aufgenommen wurde, muss-

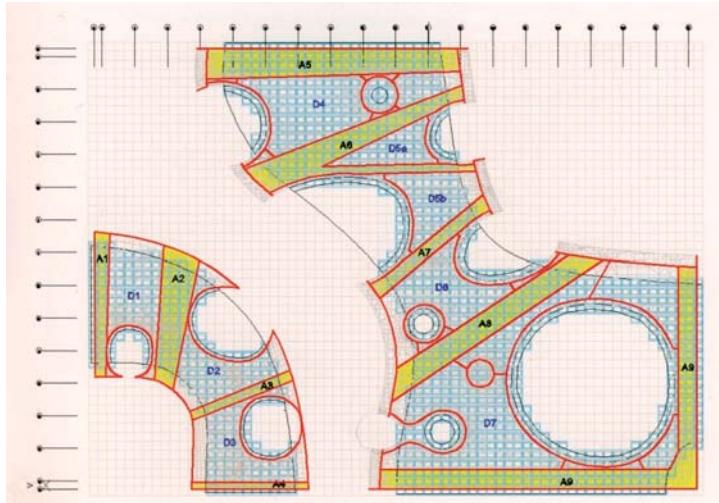
this building could not possibly be conceived as a shell construction, all the more so, since it is not only subjected to permanent dead loads but also to variable live loads.

Yet since the project as such was greeted with widespread enthusiasm, the commissioned team of engineers Bollinger & Grohmann and Walther Mory Maier had to find a solution that would be structurally feasible, while keep-



**Fig. 3**

Innenansicht des Learning Centers.  
Inside view of the Learning Centre.



**Fig. 4**  
Anordnung der lastabtragenden Bögen.  
Arrangement of the load-bearing arches.

ten die beauftragten Ingenieure, Bollinger & Grohmann und Walther Mory Maier, nach einer statisch konstruktiv machbaren Lösung suchen, die dem von den Architekten angestrebten Erscheinungsbild entsprach. Dies war eine dornenvolle, mit zahllosen Schwierigkeiten verbundene Aufgabe.

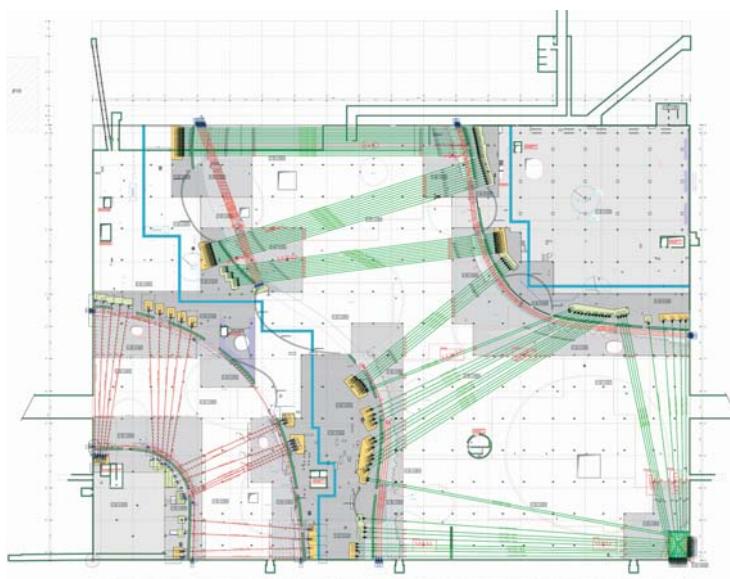
Die Grundidee war dabei, die Schalen durch ein System von Betonbögen zu ersetzen, deren Steifigkeit es erlaubte, neben den grossen Normalkräften auch die

ing to the basic architectural concept. This proved to be a difficult undertaking paved by innumerable difficulties.

The basic idea was to replace the shell-shaped structure by a series of very flat concrete arches that could absorb a certain amount of bending moment and thus carry not only the dead loads but also the variable live loads (Fig. 4). The main arches had a thickness of 80 cm; the monolithically-jointed, 60 cm thick slabs between the arches are mainly subjected to

sich aus der unregelmässigen Form des Tragwerks und aus den variablen Nutzlasten ergebenden Biegemomente aufzunehmen (Fig. 4). Die Hauptbögen haben eine Dicke von 80 cm und die mit ihnen monolithisch verbundenen, gekrümmten Platten eine solche von 60 cm. Letztere sind hauptsächlich auf Biegung beansprucht, werden aber auch von den Bögen ausgehenden Membranspannungen unterstützt. Wegen der extremen Flachheit der Bögen mussten deren grosse Horizontalreaktionen durch in der Garagendecke untergebrachte, kräftige Spannglieder aufgenommen werden (Fig. 5). So war z.B. beim Bogen A5, mit einer Spannweite von rund 83 m und einem Stich von nur 4,75 m ( $L/H = 17,5$ ) eine Vorspannkraft von 80 000 kN erforderlich.

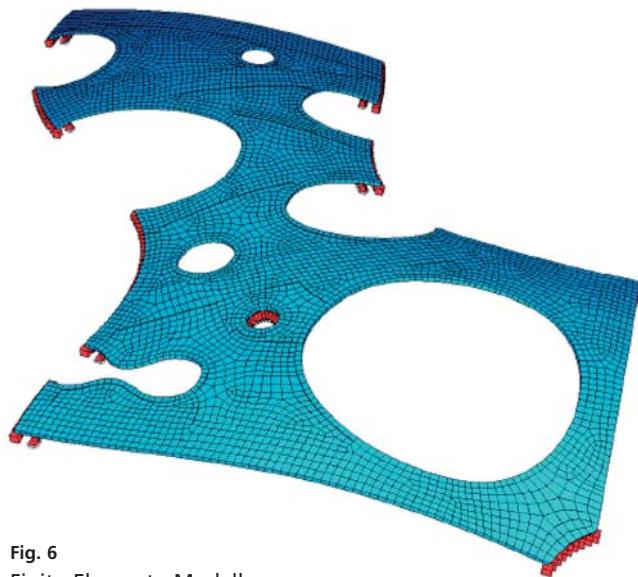
Zudem musste die Form und Lage der Patios etwas geändert werden, damit genügend Raum für die Bogenkämpfer und deren Spannglieder geschaffen werden konnte. Dies musste mit subtiler Diplomatie geschehen, denn Architekten sind für Änderungen aus statischen Gründen nicht immer empfänglich.



**Fig. 5**  
Anordnung der Spannkabel in der Garagendecke zur Aufnahme des horizontalen Bogenschubes. Blaue Linien: temporäre Schwindgassen.  
Arrangement of the prestressing cables in the roof of the underground car park; blue lines: temporary expansion joints.

## Komplexe Bemessung

Man mag vielleicht einwenden, dass das wirkliche Tragsystem dieser Konstruktion nicht seinem optischen Erscheinungsbild einer



**Fig. 6**  
Finite-Elemente-Modell.  
Finite element model.

bending but also to residual membrane actions spreading out from the arches. However, due to the extreme flatness of these arches, their horizontal reactions had to be resisted by very large prestressing forces in the roof of the underground car park (Fig. 5). For the arch A5 for example, with a span of 83 m and a camber of only 4.75 m (ratio L/H ~ 17.5) a prestressing force of about 80,000 kN was necessary.

Furthermore, the shape and position of the patios had to be somewhat changed, in order to find sufficient space for the abutments of all these arches. This had to be done with some diplomacy since architects are not always keen on changing their concept for structural reasons.

### Complex Dimensioning

One could possibly argue that the physical appearance of this building does not quite correspond to its actual structural behaviour. However, this can also be said of the famous Sydney Opera House, which conveys the impression of a shell but is in reality a curved grid work with an outer shell-shaped skin, which does not have any load carrying function.

In the tendering phase, the contractor submitted an alternative solution by proposing to support the shell-like structure permanently by a forest of columns.

Schale entspricht. Dies ist aber z.B. auch bei dem berühmten Sydney Opera House der Fall, das den Eindruck von Schalenkonstruktionen erweckt, in Wirklichkeit aber aus gekrümmten Gitterrostern besteht, deren dünne, schalenförmige Außenhaut keinerlei Tragfunktion hat.

Bei der Ausschreibung hatte die beauftragte Unternehmung Losinger eine Variante unterbreitet, die vorsah, das schalenförmige Geschoss durch einen Wald von Stützen permanent abzustützen, was zwar technisch und wirtschaftlich günstig gewesen wäre, aber das von den Architekten angestrebte Erscheinungsbild völlig verfälscht hätte. Da sich die Unternehmung aus Konkurrenzgründen weigerte, eine solche Variante auszuschliessen, die Architekten es jedoch ablehnten, einen diesbezüglichen Vertrag zu unterzeichnen, wäre die Realisierung dieses Projektes beinahe gescheitert. Dies konnte in letzter Minute nur dadurch verhindert werden, dass die Ingenieure bindend zusagten, dass sie entschlossen und in der Lage seien, eine technisch machbare und wirtschaftlich vertretbare Lösung ohne Zwischenstützen zu erarbeiten. Dies war allerdings leichter gesagt als getan, denn derart flache Bögen wurden noch nirgends realisiert. Deren sehr grosse Normalkräfte erzeugen selbst bei nur

While this would have been economically advantageous, it would also have completely falsified the very essence of the architectural concept. This almost led to the cancellation of the whole project since for competitive reasons the contractor refused to exclude such an alternative, whilst the architects also resolutely refused to sign such a contract. This impasse could only be resolved, when the engineers affirmed that they were quite determined and able to find a column-free solution. This was evidently easier said than done, because nobody had ever built such shallow load-carrying structures. Even relatively small deviations from the ideal form of these flat arches subjected to such big axial forces will inevitably generate important bending moments and thus create second-order effects that could fatally impair their buckling stability.

The determination of the optimal geometrical form of the shallow arches of the Learning Centre, as well as their analysis, dimensioning and detailing obviously required very sophisticated means and knowhow, for which the modern methods of spatial finite elements was an invaluable tool (Fig. 6).

### Deformation Problems

For such shallow arches as those at the Learning Centre it is not

geringen Abweichungen von der idealen Form, die es bei variablen Lasten gar nicht gibt, entsprechend grosse Biegemomente und zusätzliche Verformungen höherer Ordnung, welche die Knickstabilität in kritischer Weise vermindern können.

Für die Ermittlung der optimalen Form der schalenförmigen Konstruktion wie auch deren Berechnung, Dimensionierung und konstruktive Ausbildung wurden moderne, leistungsfähige Computermodelle mit räumlichen finiten Elementen (Fig. 6) angewandt, ohne die diese anspruchsvolle Aufgabe kaum hätte bewältigt werden können.

### Verformungsprobleme

Ausser der Gewährleistung einer ausreichenden Knickstabilität mussten aber auch die Probleme der Verformungen, insbesondere jene infolge Schwinden, Kriechen und Temperaturänderungen gelöst werden, denn jede Verkürzung der Länge der flachen Bögen führt zu einer etwa zehnmal grösseren Einsenkung der Bogenscheitel, was für die äusserst filigranen, gekrümmten Glasfassaden kritisch werden kann. Es galt daher vor allem die Langzeitverformungen soweit wie praktisch möglich zu reduzieren. Daher wurde in den Hauptbögen ein ausserordentlich hoher Bewehrungsgehalt von bis zu 470 kg Stahl pro m<sup>3</sup> Beton gewählt. Um doch noch genügend Platz für das

only necessary to provide sufficient statically stability but one has also to consider the tricky problem of deformations, especially due to creep, shrinkage and temperature changes. Any shortening of the arch length would result in an about ten times bigger sag of its crown. Thus it was imperative to reduce these deformations as much as possible by providing an ample and rather unusual amount of reinforcement up to 470 kg/m<sup>3</sup>. In order to still leave sufficient space for concreting it was decided to use very strong bars of 50 mm diameter, which at that time were not officially licensed (Fig. 7). Thanks to the choice of such heavy reinforcement (a total of 1,800 tons for the large shell) the maximum sag of the crown could be limited to 9 cm.

But there was still the problem of how to achieve the continuity of such long bars and their anchorage in the abutments. The only safe and practically feasible method proved to be the butt-welding of the bars. To butt-weld all these bars on site was very demanding for the contractor, all the more so because this was not foreseen in the tender documents and because the necessary inspections and proof-testing of such welds usually required by the specifications would have been very costly and difficult to perform on site. However, since this heavy reinforcement was mainly chosen

Einbringen des Betons freizuhalten, wurden dazu sehr kräftige Bewehrungsstäbe von 50 mm Durchmesser angeordnet (Fig. 7), für die damals noch keine amtliche Zulassung existierte. Dank der Wahl einer derart kräftigen Bewehrung (insgesamt 1800 Tonnen für die grosse Schale) konnte die Einsenkung der Scheitel mit maximal 9 cm wie erwünscht klein gehalten werden.

Da herkömmliche Übergreifungsstäbe für derart dicke, bis zu 83 m lange Stäbe aus Platzgründen und wegen der Gefahr des Abplatzens der Betonüberdeckung nicht infrage kamen, musste deren Kontinuität durch Stumpfschweißung erzielt werden. Derart viele Stäbe auf der Baustelle zu verschweissen und die dazu erforderlichen strengen und aufwändigen Prüfungen durchführen zu lassen, verlangte viel von der Unternehmung, zumal dies in den Ausschreibungsunterlagen nicht vorgesehen war.

Da diese kräftige Bewehrung jedoch in erster Linie der Erhöhung der Trägheitsmomente und der Verminderung der Schwind- und Kriechverformung diente und somit – mit Ausnahme weniger Zugzonen – vorwiegend auf Druck beansprucht wird, schien es geachtigt, von den strengen Bestimmungen abzuweichen, wonach Schweißnähte dieselbe Zugfestigkeit wie der Stab selbst aufweisen müssen. Nach eingehenden Vorversuchen entwickelte die Unternehmung eine einfache, mit erträglichem Aufwand realisierbare Manschetten-Schweißverbindung, die eine volle Druckübertragung und eine 50-prozentige Zugübertragung gewährleistet.

Wegen der grossen Bewehrungsdichte (Fig. 8) hätte sich der Einbau von Zwischenabschalungen für abschnittsweises Betonieren als schwierig erwiesen und zudem zu Überzähnen bei den Arbeitsfugen geführt. Deshalb entschloss man sich, die Schale in einem Zuge zu betonieren, was einen logistischen Grosseinsatz erforderte. Für die grosse Schale mussten während zweier Tage

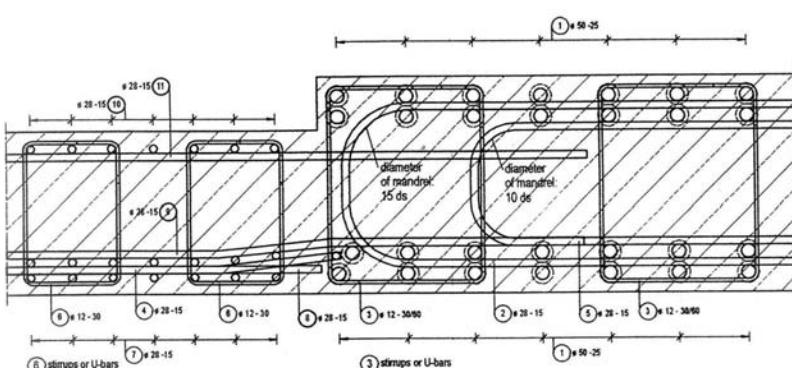


Fig. 7  
Querschnitt der schalenförmigen Tragkonstruktion mit Bewehrungsstäben von 50 mm Durchmesser.  
Cross section, with reinforcing bars of 50 mm diameter.



**Fig. 8**

Bewehrungsanordnung (© Alain Herzog).

Shell reinforcement (© Alain Herzog).

to increase the moments of inertia and to reduce the deformations due to creep and shrinkage, but was predominantly subjected to compression with only small zones of moderate tension, it was deemed justifiable to disregard these strict specifications.

Due to the very dense reinforcement (Fig. 8) and the problems of differential settlements it was decided to concrete the shell-like superstructures in one piece. For the larger shell 4,300 m<sup>3</sup> of concrete had to be poured and compacted without interruption over a period of two days and two nights. To meet this challenge a workforce of several hundred people was needed and the services of all the cement factories in the vicinity of Lausanne had to be engaged.

### Monument to the Pioneer-ing Spirit

In spite of the enormous size of the entire monolithic structure without any expansion joints, it

und Nächte ohne Unterbruch 4300 m<sup>3</sup> Beton angeliefert, eingebracht und vibriert werden, was den Einsatz von mehreren hundert Leuten erforderte.

### Wahrzeichen des Pionier-geists

Trotz seiner sehr grossen Abmessungen wurde das ganze Gebäude monolithisch, also ohne Dilatationsfugen ausgebildet, blieb aber wie geplant praktisch rissfrei. Ausser den schwierigen, hier geschilderten, statisch-konstruktiven Herausforderungen mussten auch die nicht minder anspruchsvollen Probleme der filigranen, gekrümmten Glasfassaden und der Haustechnik gelöst werden. Das nun erfolgreich fertiggestellte Rolex Learning Center ist ein Zeugnis moderner Baukunst und stellt zweifellos ein Wahrzeichen des an der ETH-Lausanne herrschenden Pioniergeists dar.

remained – as foreseen – homogeneous, i.e. practically crack-free.

Besides the considerable structural challenges, the no lesser problems of the curved transparent glass façades and installation of the building services had to be solved. The now finished Rolex Learning Centre is a striking example of modern architecture and engineering and will undoubtedly be a landmark of the pioneering spirit prevailing at the Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne.

#### Autoren/Authors

**René Walther**  
Prof. Dr. Ing.  
Walther Mory Maier Bauingenieure AG  
CH-4023 Basel  
bl@wmm.ch

**Manfred Grohmann**  
Prof. Dipl.-Ing.  
B + G Ingenieure Bollinger &  
Grohmann GmbH  
D-60327 Frankfurt am Main  
mgrohmann@bollinger-grohmann.de