



**Hochbau und
multifunktionale
Strukturen**

**Bâtiments et
structures multi-
fonctionnelles**

**Buildings and
multifunctional
structures**

Joseph Schwartz



1 Mehrfamilienhaus Forsterstrasse, Ansicht
View of residentialbuilding, Forsterstrasse

Einleitung

Das Mehrfamilienhaus an der Forsterstrasse vom Architekten Christian Kerez zieht die Aufmerksamkeit des fachkundigen Beobachters schon rein äusserlich durch sein unkonventionelles Erscheinungsbild auf sich. Das Haus ohne tragende Fassade, bei welchem einerseits die

im Grundriss nicht übereinander angeordneten Wandscheiben, und andererseits die irreell anmutenden Auskragungen der Decken Aufsehen erregen, weist trotz der grossen Betonmassen der Wände und Decken eine erstaunliche Leichtigkeit auf, welche durch die rahmenlos verglasten Balkonbrüstungen noch verstärkt wird (Bild 1).

Architektonisches Konzept

Die Tätigkeiten Kochen, Schlafen, Essen, Wohnen, Arbeiten und Spielen sowie der Aufenthalt im Freien werden im Wohnungsbau üblicherweise voneinander getrennt. Im Mehrfamilienhaus an der Forsterstrasse finden diese Tätigkeiten dagegen in Räumen statt, welche alleamt gleich konstruiert und materialisiert sind. Sie sind alle Ausprägung der gleichen architektonisch räumlichen Grundkonzeption und unterscheiden sich nur in ihren Proportionen, Größenordnungen und räumlichen Zusammenhängen.

Durchblicke über die gesamte Woh-

Introduction

A new residential building on the Forsterstrasse in Zurich, designed by the architect Christian Kerez, is attracting the attention of specialists in this field, first of all simply because of its external features and its unconventional appearance. The building, which dispenses with load-bearing external walls, having on the one hand walls not arranged in plan view one on top of the other, while on the other hand the unreal and daring overhang of the storeys is causing a stir; despite the large quantities of concrete in the walls and floors the building surprisingly gives the impression of lightness, which is enhanced by the frameless glass balcony parapet walls (figure 1).

Architectonic Concept

The activities of cooking, sleeping, eating, living, working, playing and the feeling of being outside are usually separated in apartment blocks. In the residential building on the Forsterstrasse the-



2

Typischer
Innenraum
Typical room

nungsausdehnung zwischen diesen Wandscheiben hindurch sind immer wieder möglich. Es gibt keine dienenden und bedienten Räume. Es gibt keine Hierarchie oder Differenzierung von unterschiedlichen Bereichen der Wohnung. Dieselben Wandscheiben, welche die introvertierten Räume tief im Wohnungsinnern umfassen, führen auf der anderen Seite in vollkommen verglaste Wohnräume. Damit verbinden sich gegensätzliche Eigenschaften – Höhle und Pavillon, offen

se activities however are carried out in rooms that are constructed in more or less the same way. They all reflect the same basic architectonic spatial concept and differ only in their proportions, sizes and spatial relationships.

The whole of the apartment is always visible between the walls. There are no rooms leading to and from rooms. There is no hierarchy or differentiation of the various areas of the apartment. The same walls, which enclose the rooms

structural engineer working together in a painstaking optimization process dealing with the interdependence of all storeys.

Structure and Constructional Solutions

All walls and slabs are made of reinforced concrete forming in their totality the structure (figure 3). Most of the walls are supported in the vertical direction only in one point or along a vertical edge. In plan many walls are arranged crosswise from storey to storey, others are connected on one side to the central core. In one case a wall is suspended by the one above it; the high tensile stresses, which have to be transmitted at the point of intersection, necessitated vertical prestressing over two storeys. The slabs act like a flange, and combined with the walls that act as the webs they contribute to the considerable bending and shear stiffness. Due to the irregular arrangement of the walls the slabs lie partly in the conventional way on the walls and are partly suspended from the walls that act as corbels. Thereby the effective available floor spans, and above all the floor cantilevering, look less inside the building than one would think.

The central core is only in the upper four storeys. The 'garage' underneath them is designed to be open, i.e. column-free. This means that the forces of the core, on which all cantilevering walls rest directly or indirectly, are transmitted by means of a bridge-like structure consisting of the garage walls bearing on the basement walls (figure 4a).

Due to the large forces acting on these walls they are prestressed (figure 4b).

The particular challenge of the project was to maximize the overhang of the storeys, which meant that all floor slabs also had to be prestressed. In this way it could be ensured that the windowpanes, which were up to seven metres long over the full height of the storey, are not damaged due to



3

Modell der
Tragstruktur
Structural model

deep in the interior of the apartment, lead on the other side to completely glazed living spaces. Thus opposing properties are connected-cave and summerhouse (pavilion), closed and open spaces, heavy and light features – to form an indissoluble unity.

The spatial definition of a building by means of mainly freestanding walls that are mostly unconnected, was developed into a structural principle and permits the realization of large rooms with no columns, giving uninterrupted views (figure 2). Taken to the ultimate, wall-type construction leads to a bridge-like structure above the open, column-free ground floor parking space. Repositioning a wall in a storey would have an influence on the layout of all five storeys. Thus the arrangement of the walls, which viewed overall appears to be rather irregular, almost arbitrary, was developed by the architect and the

Project data

Region

Zurich, Switzerland

Use of structure

Residential building

Owner

private

Design Engineer

Dr. Joseph Schwartz, Zug

Architect

Christian Kerez, Zürich

Site Engineer

Archobau AG, Chur

Contractor

Jäggi + Hafter AG, Regensdorf / Zürich;

Stahltion AG, Zürich

Main data

Plan area

25 x 15 m

Number of storeys including garage

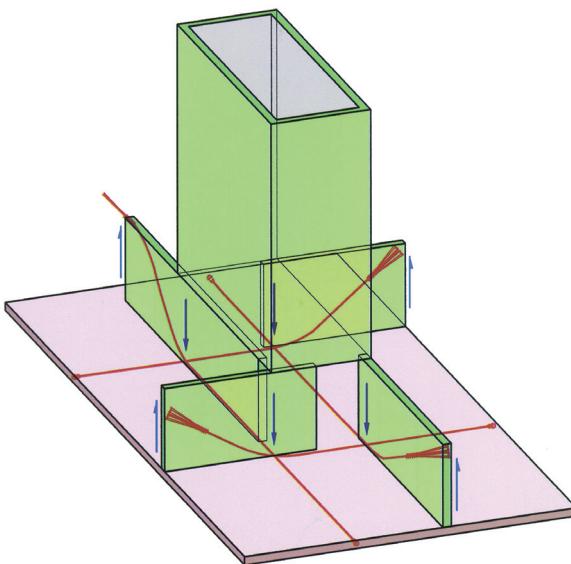
5

Structure

spatial shear wall-slab structure
in prestressed concrete

Construction period

(2001-2003)



4a Abfangung des Kerns, schematischer Verlauf Vorspannung
Support of the core, schematic prestressing layout

Projektdaten

Region
Zürich, Schweiz
Nutzung des Bauwerkes
Wohngebäude
Bauherr
privat
Projektingenieur
Dr. Joseph Schwartz, Zug
Architekt
Christian Kerez, Zürich
Bauleitung
Archobau AG, Chur
Bauausführung
Jäggi + Hafter AG, Regensdorf / Zürich;
Stahlton AG, Zürich

Kenndaten

Grundrissfläche
25 x 15 m
Anzahl Stockwerke inkl. Garage
5
Tragwerk
räumliche Scheiben-Platten-Struktur
in Spannbeton
Bauzeit
(2001-2003)

und geschlossen, schwer und leicht – zu einer unlösbar einheit.

Die räumliche Definition eines Gebäudes durch Wände, welche frei stehen und sich nur zum Teil verbinden, wird zum statischen Prinzip und erlaubt grosse, stützenfreie Räume, die ungehinderte Ausblicke ermöglichen (**Bild 2**).

In letzter Konsequenz bildet die Scheibenbauweise eine brückenartige Konstruktion über der offenen, stützenlosen Einstellhalle. Die Verschiebung einer Wand in einem Geschoss hätte Auswirkungen auf die Grundrisse aller fünf Geschosse. So wurde die Anordnung der Wände, welche in ihrer Gesamtschau recht unregelmässig, beinahe zufällig wirkt, von Architekt und Bauingenieur in langwierigen gemeinsamen Optimierungsprozessen über die Abhängigkeit aller Geschosse zueinander entwickelt.

creep of the concrete slabs. Great care was taken with the prestressing, so that the anchorage and deviation forces are completely compensated by the permanent loads (**figure 5**).

The points of conflict between structure and building physics were solved in a consistent way, in that with the heat insulation of the structure the heat always conducts in the shortest possible path. The forces are transmitted by the classical cantilever slab connections, which, to meet the requirements, are partially reinforced with chrome steel reinforcement.

Special Constructional Aspects

The requirements for fair-faced quality of the exposed concrete were extremely high. In order to create as uniform and as abstract an appearance of the exposed concrete as possible, the largest possible formwork elements, with as smooth a surface texture as possible, were necessary. For this purpose specially manufactured bakelite-coated formwork elements, with a surface area of 3 metres times 8 metres, were employed. In addition, it was possible to construct all surfaces without visible connecting holes. This was enabled by the high stiffness of the formwork elements in bending, which permitted the use of only two rows of connecting holes: a lower one in the region of the screed, to be installed later, and a second one above the walls. Since all concrete surfaces, including the upper face of the floor slab, were executed in fair-faced concrete, and these surfaces

Tragwerk und konstruktive Lösungen

Alle Scheiben und Platten sind in Stahlbeton ausgeführt und bilden in ihrer Gesamtheit das Tragwerk (**Bild 3**).

Die meisten Scheiben sind in vertikaler Richtung nur in einem Punkt oder entlang eines vertikalen Scheibenrandes aufgelegt. Viele Scheiben sind im Grundriss von Geschoss zu Geschoss kreuzweise angeordnet, andere sind einseitig am Rand mit dem zentralen Kern verbunden. In einem Fall hängt sogar eine Wand an der oberhalb von ihr angeordneten Wand; die grosse, lokal im Kreuzungspunkt zu übertragende Zug beanspruchung machte eine über zwei Stockwerke verlaufende vertikale Vorspannung



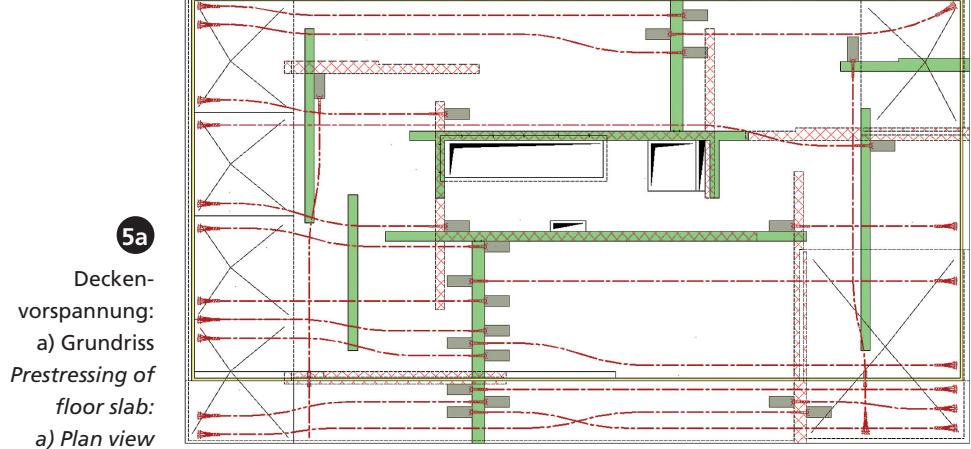
4b Ausführung auf der Baustelle
Execution on site

erforderlich. Die Platten wirken wie Flansche, und tragen in Kombination mit den als Stege wirkenden Wandscheiben zu einer beträchtlichen Biege- und Schubsteifigkeit bei. Infolge der unregelmässigen Anordnung der Wände liegen die Platten zum Teil konventionell auf den Wänden auf, und hängen zum Teil an den als Konsolen wirkenden Wandscheiben. Dadurch sind die effektiv vorhandenen Deckenspannweiten, und vor allem auch die Deckenauskragungen, geringer als sie im Inneren des Gebäudes wahrgenommen werden.

Der zentrale Kern ist nur in den oberen vier Stockwerken angeordnet. Die darunter liegende Einstellhalle ist stützenfrei ausgebildet. Das bedeutet, dass die Kräfte des Kerns, an welchem alle auskragenden Wände direkt oder indirekt aufgelegt sind, mittels eines brückenartigen Tragwerks bestehend aus den Kellerwänden auf die Garagenwände abgegeben werden (**Bild 4a**).

Wegen ihrer grossen Beanspruchung wurden diese Wände vorgespannt (**Bild 4b**).

Da die besondere Herausforderung des Projektes darin bestand, die Deckenauskragungen zu maximieren, wurden ebenfalls alle Decken vorgespannt. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass die stockwerkshohen, bis zu sieben Meter langen Fensterscheiben nicht infolge des Kriechens der Betondecken beschädigt werden. Die Vorspannung wurde mit grosser Sorgfalt so konzipiert, dass deren Anker- und Umlenkkräfte die ständigen Lasten vollständig kompensieren (**Bild 5**).



should look as uniform as possible, it was not possible to have the usual anchorage niches for the pre-stressing of the floor slab. For this reason the fixed anchorages were arranged at the edges of the slabs and the moveable anchorages in niches at the upper surfaces of the slabs, so that the concrete in the lower part of the slab could be placed continuously (figure 5). After tensioning and grouting these niches were filled with concrete.

Final Remarks

The requirements placed on the concept, the design and the detailing were much greater for the residential building on the Forsterstrasse than with a conventional apartment block 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 supervision, contractor, concrete supplier and prestressing firm, led to the successful realization of the structure.



5b

Deckenvorspannung:
b) Ausführung
auf der Baustelle
Prestressing of
floor slab:
b) Execution
on site

Die Konfliktpunkte zwischen Tragwerk und Bauphysik wurden konsequent so gelöst, dass die Wärmedämmung das Tragwerk stets auf dem kürzest möglichen Weg durchdringt. Die Kräfte werden mit klassischen Kragplattenanschlüssen übertragen, welche den Anforderungen entsprechend teilweise mit Chromstahlbewehrung verstärkt wurden.

Besonderheiten bei der Ausführung

Die gestalterischen Anforderungen an den Sichtbeton waren extrem hoch. Um ein möglichst einheitliches und abstraktes Erscheinungsbild des Sichtbetons zu erzeugen, waren möglichst grosse Schalungselemente mit einer möglichst glatten Oberfläche erforderlich. Zur Anwendung kamen speziell angefertigte, baukitbeschichtete Schalungselemente mit einer Oberfläche von drei mal acht Metern. Im Weiteren gelang es, alle Oberflächen ohne sichtbare Bindlöcher auszuführen. Dies wurde durch die ausserordentlich biegesteifen Schalungselemente ermöglicht, welche es zuließen, nur zwei Bindlochreihen anzurichten: eine untere im Bereich der später eingebauten Unterlagsböden, sowie eine zweite oberhalb der Wandkörper. Da alle Betonoberflächen inklusiv Deckenstirnen in Sichtbeton ausgeführt wurden, und diese Oberflächen ein möglichst gleichmässiges Aussehen aufweisen sollten, war es nicht möglich, klassische Verankerungsnischen für die Dek-

kenvorspannung auszubilden. Aus diesem Grund wurden die festen Verankerungen an den Plattenrändern und die beweglichen Verankerungen in Nischen an der Oberseite der Platten angeordnet, so dass der Beton im unteren Plattenbereich kontinuierlich eingebracht werden konnte (**Bild 5**). Nach dem Spannen und Injizieren wurden diese Nischen ausbetoniert.

Schlussbemerkungen

Die Anforderungen an den Entwurf, die Projektierung und die konstruktive Ausbildung waren beim Mehrfamilienhaus an der Forsterstrasse wesentlich höher als bei einem konventionellen Hochbau und erreichten das Niveau eines Brückenbauwerkes. Die hervorragende Zusammenarbeit aller am Projekt Beteiligten, Architekt, Bauingenieur, weitere Fachplaner, Bauleitung, Unternehmer, Betonlieferant und Spannfirma ermöglichen die erfolgreiche Realisierung des Bauwerkes.

Referenzen / References

- [1] Hubertus Adam (2003): «Christian Kerez, Mehrfamilienhaus Forsterstrasse, Zürich», Zeitschrift Architektur, Heft 6.2003, 64 – 69.
- [2] Cemsuisse, Verband der Schweizerischen Cementindustrie (2005): «Architekturpreis Beton 05», GTA Verlag Zürich, ISBN 3-85676-159-4, 14 – 39

Autor / Author

Joseph Schwartz
Dr. consulting engineer
Schwerzelrain 7
CH-6315 Oberägeri
jschwartz@bluewin.ch

Esther Hodel



- 1 Das Foyer als Zugangsbereich und Vorzone für den darunter liegenden Hörsaal.

The foyer as the access area and as an approach zone for the lecture hall situated beneath it.

Die farblichen Möglichkeiten von Sichtbeton sind viel mannigfaltiger als das verbreitete Bild einer «grauen Wand» vermuten lässt. Bei der Stützmauer des Hörsals für die Universität Zürich ist die farbliche Erscheinung bereits in der Betonmasse eingeschrieben, ist also mehr als eine äusserliche Applikation: Der noch flüssigen Mischung wurden Farbpigmente beigemischt. Selbst der Fertigungsprozess ist im fertigen Werk ästhetisch wirksam: Die unregelmässige, farblich differenzierte Schichtung der Wand zeugt vom Giessvorgang.



- 2

Die Wand- und Deckenverkleidungen des Hörsals aus farbig lackierten Holzwerkstoffplatten in verschiedenen Rottönen, einem hellen Graugrün und einem Blauton.
The wall and ceiling cladding in the lecture hall is comprised of colourfully painted wooden panels in various shades of red, one of light grey-green and one of blue.

Mitte der neunziger Jahre beauftragte das Hochbauamt Zürich Annette Gigon und Mike Guyer mit dem Entwurf eines neuen Hörsals als Erweiterung des denkmalgeschützten Kollegiengebäudes, welches von Robert Curjel und Karl Moser zwischen 1911 und 1914 realisiert wurde. Das relativ grosse Neubauvolumen wurde dem bestehenden untergeordnet. Grundriss, Schnitt und Volumetrie wurden aus der Hanglage heraus entwickelt und geschickt mit dem Erschliessungssystem des Kollegiengebäudes verbunden. Gegen aussen tritt der Hörsaal lediglich als neue Stützmauer entlang der Künstlergasse in Erscheinung und sein «Dach» als neu gestaltete Terrasse mit einem Wasserbecken. Die tatsächliche Funktion ist fast nicht erkennbar. In Zusammenarbeit mit dem Künstler Adrian Schiess entwickelten Gigon | Guyer ein differenzierteres Material- und Farbkonzept für die Oberflächen sämtlicher öffentlichen Räume. Dies betrifft insbesondere die Decken-, Wand- und Bodenflächen des Hörsals, die Treppenaufgänge vom Hörsaal zum Foyer und den Aussenbereich. Die rot geschichtete Stützmauer entlang der Künstlergasse ist der nach aussen hin sichtbarste Bestandteil des Projekts.

Schichten

Die rote Horizontalschichtung der Stützmauer ist das Ergebnis einer intensiven Auseinandersetzung mit der Architektur des bestehenden Baues. Sie sollte auch auf ihre Raumhaftigkeit verweisen. Eine graue Sichtbetonwand hätte kaum eine solche Wirkung hervorgerufen und stand nie im Interesse der Architekten. Die schliesslich gewählte Färbung wurde auf diejenige des Sandsteins des Kollegiengebäudes abgestimmt, ohne dabei das Andersartige des Eingriffs zu cachieren.

The colour options offered by exposed concrete are much more wide-ranging than the conventional image of a «grey wall» would lead us to believe. The colourful appearance of the retaining wall of the University of Zurich's lecture hall is already inscribed in the concrete mass and is thus more than merely an external application. Colour pigments were added to the mixture when still liquid. Even the production process itself has an effect on the finished appearance: the irregular, differently coloured layering of the wall is evidence of the pouring process.

In the mid-1990s, Zurich's Cantonal Office of Structural Engineering commissioned Annette Gigon and Mike Guyer to design a new lecture hall as an extension to the main building («Kollegiengebäude»), which was designed by Robert Curjel and Karl Moser between 1911 and 1914 and is now listed as a historic building. The relatively large volume of the new building was to be subordinate to the existing edifice. Plan view, section and volumetry were developed on the basis of the hillside location and cleverly linked with the site arrangement of the main building. To the outside world, the lecture hall simply appears to be a retaining wall along the Künstlergasse

Projektdaten

Nutzung

Hörsaal der Universität Zürich (496 Sitzplätze + Nebenräume)

Bauherr

Hochbauamt des Kantons Zürich

Architektur

Gigon | Guyer, Zürich; Christian Brunner (Projektleitung), Thomas Hochstrasser (Bauleitung)

Bauingenieure

SKS Ingenieure AG, Zürich; Theodor Weber (Chefingenieur)

Bauunternehmen

Toneatti AG, Jona

Farben

Adrian Schiess, Mouans-Sartoux (F)

Farbpigmente

Pieri S. A., Le Mont s/Lausanne, Pieri Kaolor PP300 rot

Planung / Ausführung

November 1999 - Oktober 2002



3

Die Farbschichtung der Stützmauer nähert sich von unten nach oben der Sandsteinfassade des Kollegiengebäudes von Karl Moser und Robert Curjel an.

Starting at the bottom, the colour layering of the retaining wall rises to meet the sandstone façade of the main building designed by Karl Moser and Robert Curjel.

Bemustern

Um sich die Wirkung der fertigen Wand vorstellen zu können, wurden Muster im Massstab 1:1 betoniert. Man experimentierte dabei mit unterschiedlichen Pigmentfarben und variierte deren Dosierung. Eine in Erwägung gezogene verschiedenfarbige Schichtung hätte die Farbtonalität des Hörsaals in zu direkter Art und Weise widerspiegelt.

Project data

Application

Lecture hall at the University of Zurich (seating for 496 + side rooms)

Client

Zurich's Cantonal Office of Structural Engineering

Architecture

Gigon/Guyer, Zurich;
Christian Brunner
(Project management)

Thomas Hochstrasser
(Construction management)

Consulting engineers
SKS Ingenieure AG, Zurich;

Theodor Weber
(senior structural engineer)

Construction company

Toneatti AG, Jona

Colours

Adrian Schiess, Mouans-Sartoux (F)

Colour pigments

Pieri S. A., Le Mont s/Lausanne, Pieri
Kaolor PP300 red

Planning / Implementation

November 1999 - October 2002

and its «roof» a newly-designed terrace with a pool. Its actual function is barely discernible.

In cooperation with artist Adrian Schiess, Gigon & Guyer developed a differentiated material and colour concept for the surface areas of all public rooms. In particular, this applies to the ceiling, wall and floor surfaces of the lecture hall, the staircases from the lecture hall to the foyer and the outside area. The red-layered retaining wall along the Künstlergasse is the project's most visible component to the outside world.

Layers

The red horizontal layering of the retaining wall is the result of a thorough investigation of the architecture of the existing building. The aim was also to indicate its volume. A grey exposed concrete wall would hardly have conjured up the same effect and was never the architects' intention. The colouring

finally chosen was adjusted to match the main building's sandstone without concealing the dissimilarity of the intervention.

Sampling

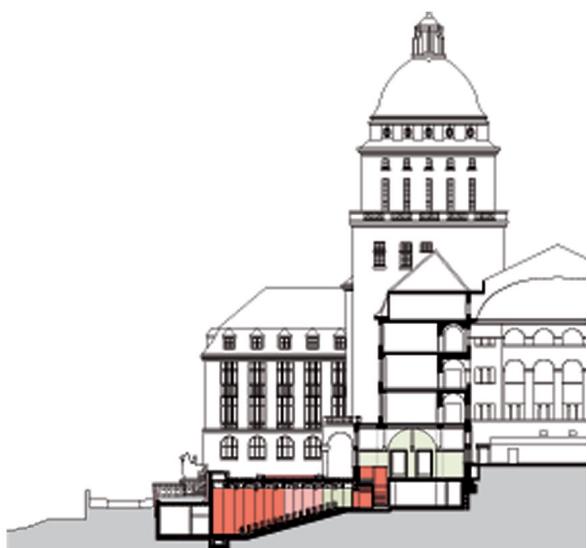
Full-size concrete samples were produced in order to visualize the effect of the finished wall. Different pigment colours and quantities were experimented with. Layering in different colours, which was also considered, would have reflected the colour tonality of the lecture hall too directly. A graduation of different red tones was finally selected to blend in with the sandstone façade of the university building as well as with the bright pink of the pool on the terrace.

The pigment added was reduced, layer by layer, from 8% to 4%, 2% and finally 0.5% of the cement quantity. Colour intensity decreases correspondingly and - dependent on light - the red of the concrete visually approximates the ochre of the sandstone.

During the trials, the combination of the different colour layers proved interesting. Due to the intermingling at each pouring stage, flame-like transitions were created with an even greater intensity in the samples than on the finished wall. This phenomenon also revealed that although it is possible to estimate random aspects that cannot be influenced, they can never be completely ruled out in spite of sampling and intensive advance clarifications.

4

Schnitt durch das Foyer und den Hörsaal.
Sectional drawing of the foyer and lecture hall.



Schliesslich wurde eine Abstufung von verschiedenen Rottönen gewählt, die einen Bezug zur Farbstimmung der Sandsteinfassade

Zufällige zwar abgeschätzt, aber nicht ganz auszuschliessen war.

Betonieren

Der Beton wurde als Pumpmischiung mit der Korngrösse 0÷16 mm eingebracht. Es wurde gewöhnlicher Portlandzement in einer Dosierung von 300 kg/m³ verwendet. Im Allgemeinen eignet sich für besonders reine und leuchtende Farben Weisszement besser, doch erwies sich im vorliegenden Fall die Verwendung von Grauzement als ausreichend. Die Geschmeidigkeit der Mischung wurde mit einem Hochleistungsverflüssiger optimiert. Ein Füller verbesserte zusätzlich die Verarbeitbarkeit.

Die insgesamt 1567 kg Pigmente wurden in wasserlösliche Beutel abgepackt und als fertige Portionen von 1 bis 25 kg (je nach Betoncharge) angeliefert. Die so vordosierte Pigmentbeutel wurden dem Betongemisch im Fahrnischer des Lastwagens chargeweise direkt beigegeben und während der Fahrt vom Betonwerk auf die Baustelle gemischt. Die einzelnen Farbschichten wurden unmittelbar nacheinander eingebracht, der Pigmentanteil jeweils beim Wechsel einer Charge vermindert. Für die Verdichtung des Gemischs in der Schalung wurde die Vibriernadel mit einer Markierung versehen, um die Eindringtiefe genau kontrollieren zu können; die Separation der einzelnen Farbschichten sollte nicht durch derartige Zufälligkeiten negativ beeinflusst werden!

Damit – aus gestalterischen Gründen – auf Dilatationsfugen verzichtet werden konnte, versah man die 40 Meter lange Wand mit einer Vorspannung.

Concreting

The concrete was pumped in as a mixture with grains of 0÷16 mm. Standard Portland cement was used in a dosage of 300 kg/m³. Generally speaking, white cement is better suited to particularly clear and glowing colours although the use of grey cement proved to be sufficient in this case. The pouring consistency of the mix was optimized with a high-performance plasticizer. Workability was further improved with the addition of filler.

The total amount of 1,567 kg of pigments was packed in water soluble pouches and delivered in ready-made portions of 1 to 25 kg (dependent on concrete batch). The pre-portioned pigment pouches were added directly to each batch in the ready-mix truck and mixed on the way from the concrete plant to the construction site. The individual colour layers were brought in immediately, one after the other, with the pigment proportion being reduced with each batch. To compact the mix in the shuttering, the vibrating poker was marked so that the depth of penetration could be accurately checked; the separation of the individual colour layers was not to be negatively influenced by random events of this type! So that expansion joints could be dispensed with for design reasons, the 40-metre long wall was prestressed.

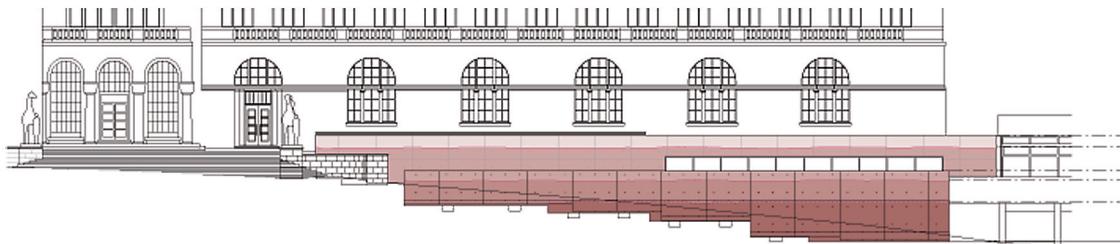


5

Begutachtung der vier Musterwände mit unterschiedlichen Pigmentfarben und Intensitäten vor Ort.
On-site appraisal of the four sample walls with their different pigment colours and intensity.

des Universitätsgebäudes wie zum leuchtend rosa gehaltene Wasserbecken auf der Terrasse herstellte. Der Pigmentzuschlag wurde, Schicht um Schicht, von 8% auf 4%, 2% und schliesslich 0,5% der Zementmenge reduziert. Die Intensität der Farbe nimmt entsprechend ab, und das Rötliche des Betons nähert sich – je nach Lichtsituation – visuell dem Ocker des Sandsteins an.

Bei den Versuchen erwies sich das Aufeinandertreffen der unterschiedlichen Farbschichten als interessant. Durch das ineinanderfliessen der Schüttetappen ergaben sich flammenartige Übergänge, die an den Mustern noch intensiver ausfielen als an der fertigen Wand. An diesem Phänomen zeigte sich denn auch, dass trotz Bemusterung und intensivsten Vorabklärungen das Nichtbeeinflussbare,



6

Schalungsplan mit den unterschiedlichen Betonieretappen.
Shuttering diagram with the different concreting stages.

Schützen

Als Nachbehandlung wurde die Wand mit einem Reinigungspulver gesäubert, das dank seinem geringen Säuregehalt Kalziumsalze auflöst und so das Auftreten von Ausblühungen verhindert. Gerade bei eingefärbtem Beton sind solche weisslichen Verunreinigungen der Oberfläche eine sehr störende Beeinträchtigung. Wie heute bei öffentlichen Gebäuden üblich, wurde ein Graffitischutz auf die Sichtbetonwand aufgetragen.

Im Laufe der Zeit wird die eingefärbte Betonwand eine natürliche Patina entwickeln, und auch ihre Farbwirkung wird sich allmählich wandeln.

Das Arbeiten mit Sichtbeton - und mit eingefärbtem Sichtbeton noch viel mehr - ist also nicht nur aufwändig und kostspielig, sondern mit einer Vielzahl von nicht kalkulierbaren Unwägbarkeiten und Risiken verbunden. Vielleicht macht gerade dieses Unvorhersehbare seinen unbestrittenen Reiz aus.

Protection

The wall was additionally treated with a cleaning powder, which thanks to its low acidic content dissolves calcium salts, thereby preventing blooming from occurring. These whitish blemishes on the surface of coloured concrete, in particular, are very unsightly.

As is standard practice nowadays for public buildings, graffiti protection was applied to the exposed concrete wall.

Over the course of time, the coloured concrete wall will develop a natural patina and its coloured effect will gradually change.

Working with exposed concrete - and even more so with exposed coloured concrete - is thus not only time-consuming and expensive, but is also linked with a large number of incalculable imponderables and risks. Perhaps it is this unpredictability that gives it its indisputable allure.

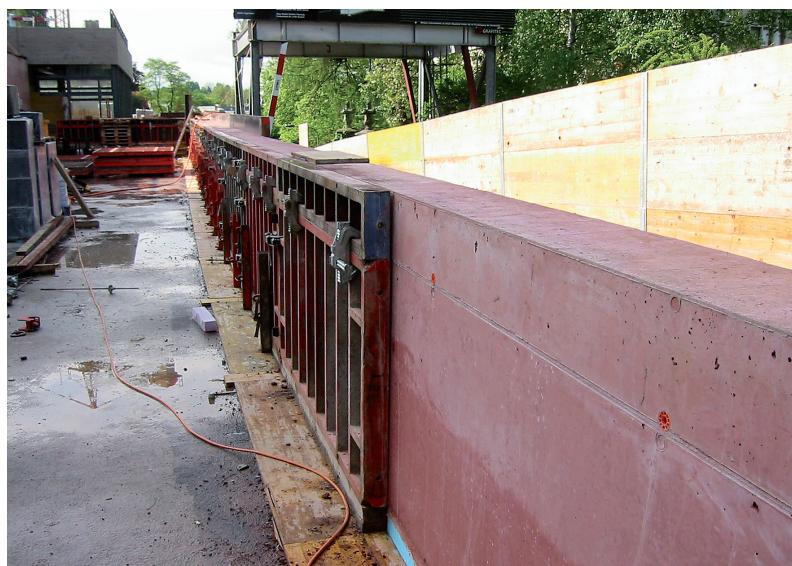
Anmerkung

Der Artikel basiert auf einer Diplomwahlfacharbeit, die – ungekürzt – in 1) enthalten ist.

Überarbeitung: R. Seiler, ETHZ

Fotos + Zeichnungen:

Gigon | Guyer



7

Entfernen der Stahlrahmenschalung - der Sichtbeton zeigt sich.

Removal of the steel-frame shuttering - the exposed concrete is revealed.

Referenzen / References

[1] Arthur Rüegg, Reto Gadola, et al, «Die Unschuld des Betons – Wege zu einer materialspezifischen Architektur», gta Verlag ETHZ, 8093 Zurich, 2004

[2] Peter Grübl, Helmut Weigler, Sieghart Karl, «Beton-Arten, Herstellung und Eigenschaften», Munich 2001.

[3] Boeme Uwe, TU Freiberg, «Anorganische Pigmente» with links and composition of known pigments: <http://www.uweboehme.de/> >Übersicht >Anorganische Pigmente

[4] Kurt Hermann, «Zusatzstoffe Pigmente», in: "Cementbulletin" 9/1995, pp. 3-7. Günther Ruffert, «Lexikon der Betoninstandsetzung», Stuttgart 1999.

Autor / Author

Esther Hodel
dipl. Architektin, ETH
eshodel@gmx.net

Note

This article is based on an elective diploma subject assignment contained in 1) in unabridged form.

Editing: R. Seiler, ETHZ

Photographs + drawings:

Gigon | Guyer

Robert Bossart, Rainer Zünd, Markus Bertschi

Einleitung

Nach Einweihung der Lüftungszentrale Reppischthal wird die Öffentlichkeit keine Notiz mehr nehmen von dem grossen unterirdischen Bauwerk, das zur Zeit entsteht. Der Benutzer der N4 wird zwischen den beiden angrenzenden Tunnels Uetliberg und Ettenberg keinen Unterschied erkennen, denn die Autobahn wird im Innern des Bauwerks geführt. Der Spaziergänger im Reppischthal wird ausser den Lüftungskaminen und der Einfahrt nichts erkennen, weil das ganze Gebäude eingedeckt wird. Wir haben es also mit einem Bauwerk zu tun, dessen Dimensionen nur während der Bauphase erkennbar sind.

Introduction

After the official opening of the Reppischthal Ventilation Plant the public will take no more notice of the large underground structure that is now under construction. The user of the N4 will hardly notice a difference in the area between the two neighbouring Uetliberg und Ettenberg tunnels, because the motorway passes through the new structure. People walking in the area will not see anything besides the ventilation chimneys and the entrance, because the whole structure will be covered over. Thus we are dealing with a structure whose dimensions are only visibly during construction.



1

Baustelle mit Tunnelröhren und Kabel-Bobinen
Construction site with tunnel holes and cable spools

Objekt

Beschrieb

Die Lüftungszentrale des Uetlibergtunnels liegt zwischen Birmensdorf und Stallikon. Der Uetlibergtunnel ist im Nationalstrassennetz ein Teil der Westumfahrung Zürich.

Die wie eine Talsperre quer im Reppischtal liegende Zentrale wird im Tagbau erstellt, als Verbindungsstück zwischen den Tunnelröhren des Uetlibergs und des Ettenbergs, die zusammen den 4.4 km langen Uetlibergtunnel bilden. Das fertige Bauwerk wird im Endzustand wieder überdeckt und von der Reppisch überströmt.

Object

Description

The ventilation plant of the Uetliberg tunnel is situated between Birmensdorf and Stallikon. In the National Road Network the Uetliberg tunnel is a part of the West Bypass around Zurich.

The plant, which crosses the Reppisch valley like a dam, is being constructed by the cut-and-cover method, as a connection between the tunnel tubes of the Uetliberg and Ettenberg sections, which form together the 4.4 km long Uetliberg tunnel. In its final state the finished structure will be covered over again and the river Reppisch will flow over it.

Projektdaten

Region

Westumfahrung Zürich, Birmensdorf
Nutzung des Bauwerks

- Verbindung der Tunnels Uetliberg und Ettenberg
- Lüftungszentrale der beiden Tunnels
- Werkhof
- Durchleitung des Bachbettes der Reppisch

Bauherr Baudirektion des Kantons Zürich, Tiefbauamt, Abt. National- und Hauptstrassen

Bauunternehmung ARGE Reppischtal, Federführung Brunner Erben, Zürich

Projektingenieur: Henauer & Gugler AG, Zürich

Vorspannfirma ARGE Vorspannung RT, Stahlton AG, Zürich / Spannstahl AG, Hinwil / Geniteam SA, Aclens

Bauausführung 2004 bis 2007

Kenndaten

• Gesamtlänge	240m
• Gesamthöhe	23m
• Anzahl Geschosse	4
• Kostenrahmen	67 Mio CHF
• Betonkubatur	67'000 m ³
• Grösste Plattenstärke	1.4m
• Wandstärke	0.7m
• Armierung	7'000 to
• Vorspannung	ca. 60'000m ³ ca. 4200 Kabel ca. 950 to
• Bauzeit	ca. 3 Jahre
• Inbetriebnahme	2008

Herausragende Merkmale

- Kombination eines Tunnelbauwerks, einer Bachdurchleitung, einer Lüftungszentrale, eine Hochhaus und eines «Brückenbauwerks»
- Bauausführung in Koordination mit den anschliessenden Tunnelbaustellen und deren Installationsbedarf



2

Verlegen
der Kabel

Mounting
the cables

3

Vorbereitete
Vertikal-
vorspannung
*Waiting vertical
posttensioning
cables*



Konstruktion

Die Lüftungszentrale Reppischthal weist eine monolithische Struktur auf, ist auf einen Auftrieb von 14 - 18m Wassersäule dimensioniert und übernimmt die Auflasten einer Überdeckung von 2-15m, inklusive Bachbett der Reppisch. Das Bauwerk ist quer, längs und teilweise vertikal massiv vorgespannt. Die ARGE Vorspannung liefert dazu ca. 4200 Vorspannkabel vom Typ 2350kN, im Bereich der Abfangdecke für das Bachbett der Reppisch kommt der Typ 3700kN zur Anwendung. Die Lüftungszentrale ist durchgehend als «weisse Wanne» konzipiert. Als Massnahme zur Rissbeschränkung und Dichtigkeit dienen sowohl die früh aufgebrachte Vorspannung als auch ein Beton mit CEM III B, der eine niedrige Hydratationswärme aufweist. Die Konstruktion muss während des Bauvorgangs gegen 14 bis 18m Wasser-Auftrieb gesichert werden. Dies erfolgt hauptsächlich durch Ballast der bis zu 1.4m starken Bodenplatte. Zusätzlich wird durch eine systematische Wasserhaltung der Auftrieb verringert.

Structure

The Reppischtal Ventilation Plant is a monolithic structure and is dimensioned for uplift forces corresponding to a 14m to 18m water column and carries the surcharge loading of cover material of 2m to 15m, including the Reppisch river bed. The structure is heavily prestressed transversely, longitudinally and partially vertically. The consortium ARGE Vorspannung (Consortium post-tensioning) is supplying 4200 post-tensioning cables of type 2350kN, while in the region of the supporting slab for the Reppisch river bed, the type 3700kN is used.

The concept for the ventilation structure is a continuous «white bowl». The early application of prestressing together with a CEM III B concrete, which exhibits low heat of hydration, serve as a measure to limit cracking and provide waterproofing.

Die Reppisch wird während der Bauzeit auf einer provisorischen Stahlbrücke über die Baustelle hinweggeführt. Diese Brücke weist neben einem eigentlichen Bachbett auch eine Fischtreppe auf, um den Bachforellen den Zugang zu ihren Laichplätzen zu erlauben.

Bauausführung

Installation Tunnelbau

Die beiden Tunnelportale grenzen unmittelbar an die Lüftungszentrale. Die Geologie der beiden Hügel Uetliberg und Ettenberg weist Lokkergestein und Molassefels auf, welche mit Tunnelbohrmaschinen (TBM) durchörtert werden können. Beide Tunnelabschnitte weisen zwei Röhren auf, welche jeweils von der selben TBM gebohrt werden. Dies bedeutet, dass mindestens ein Wendeplatz pro TBM zur Verfügung stehen muss. Dies wiederum bedeutet, dass das Bauwerk der Lüftungszentrale in der Zeit zwischen der Arbeit an der ersten und der zweiten Röhre eine Plattform für das Wenden und den Unterhalt der TBM bieten muss. Diese Bedingung steuerte wesentlich das Bauprogramm der betrachteten Baustelle.

Bau-Abschnitte

Die Freiheit in der Etappenbildung war also eingeschränkt. Der Bauvorgang wurde so gewählt, dass die Randbedingungen eingehalten werden können, auch wenn dies zeitweise zusätzliche Umstellungen erfordert.

During construction the structure has to be designed to resist uplift pressures equivalent to 14m to 18m head of water. This is achieved mainly by means of the ballast of the up to 1.4m thick foundation slab. The uplift can also be reduced by means of systematic groundwater control.

During the construction period the Reppisch is diverted over a provisional steel bridge. Besides a river bed this bridge also has fish steps, which allows brown trout access to their spawning grounds.

Execution

Tunnelling Installations

Both tunnel portals border on the ventilation structure. The geology of the two hills Uetliberg and Ettenberg consists of soil and Molasse rock, through which the tunnelling machines (TBM) are able to cut. Both tunnel sections have twin tubes, which are bored by the same TBM. This means that there has to be at least one cross-over place per TBM. This again means that in the time between the work on the first and second tubes the ventilation structure must provide a platform for turning the machine around and for maintenance of the TBM. This condition governs to a large extent the construction programme for the construction sites.

Construction Stages

Thus the freedom in planning the construction stages was restricted. The construction process was chosen such that the boundary conditions could be maintained, even when this caused additional rearranging of the programme at times.

Project data

Region

West Bypass Zurich, Birmensdorf

Purpose of the structure

- Connecting the tunnels Uetliberg and Ettenberg
- Ventilation plant for both tunnels
- Maintenance depot (oder ist «Operation centre» gemeint???)
- Rerouting the Reppisch river bed

Owner Construction Authority of Canton Zurich, Office of Civil Engineering, Dept. National Highways and Main Roads

Main Contractor ARGE Reppischtal, **Lead Management** Brunner Erben, Zürich

Design Engineers Henauer&Gugler AG, Zurich

Prestressing firm ARGE Vorspannung RT, Stahltion AG, Zürich / Spannstahl AG, Hinwil / Geniteam SA, Aclens

Execution 2004 to 2007

Structure data

• Total length	240m
• Total height	23m
• Number of floors	4
• Overall costs	67 Mio CHF
• Volume of concrete	67'000 m ³
• Maximum slab thickness	1.4m
• Wall thickness	0.7m
• Reinforcement	7'000 to
• Post-tensioning	ca. 60'000m ³ ca. 4200 cables ca. 950 to
• Construction period	ca. 3 years
• Putting into operation	2008

Outstanding features

- Combination of a tunnel structure, a river diversion, a ventilation plant, a building and a «bridge structure»
- Execution in coordination with the adjoining tunnelling works and their installation requirements

Betontechnologie und Vorspanntechnik

Wärme

Bei grossen Betonkubaturen stellt die anfallende Hydratationswärme ein erhebliches Problem dar. Die Ableitung der Wärme wird durch die grosse Masse und die relativ kleine Oberfläche reduziert und führt zu einem starken Erwärmten des jungen Betons. Dies beschleunigt zusätzlich den Abbindenvorgang. Dieser Mechanismus kann zu Schädigungen des Betons führen durch übermässiges Schwinden, Zwängungen, usw. Um die Wärme zu begrenzen wird in der Lüftungszentrale spezieller Zement verwendet, der sich durch eine niedrige Hydratationswärme-Entwicklung und ein relativ langsames Abbinden auszeichnet.

Rissebildung

Die Idee einer «weissen Wanne» besticht durch die nicht mehr notwendige Abdichtung des Gebäudes. Auf der anderen Seite erhält damit die Dichtigkeit des Betons und dessen Rissfreiheit eine zusätzliche Bedeutung. Es galt also einen Bauvorgang zu wählen, der alle diese Bedingungen einhält.

Concrete Technology and Prestressing

Heat

In the case of large concrete volumes the heat of hydration produced is a big problem. The conducting away of the heat is reduced due to the large mass and the relatively small surface area and leads to a considerable heating up of the fresh concrete. This in addition accelerates the setting process. The mechanism can damage the concrete due to excessive shrinkage, constraints, etc.

In order to limit the heat generation in the ventilation structure special cement is used that is characterized by a low hydration heat development and a relatively slow setting process.

Crack Formation

The idea of a «white bowl» was attractive because it is no longer necessary to waterproof the structure. On the other hand the waterproofing of the concrete and making it crack-free acquires greater significance. Thus it was necessary to choose a construction process that complies with all these conditions.



4

Verlegen der
Hüllrohre
Placing
the ducts

Dichtigkeit

Bereits die Früh-Rissebildung wird durch eine erste Spannetappe weitgehend verhindert. Im späteren Zeitpunkt sorgen die vollen Vorspannkräfte für eine weitgehende Rissfreiheit des monolithischen Gebäudes.

Festigkeit

Die Festigkeitsentwicklung lässt im frühen Zeitpunkt der ersten Spannetappe nur relativ kleine Druckspannungen zu. Aus diesem Grund werden über grosse Ankerplatten eingesetzt, welche die Spannkraft möglichst breit verteilen.

Bauablauf

Die erste Spannstufe wird im Sommer nach ca. 4 Tagen aufgebracht, zum Zeitpunkt, da der Beton eine minimale Würfeldruckfestigkeit von 14 N/mm^2 aufweist.

Im Winter ist dies erst nach ca. 7 Tagen der Fall, was den Baufortschritt natürlich verlangsamt.

Vorspanntechnik

Einstossen,

oder werksgefertigte Kabel

Die Spannkabel weisen sehr unterschiedliche Längen auf. Während die Kabel der Fundament- und Deckenplatten in der Größenordnung von 20m liegen, bewegen sich die Wandkabel nur im Bereich von ca. 10m. Dadurch entsteht eine grosse Anzahl gleicher Kabel, welche in der Werkstatt rationell und gesichert hergestellt werden können. Auch der Transport gestaltet sich durch die leichten Kabel einfach. Diese Kabel werden auf Bobinen oder geschlauft angeliefert und meistens direkt ab den Lastwagen verlegt. Die langen Kabel werden hauptsächlich durch Einstossen auf der Baustelle hergestellt, was eine direkte Anlieferung des Spannstahls erlaubt und damit Transportkosten spart. Allerdings benötigt man dabei mehr Montagezeit, was beim sehr gedrängten Bauprogramm zu Engpässen führen kann.

Waterproofing

Already the first cracks to form were largely prevented by the first prestressing stage. At a later stage the complete prestressing forces will provide a crack-free monolithic structure.

Strength

The development of strength in the first prestressing stage only allows relatively small compressive stresses. For this reason oversize anchor plates are used, which distribute the prestressing force over as large an area as possible.

Construction Programme

The first stage of prestressing will be applied in summer after about 4 days after casting, when the concrete reaches a minimum cube strength of 14 N/mm^2 .

In winter this is the case only after 7 days, which of course slows down the construction process.



5

Abschnitt um
Abschnitt
Sector after
sector

6

Armierung und
Kabel für die
Bodenplatte
Reinforcement and cables for the foundation plate

**Kabeldimensionen**

Die Standardgrössen für diese Baustelle sind Drahtkabel Stahlton-BBRV 2350 und Stahlton-BBRV 3700, resp. Litzenkabel 12 x 0.6", oder 19 x 0.6".

Die Ankerplatten müssen, wie unter Punkt 4 erwähnt die frühen Spannkräfte in den Beton einleiten. Um diesen zu schonen betragen die Masse der Platten 425 x 425 x 55mm, resp. 535 x 535 x 70mm.

Korrosionsschutz

Alle Kabel erhalten ein Hüllrohr aus Kunststoff. Sie werden im Korrosionsschutzkategorie b ausgeführt und weisen also keine vollständig isolierte Hülle auf. Die Kunststoffhüllrohre ergeben jedoch auch ohne elektrische Überwachbarkeit eine klare Erhöhung der Dauerhaftigkeit.

Prestressing Technology**Assembling cables on site or use of prefabricated cables**

The post-tensioning cables vary greatly in length. Whereas the cables for the foundation and the floor slabs are around 20 m in length, those for the walls are only around 10m long. Thus there are a large number of cables of approximately the same length that can be manufactured more rationally and reliably in the factory. The transport is no problem because the cables are light. The cables are delivered on spools or rolled up and are usually placed directly from the lorry.

The long cables are mainly assembled on site, permitting direct delivery of the prestressing steel and thus saving transport costs. On the other hand, this requires more time at site for assembly, which can lead to bottlenecks if the construction schedule is very tight.

Cable dimensions

The standard sizes for this site are the wire cables Stahlton-BBRV 2350 and Stahlton-BBRV 3700 or strand cables 12 x 0.6" or 19 x 0.6". The anchor plates, as mentioned under point 4 above, have to transmit the initial prestressing forces

to the concrete. To protect the concrete the plate sizes have to be 425 x 425 x 55mm and 535 x 535 x 70mm, respectively.

Level of Protection

All cables are protected in a plastic sheath. They have protection level 2 and thus there are no completely insulated sheaths. The plastic sheaths however, though without electrical monitoring possibilities, exhibit a definite increase in durability.

Autoren / Authors

Robert Bossart, dipl. Ing. ETH / SIA,
Stahlton AG, Riesbachstrasse 57,
CH-8034 Zürich 8
robert.bossart@stahlton.ch

Rainer Zünd, dipl. Ing ETH / SIA,
Stahlton AG, Riesbachstrasse 57,
CH-8034 Zürich 8
rainer.zuend@stahlton.ch

Markus Bertschi, Bauführer,
Stahlton AG, Riesbachstrasse 57,
CH-8034 Zürich 8
markus.bertschi@stahlton.ch