



# Hochbau

# Bâtiment

# Buildings



# Periscopio di Pollegio: la struttura portante di una scultura di calcestruzzo

## The Periscope of Pollegio: the prestressed structure of a concrete sculpture

Cristina Zanini Barzaghi

### Introduzione

Il Periscopio, così chiamato fin dal motto che abbiamo adottato per il progetto di concorso, è la nuova torre di controllo di Alptransit-FFS a Pollegio. L'edificio marca in modo inconfondibile il paesaggio in prossimità del portale sud della galleria di base del San Gottardo ed è stato pensato per essere ammirato in velocità. La sua forma scultorea è sviluppata in verticale e si contrappone idealmente al fluire delle linee orizzontali di

### Introduction

The Periscope is the new control tower of Alptransit – the stretch of railway with a 50 km tunnel through the Alps – in Pollegio, so called because of the key word used in the project competition. Due to its architectural appearance, the building marks the landscape around the south portal at Gotthard Base Tunnel. Its design is intended to be fully appreciated at high speed. Its sculptural shape highlights the

traffico presenti nel fondovalle della Leventina (Fig. 1).

La forma di periscopio, con la «scatola» superiore con sbalzi asimmetrici e il «fusto» inferiore massiccio, e la struttura portante in calcestruzzo armato precompresso faccia a vista sono precise scelte fatte sin dall'inizio con gli architetti (Fig. 2).

Lo studio di soluzioni creative nella fase iniziale del progetto è stato particolarmente stimolante. Per il calcolo statico, la struttura è



Fig. 1

Vista del Periscopio da sud-est.  
View of the building from south-east.  
(© Hélène Binet)



**Fig. 2**  
Particolare del calcestruzzo facciavista sul fronte ovest.  
**Detail of exposed concrete on the western facade.**  
(© Hélène Binet)

vertical, forming a perfect contrast with the flow of the horizontal traffic lines of the Leventina valley floor (Fig. 1).

Specific design choices were made by the architects, such as the "periscope" shape (with the "box" with asymmetrical cantilevers on the massive "shaft") and the structure made of reinforced, prestressed and fair-faced concrete (Fig. 2).

Coming up with solutions for the design of the complex structure was a very creative challenge. In an initial approach, the structure was divided into walls and slabs (two-dimensional elements) and the vertical and horizontal loads were analysed separately. The flows of the forces were modelled both with traditional methods, based on graphic statics (such as strut-and-tie and stress fields) and with finite element modelling. The interpretation of outputs from the finite element method required an intensive analysis and

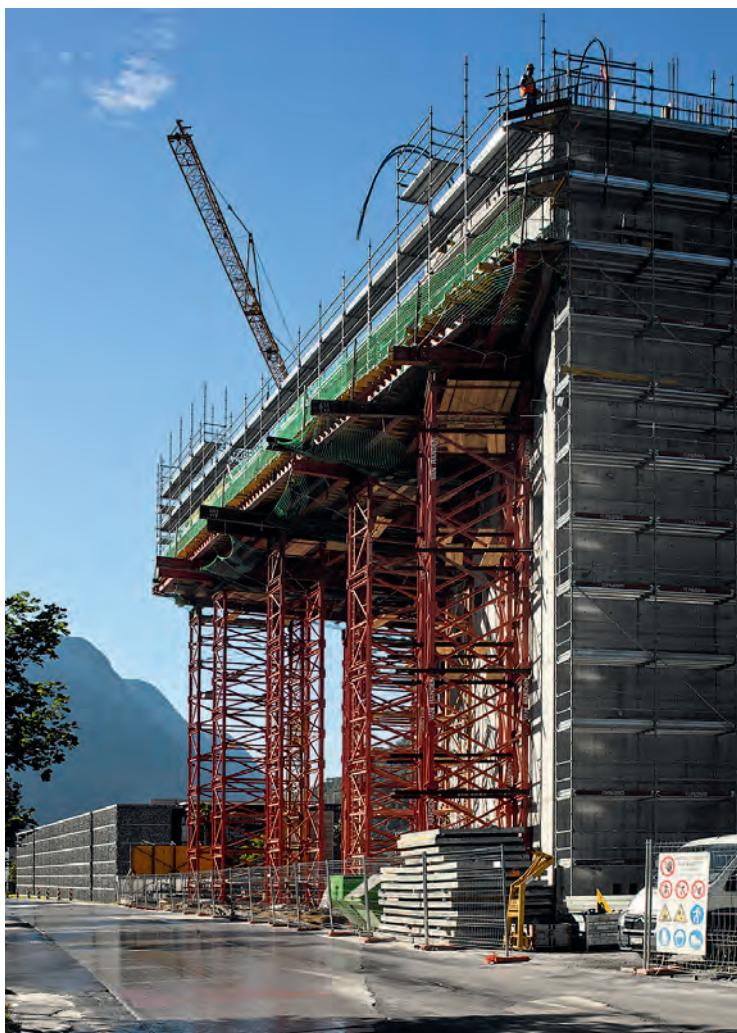
stata scomposta in elementi bidimensionali verticali e orizzontali che riprendono sia carichi verticali sia orizzontali. I flussi delle forze sono stati modellati sia con i metodi tradizionali basati sulla statica grafica, come i tralicci e i campi di tensione, sia con il calcolo informatico con elementi finiti lineari, a due o tre dimensioni. Quest'ultimi hanno richiesto molto impegno per la loro interpretazione, vista l'importante interazione fra i diversi elementi strutturali. I dimensionamenti sono stati svolti considerando differenti equilibri di forze così da ottenere una struttura efficiente con una certa ridondanza, nel contempo economicamente sostenibile. Sono stati inoltre approfonditi molti aspetti particolari, quali la ripartizione fra flessione antimetrica e torsione nella copertura, la progettazione delle centinature (Fig. 3), la precompressione in tre direzioni, la distribuzione delle forze sui pali e l'interazione fra terreno e

ultimately allowed the important interaction between the multiple structural elements to be confirmed. The design of the structural elements was carried out with several variations of the force flow, in order to obtain an efficient structure that is balanced at all times, with some structural redundancy. Of course, at the same time, the criteria of economics and sustainability were considered and carefully integrated into the considerations. Many specific aspects were analysed in detail, such as the distribution ratio in the roof element between anti-metric bending and torsion, the design requirements for the scaffolding under the cantilevers (Fig. 3), the three-dimensional prestressing, the distribution of the forces between the various foundation piles, and the interaction between foundation and building.

### Concrete technology and constructional aspects

An already tested recipe, already largely adopted on the Alptransit sites, that uses high quality alluvial aggregates from Hüntwangen, has been employed for the fair-faced concrete (as well as CPN C). The external walls have been thermally insulated internally. Great attention has also been paid to the design of the formwork. Minute details such as sharp edges and treatment against rust from reinforcing bars were also taken care of. The arrangement of the anchorage points for the post-tensioning tendons was also designed in accordance with the architectural requirements.

The minimum ratio of reinforcement was determined according to the standard SIA 262 in order to limit large cracks and deformations to an admissible level. From the monitoring carried out after finishing the construction, very small cracks within the limits of defined deformations in the Swiss Codes (less than 0.2 mm) were observed. Also deformation was traced at several monitoring points throughout the building, at various times during and after erection



**Fig. 3**  
Piattaforme per esecuzione delle parti aggettanti.  
**Scaffolding for the cantilevered parts.**  
(© ORCH – Alessandra Chemollo)

edificio. È difficile riassumere il lavoro svolto in poche righe: segue perciò la descrizione succinta della struttura.

### Materiali e accorgimenti costruttivi

Per il calcestruzzo facciavista di classe CPN C è stata adottata una ricetta già ampiamente testata nei cantieri di Alptransit, con inerti alluvionali di alta qualità da Hüntwangen. Le pareti portanti esterne sono state isolate termicamente all'interno, prevedendo i necessari risvolti per contenere i ponti di freddo. È stata dedicata grande attenzione al disegno dei casseri e dei distanziatori. Sono stati curati anche dettagli minimi

of the concrete structure. Displacements of a few millimetres were observed both vertically and horizontally. The different monitoring systems adopted enable the plausibility of the numerical model to be verified. The data collected confirms that the actual structural behaviour is strongly influenced by the torsion of the whole structure.

The concept of the entire structural system took full account of the requirements of the technical equipment. Lowered ceilings and technical floors, as well as vertical technical compartments, have been provided to allow maximum flexibility for the technical equipment and to avoid the placement

quali gli spigoli vivi acuti e il trattamento contro la ruggine dei ferri di ripresa: anche la disposizione delle nicchie di tesatura dei cavi è stata concordata con gli architetti.

L'armatura minima è stata definita in base alle esigenze accresciute per la fessurazione secondo la norma SIA 262. Dai rilievi eseguiti dopo il cantiere abbiamo constatato fessure molto contenute con aperture entro i limiti della norma (inferiori a 0,2 mm). Pure le deformazioni nei punti caratteristici dell'edificio sono state misurate in più momenti durante e dopo il cantiere. Si sono manifestati spostamenti di pochi millimetri sia in verticale sia in orizzontale. I diversi monitoraggi permettono di verificare la plausibilità del calcolo statico e di constatare che il comportamento reale è fortemente influenzato dalla resistenza torsionale della struttura.

La predisposizione di soffitti ribassati e pavimenti tecnici, come pure la presenza di vani tecnici verticali permette la massima flessibilità per le infrastrutture. L'intero sistema strutturale è stato concepito senza inserti e con una rigorosa pianificazione delle foro-metrie richieste dall'impiantistica.

### Scatola superiore con travi parete precompresso

La «scatola» superiore della struttura in calcestruzzo armato è pre-compressa con 60 cavi rettilinei in post-tensione con aderenza, disposti nelle tre direzioni e tesati dopo l'ultimazione dell'intera struttura

#### Dati principali/Main figures

m <sup>3</sup> SIA	26 000 m <sup>3</sup>
Calcestruzzo tipo C/	
Concrete type C	6 000 m <sup>3</sup>
Armatura B500B/	
Reinforcement B500B	900 t
Acciaio/Steel S355	26 t
Precompressione/	60 cavi
Pretensioning	totale 1650 m
Pali di fondazione/	35 pz
Foundation piles	totale 750 m
Costi complessivi/	
Overall costs	CHF 30 mio.
Struttura grezza/	
Structural works	2010–2012
Inaugurazione/	
Opening	2014

**Committente/Owner**  
Ferrovie federali svizzere FFS SA,  
Lucerna; Alptransit Gottardo SA,  
Bellinzona  
**Architettura/Architect**  
Bruno Fioretti Marquez architetti  
Sagl, Lugano-Berlino  
**Ingegnere civile/Civil engineer**  
Borlini & Zanini SA, Montagnola  
**Impresa costruzioni/Contractor**  
CSC Impresa costruzioni SA, Lugano

of electrical cables and tubing within the concrete structure.

### Cantilevered box and shear walls

The upper part of the reinforced concrete structure ("cantilevered box") is prestressed with 60 straight post-tensioned cables with adherence (Fig. 4). They are arranged in three directions and were tensioned after completing the roof-slab. The pretensioning is carried out with an electric control system (type C), adopted as standard in bridge construction but quite unusual in buildings.

The roof on the control room in the "cantilevered box" is designed as a box girder bridge with four pretensioned longitudinal beams with a span of about 33 metres and a variable height from 1.80 to 3.30 metres (Fig. 5).

The roof slab has a thickness ranging from 25 to 35 cm and is shaped like a butterfly with a lower fold on the diagonal of the roof, used for the discharge of rainwater. The large volume of the "box" houses office rooms on the upper level, which are suspended from the roof with steel bars in order to leave the lower space completely free from any support and transparent from facade to facade. The loads acting on the cantilevered box are transferred to the lower "shaft" by means of four shear walls prestressed with vertical and horizontal cables. The position of the openings in these shear walls was studied very carefully, especially for the south facade, with a cantilever of 17 metres (Fig. 6). The east and west facades with large windows help to resist the torsion resulting from the two asymme-



Fig. 4  
Schema della precompressione della scatola superiore.  
Prestressing system for upper "cantilevered box".

grezza (Fig. 4). La precompressione è stata predisposta con un controllo elettrico (tipo C) equiparabile a quello impiegato nei ponti, ma non usuale nell'edilizia. La copertura della sala comando è simile a quella dei ponti a cassone, con quattro travi longitudinali precompresse di luce di ca. 33 m e di altezza variabile da 1,80 a 3,30 m. La soletta ha uno spessore variabile da 25 a 35 cm, ed è conformata a due falde con un compluvio sulla diagonale per il deflusso delle acque piovane. Gli uffici del sesto piano, inseriti nel grande volume della scatola superiore, sono sospesi alla copertura con tiranti d'acciaio, così da lasciare la sala comando libera da ogni appoggio e trasparente da facciata a facciata. (Fig. 5)

I carichi aggettanti della scatola superiore sono ripresi principalmente da quattro travi pareti trasversali rispetto al fusto e rinforzate con cavi di precompressione verticali e orizzontali. La dispo-

trical cantilevered parts of the building.

### Massive "shaft" and foundations

The lower part of the building, shaped like a solid shaft, houses the technical equipment, which is characterised by heavy loads. The flat slabs (35 cm) are supported by some internal columns up to the fourth floor. Massive perimeter walls, which uniformly distribute the forces to the foundations, are designed and constructed to withstand the mainly vertical load. Bespoke flag-shaped steel plates, provided with shear connectors (Fig. 7), are inserted in the walls at the interfaces with the cantilever boxes. They facilitate the transfer of the large concentrated forces from the boxes into the facade walls of the central building core.

The building is founded on a sandy-gravelly alluvial soil of good quality but not very consoli-

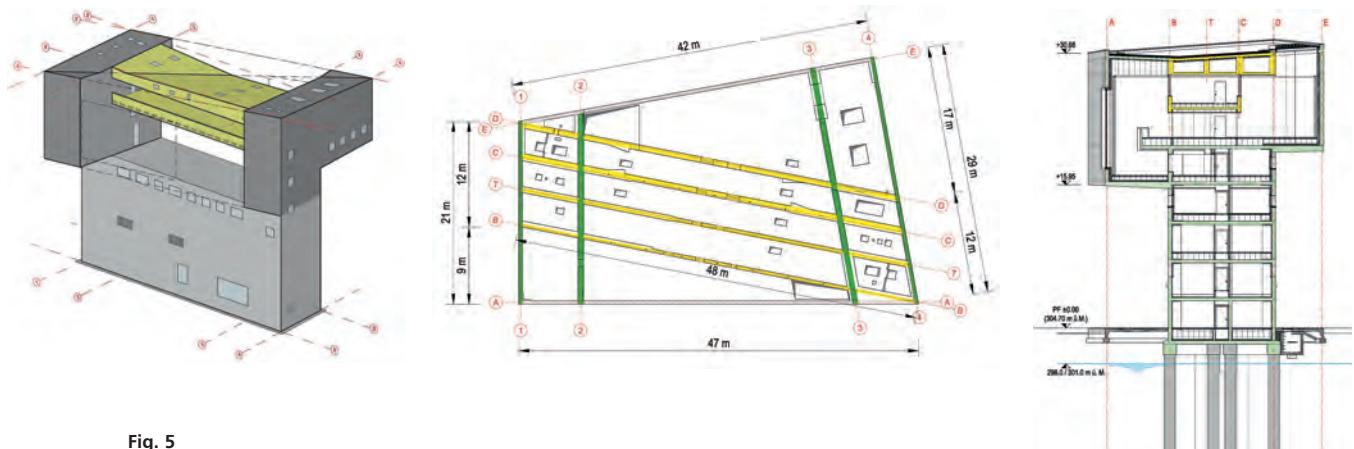


Fig. 5

Assonometria, pianta e sezione del sistema portante.  
Axonometry, horizontal and vertical sections of the structural system.

sizione delle aperture in queste travi è stata studiata attentamente, in particolare per la facciata sud che risulta a sbalzo per 17 m (Fig. 6). Le facciate con grandi vetrate a est e ovest contribuiscono ad equilibrare la torsione risultante dai due aggetti asimmetrici.

### Fusto inferiore e fondazioni

La parte inferiore dell'edificio è conformata come «fusto» massiccio e racchiude gli spazi riservati alla tecnica, dove sono previsti carichi utili elevati. Le solette piane di 35 cm prevedono fino al quarto piano delle colonne intermedie. La discesa dei carichi verticali avviene prevalentemente nelle pareti perimetrali del fusto, le quali essendo molto massicce, ripartiscono uniformemente le forze sulle fondazioni. In corrispondenza delle travi parete trasversali dei piani superiori sono inseriti degli appositi profilati a bandiera in acciaio con connettori, per garantire il passaggio delle grandi forze concentrate dalla scatola superiore al fusto (Fig. 7). L'edificio è appoggiato su terreno alluvionale ghiaioso-sabbioso di buona qualità ma poco addensato. Nel sottosuolo è presente acqua di falda già a partire da qualche metro sotto la superficie, perciò l'edificio è stato eseguito senza piani interrati, con un solo vano tecnico realizzato con calcestruzzo impermeabile.

dated. Groundwater is already present at a few metres below the surface, which is why the building was built without a basement and with only one technical compartment, made of waterproof concrete. The foundation system with bored piles of 1.2 metres in diameter, and with a length of about 22 metres, was preferred for several reasons: the very low, almost imperceptible differential settlements, which is significant for the cantilevered parts; the lower costs, if compared to a surface foundation; the limited space requirement, given that the construction site had to be arranged in a very small area. The loads of the two asymmetrical cantilevers counterbalance each other. The resultant vertical design force at the foundation level, approximately 37,000 kN, acts at precisely the centroid of the building shaft footprint.

### Seismic stability

In term of seismic design, the building is considered to be within category II and with reduced ductility. The seismic analyses of the structure were performed using the static equivalent method with horizontal forces of about 9% of vertical loads. Despite the particular shape of the building, the downward continuity of the principal walls allows a direct force flow to the foundations. A

Il sistema di fondazione con pali trivellati di diametro di 1,2 m e lunghezza di ca. 22 m è stato preferito per più motivi: non solo per gli assestamenti differenziali molto contenuti e impercettibili anche nelle parti aggettanti, ma anche per i costi più favorevoli rispetto alle fondazioni superficiali, e per la contenuta necessità di spazio; esigenza tutt'altro che trascurabile in un cantiere che ha dovuto essere organizzato in un'area ridottissima.

Globalmente i carichi dei due aggetti asimmetrici si controbilanciano e la risultante delle forze verticali complessive a livello di fondazione, pari a ca. 37 000 kN a dimensionamento, è posizionata sorprendentemente nel baricentro del fusto.

### Stabilità sismica

Per la sismica l'edificio è considerato con classe d'opera II e con duttilità ridotta: per il dimensionamento sono considerate forze sostitutive sismiche, pari a ca. il 9% dei carichi verticali. Nonostante la conformatore particolare dell'edificio, la continuità verso il basso dei corpi verticali ubicati alle due estremità dell'edificio permette un'ottimale ripresa e distribuzione delle sollecitazioni nel terreno. Un approfondimento specifico è stato eseguito per garantire la trasmissione delle forze orizzontali nel terreno attraverso

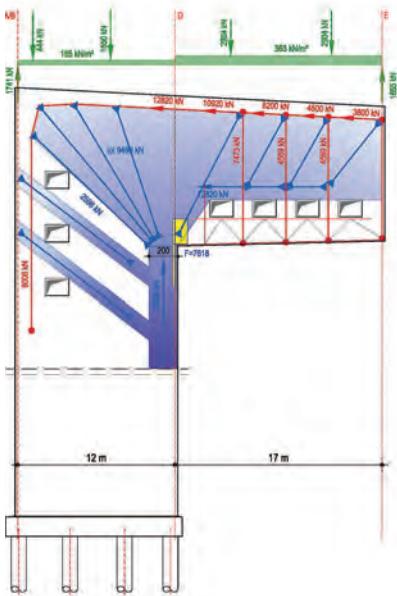


Fig. 6

Schema della trave parete a sbalzo con carichi e campi di tensione.  
Cantilevered shear wall with loads and stress fields.



Fig. 7

Elemento metallico a bandiera per introduzione delle forze concentrate.  
Steel flag-profile for introduction of concentrated forces.

specific study was carried out to guarantee the transmission of horizontal forces into the ground by the bending of the upper part of the foundation piles.

## Conclusions

"Structural engineering is the art of forming shapes that cannot be analysed in reality, with unknown materials, to face forces that cannot be evaluated, in such a way that all traces are invisible." The Periscope is well suited to this ironic definition by St. Kelsey, because of its complex structural concept. This project represents an important moment of professional growth for our firm, especially regarding the interdisciplinary work involved.

la flessione della parte superiore dei pali di fondazione.

## Conclusioni e ringraziamenti

«L'ingegneria strutturale è l'arte di formare con materiali che nella realtà non si conoscono, delle forme che nella realtà non si possono analizzare, per resistere a delle forze che nella realtà non si possono valutare, in modo tale che la gente non possa, nella realtà, sospettarlo.»

Questa ironica definizione di S. Kelsey ben si adatta al Periscopio, visto che non è semplice spiegare il suo concetto strutturale. Per il nostro studio si è trattato di un momento di crescita professionale importante, in particolare per il lavoro interdisciplinare svolto nel team di progetto. Ringraziamo in particolare la committenza, lo studio d'architettura e l'impresa costruzioni per la collaborazione proficua.

### Autrice/Author

Cristina Zanini Barzaghi  
Ing. civile dipl. ETHZ SIA OTIA  
Borlini & Zanini SA  
CH-6926 Montagnola  
info@cristinazanini.ch

# Structure porteuse de la manufacture au Locle

## Load-bearing structure of the factory at Le Locle

Jonathan Krebs, Philippe Menétry

### Introduction

Le groupe Richemont a construit une nouvelle manufacture au Locle. Le bâtiment est implanté en surplomb de la ville, sur un plateau naturel à près de 1000 mètres d'altitude. La situation générale du projet est présentée à la Figure 1. La manufacture a une emprise au sol de 85 m de longueur par 77 m de largeur et se développe sur trois niveaux pour une surface de plancher de 16 000 m<sup>2</sup>. Le rez-de-chaussée regroupe des parkings couverts et les espaces d'accueil, le premier étage est entièrement occupé par les espaces de production alors que les locaux administratifs et le restaurant se trouvent au dernier étage. Le centre du bâtiment accueille un vaste atrium arborisé servant de puits de lumière et intégrant les circulations verticales et les espaces de pause.

### Introduction

The Richemont group has built a new factory at Le Locle. The building is situated on a natural plateau, overlooking the town, at an elevation of nearly 1000 metres. The general situation of the project is shown in Figure 1. The footprint of the factory is 85 m long by 77 m wide and it is built on three levels, giving a floor area of 16,000 m<sup>2</sup>. The ground floor includes covered car parks and the reception areas, the first floor is entirely occupied by the production areas, while the administrative offices and restaurant are on the top floor. The centre of the building houses a vast atrium planted with trees and serving as a light well, which accommodates the stairways, lifts and rest areas. The large building is located on a hillock and its height has deliberately been limited so that it is

Maitre d'ouvrage/Owner  
Richemont International SA  
Architectes/Architects  
A&A Atelier d'Architecture  
Ingénieurs civils/Civil engineering  
INGPHI SA, Lausanne  
Entreprises de construction/  
Contractors  
LGB SA (terrassements et aménagements extérieurs/groundwork and exterior work)  
F. Piemontesi SA (béton armé/reinforced concrete)  
Freyssinet SA (précontrainte/pre-stressing)  
Hevron SA (charpentes métalliques/metal construction)

Le bâtiment de grande dimension se positionne sur une butte et sa hauteur a été volontairement limitée de telle sorte qu'il ne soit pas visible depuis la ville en contrebas. Cette contrainte a nécessité l'abaissement du niveau du radier d'une part et le développement de structures porteuses de faible épaisseur d'autre part.

### Matériaux et structure porteuse

Le projet de la manufacture du Locle est caractérisé par un grand nombre de contraintes qui ont influencé la conception de la structure porteuse. Outre la limitation de l'épaisseur des dalles, le sol de fondation sensible, la présence de radon, les grandes portées des zones de production, les charges utiles et de neige élevées, les délais de construction du gros œuvre limités à 10 mois et les objectifs financiers du maître de l'ouvrage sont à intégrer dans la conception.

Ce travail d'intégration a permis de concevoir un système porteur rationnel en béton armé et précontraint. Afin de simplifier la structure, il a notamment été décidé d'adapter la trame porteuse en fonction de l'utilisation des différents étages, soit des portées de l'ordre de 6 m au parking, jusqu'à 18 m dans les zones de pro-

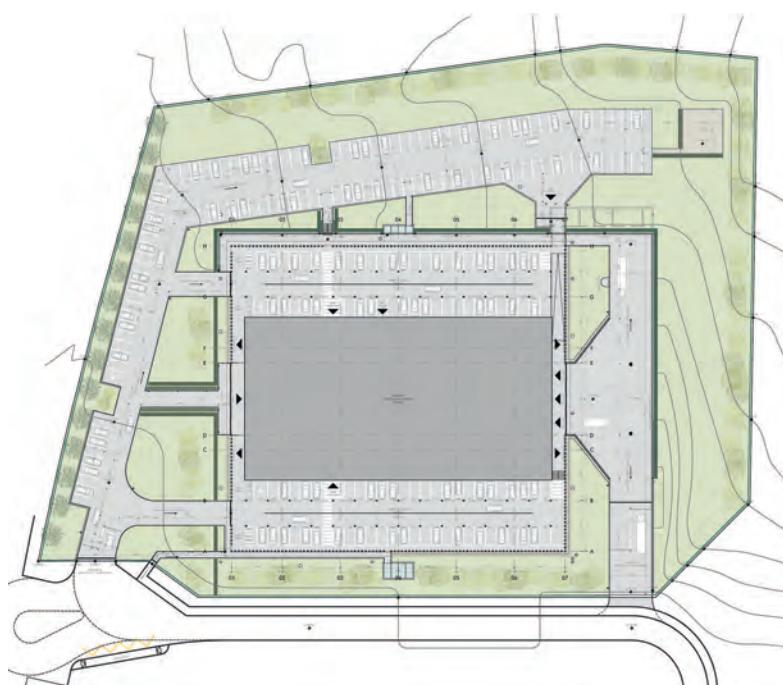
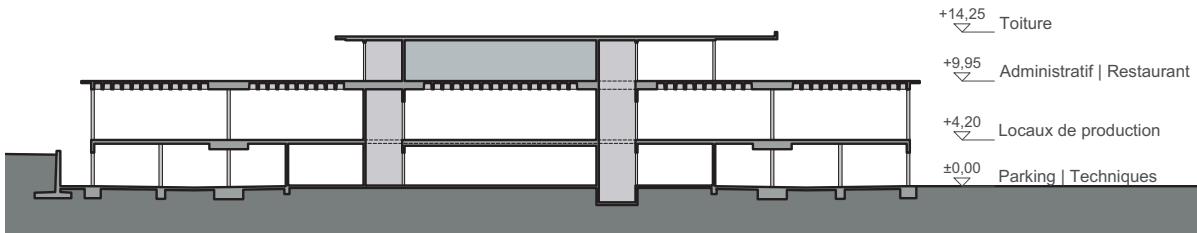


Fig. 1  
Situation générale du projet.  
General situation of the project.



**Fig. 2**  
Coupe transversale.  
Cross-section.

not visible from the town below. This constraint required, on the one hand, that the level of the raft was lowered and, on the other hand, the development of thin load-bearing structures.

## Materials and load-bearing structure

The Le Locle factory project is characterised by a large number of constraints that have influenced the design of the load-bearing structure. Apart from the limitation of the thickness of the slabs, the soft ground on which it is founded, the presence of radon, the large spans of the production areas, the high snow loading, the deadlines for completion of the structural work limited to 10 months and the financial targets of the client company had to be included in the design.

Taking all this into account led to the design of a rational load-bearing system in reinforced and prestressed concrete. In order to simplify the structure, it was decided, in particular, to adapt the load-bearing framework according to the use of the different floors, namely, spans of the order of 6 m in the parking area, up to 18 m in the production areas and up to 11 m on the top floor. The slab over the parking area and the roof slab were thus simplified and the major challenge of the project was concentrated in the slab over the production areas. The cross-section shown in Figure 2 illustrates the structural principles developed.

### Raft

The building is founded on a general raft reinforced by a grid of stringers resting on the molasse

duction et jusqu'à 11 m au dernier étage. Ainsi les dalles sur parking et de toiture ont été simplifiées et l'enjeu majeur du projet s'est concentré sur la dalle au-dessus des locaux de production. La coupe transversale présentée à la Figure 2 illustre les principes structurels développés.

### Radier

Le bâtiment est fondé sur un radier général renforcé par une grille de longrines appuyées sur la molasse de la vallée du Locle dont la portance est bonne.

Au-dessus des locaux habités, le radier fait office de barrière au radon. Il est réalisé sans joints de dilatation, son épaisseur est de 25 cm et ses armatures sont dimensionnées de manière à respecter les exigences accrues de fissuration afin que le béton puisse être considéré étanche.

Pour des questions de durabilité, le radier s'étend sous les parkings couverts limitant ainsi les risques liés aux tassements différentiels.

### Dalle de production

La dalle supportant l'étage de production reprend une charge utile de 1000 kg/m<sup>2</sup> nécessaire à l'exploitation de la manufacture. Afin d'en limiter la hauteur statique et d'en simplifier la construction, il a été décidé de réduire les portées à un maximum de 6,30 m et donc d'augmenter le nombre de piliers au parking. Ces mesures ont permis de limiter l'épaisseur de la dalle à 35 cm.

### Dalle sur production

La dalle sur l'étage de production est caractérisée par des grandes portées et des charges importantes de neige.

of the Le Locle valley, which has good load-bearing capacity.

The raft forms a radon barrier beneath the inhabited parts of the building above. It was produced without expansion joints, is 25 cm thick and its reinforcement is sized to meet the increased requirements with regard to cracking so that it can be considered leak-proof.

For reasons of durability, extends beneath the covered parking areas, thus limiting the risks arising from differential settlement.

### Production floor slab

The slab supporting the production floor supports a working load of 1000 kg/m<sup>2</sup>, required for the manufacturing operations. In order to limit its static height and simplify its construction, it was decided to reduce the spans to a maximum of 6.30 m and therefore increase the number of pillars in the parking areas. These measures enabled the thickness of the slab to be limited to 35 cm.

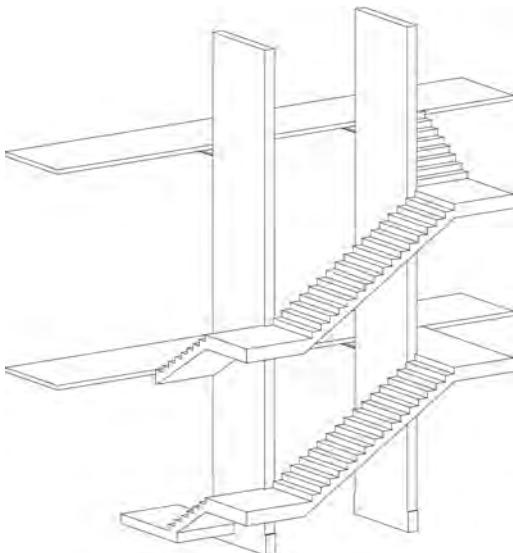
### Slab over production

The slab over the production floor is characterised by large spans and high snow loading.

### Roof slab

The roof slab covers spans varying from 5.40 m to 10.80 m. The large spans occur in the administrative offices, where the columns are integral with the partitions, and in the restaurant, which is free of any pillars. It was decided to retain a constant thickness of 35 cm and to manage the deformations in critical areas by means of pre-cambering.

To the south, the restaurant is prolonged by a large terrace, covered



**Fig. 3**  
Vue 3D de l'escalier central et des passerelles.  
**3-D view of the central stairway and the footbridges.**



**Fig. 4**  
Vue de l'atrium à la fin du gros œuvre.  
**View of the atrium on completion of the structural work.**

#### Dalle toiture

La dalle toiture franchit des portées variant de 5,40 m à 10,80 m. Les grandes portées se trouvent dans les locaux administratifs où les colonnes sont intégrées aux cloisons et dans le restaurant qui est libre de tout pilier. Il a été décidé de conserver une épaisseur constante de 35 cm et de gérer les déformations des zones critiques par la mise en œuvre de contre-flèches.

Au sud, le restaurant est prolongé par une grande terrasse couverte par une casquette en béton. Cette dernière est réalisée par la prolongation de la toiture qui est appuyée sur trois colonnes espacées de plus de 14 m. La rupture thermique est réalisée par des consoles isolantes de forte capacité développées pour le projet.

#### Structures de l'atrium

L'atrium central est le cœur du bâtiment. Il est marqué par un escalier monumental et des passerelles d'accès aux différents espaces de travail, par une grande verrière en toiture et des plantations majeures. L'escalier est composé de deux murs dans lesquels s'encastrent les volées d'escalier en porte-à-faux. La structure est entièrement monolithique, de telle sorte que les escaliers assurent le

by a concrete cap. The latter is provided by a prolongation of the roof that rests on three columns spaced by over 14 m. The thermal break is realised by means of high-capacity insulating consoles developed for the project.

#### Structures of the atrium

The central atrium is the heart of the building. It is marked by a monumental stairway and footbridges giving access to different work areas, by a large skylight roof and by major plantings. The stairway is composed of two walls on which the stair flights are cantilevered. The structure is entirely monolithic, such that the stairs provide bracing of the two walls. The two footbridges on the upper levels were realised with orthotropic steel slabs in order to limit their thickness to 16 cm for a total length of 14.40 m. The central stairway and the footbridges are illustrated in Figures 3 and 4.

contreventement des deux murs. Les deux passerelles aux étages ont été réalisées avec des dalles orthotropes en acier afin de limiter leur épaisseur à 16 cm pour une longueur totale de 14,40 m. L'escalier central et les passerelles sont illustrés aux Figures 3 et 4. La verrière est quant à elle composée de neuf cadres métalliques à sous-tension. Ces structures ont été développées de manière à franchir les 14,40 m du vide central tout en maximisant l'apport de lumière naturelle.

#### Dalle cassette précontrainte

La dalle sur l'étage de production est conçue pour porter bidirectionnellement sur des colonnes et des murs espacés de 12,60 m à 18 m, libérant ainsi des surfaces de plus de 200 m<sup>2</sup> de tout porteur. La structure a également été influencée par deux contraintes d'exploitation spécifiques au projet qui sont la création au plafond

#### The project in figures

Groundwork	40,000 m <sup>3</sup>
Reinforced concrete	11,000 m <sup>3</sup>
Reinforcing steel	1,500 t
Prestressing cables	23,500 m
Built volume	69,000 m <sup>3</sup>
Cost of structures	11 millions CHF

#### Le projet en chiffres

Terrassements	40 000 m <sup>3</sup>
Béton armé	11 000 m <sup>3</sup>
Acier d'armatures	1500 t
Précontrainte	23 500 m
Volume construit	69 000 m <sup>3</sup>
Coût des structures portées	CHF 11 millions



**Fig. 5**

Coffrage de la dalle cassette.

Formwork for the cassette slab.

As for the skylight, this consists of nine tensioned metal frames. These structures were developed to span the 14.40-m central void while maximising the amount of natural light.

### Prestressed cassette slab

The slab over the production floor is designed to bear in two directions on columns and walls spaced by 12.60 m to 18 m, thus freeing areas of more than 200 m<sup>2</sup> of any load-bearing support. The structure was also influenced by two operational constraints specific to the project, which are the creation beneath the ceiling of a service plenum 60 cm high and free of any structure and the need to easily cut openings in the event of a change in the fitting out of the production spaces. The fact is that these constraints exclude solutions of slabs with girders or thick, flat slabs, even if lightened.

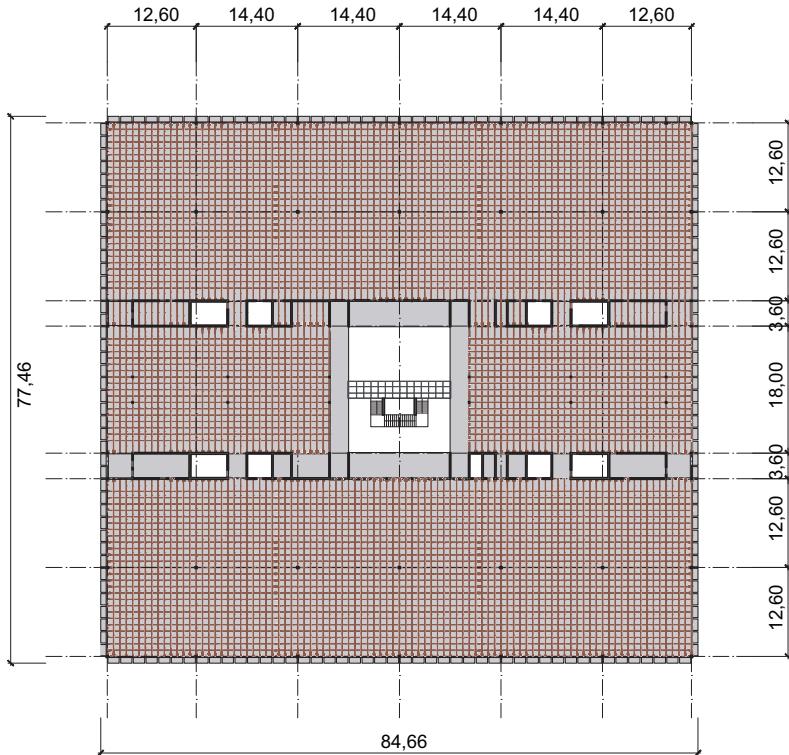
A cassette slab was developed in order to bridge the wide spans while limiting the static height. In addition, this solution, which consists in creating cavities in the underside of the slab, permits a structure without girders and creates areas of small thickness favourable to the creation of openings. The slab has a thickness of 75 cm

d'un plénium technique de 60 cm de haut libre de toute structure et la nécessité de pouvoir aisément réaliser des percements en cas d'évolution de l'aménagement des halles. En effet, ces contraintes excluent des solutions de dalles avec sommiers ou de dalles plates épaisse, même allégées. Une dalle cassette a été développée afin de franchir les grandes portées en limitant la hauteur statique. Cette solution, qui consiste à créer des évidements en sous-face de dalle, permet de plus de s'affranchir de sommiers et de créer des zones de faible épaisseur propices à la création de percements. La dalle a une épaisseur de 75 cm et les évidements de 70 cm x 70 cm x 53 cm sont espacés de 90 cm, créant une grille de nervures orthogonales. Le coffrage de la dalle est illustré à la Figure 5. Chaque nervure de 20 cm de large est précontrainte en face inférieure et supérieure. La précontrainte inférieure est composée d'un monotoron T15s de nuance d'acier Y1860S7-15.7 suivant un tracé rectiligne. La précontrainte supérieure, elle aussi rectiligne, varie en fonction des contraintes et est réalisée avec des monotorons et des câbles de deux torons T15s et quatre torons T15s tous de nuance d'acier

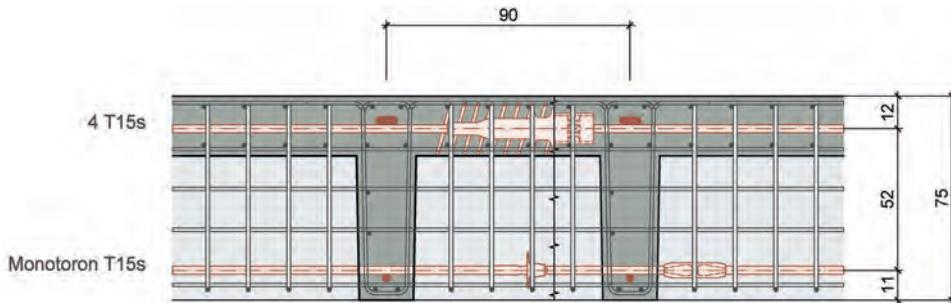
and the cavities are 70 cm x 70 cm x 53 cm, spaced by 90 cm, creating an orthogonal grid of ribs. The formwork for the slab is illustrated in Figure 5.

Each rib is 20 cm wide and prestressed on the upper and lower faces. The prestressing on the lower face consists of a single T15s strand of steel grade Y1860S7-15.7 along a straight line. The upper layer of prestressing, also in a straight line, varies according to the constraints and is implemented with single strands and cables of two T15s strands and four T15s strands, all of steel grade Y1860S7-15.7. The prestressing cables are shown in plan in Figure 6.

The 6500 m<sup>2</sup> were completed in nine stages of about 400 m<sup>3</sup> each, without working joints, and the whole of the prestressing was carried out with factory assembled cables, coupled to the concreting joints. The incorporation of the large number of cables in the slab and the relatively fine ribs required an in-depth study of the coupling and anchoring details of the prestressing, as illustrated in Figure 7. In order to keep them straight and as low as possible, the bottom-face single strands were coupled beyond the concreting joints to avoid any conflict



**Fig. 6**  
Vue en plan des câbles de précontrainte de la dalle cassette.  
**Plan view of the prestressing cables of the cassette slab.**



**Fig. 7**  
Tracé et détails de la précontrainte dans les nervures.  
**Line and details of the prestressing in the ribs.**

Y1860S7-15.7. Les câbles de précontrainte sont illustrés en plan à la Figure 6.

La dalle de 6500 m<sup>2</sup> est réalisée en neuf étapes d'environ 400 m<sup>3</sup> chacune sans joints de travail et l'ensemble de la précontrainte a été réalisée avec des câbles montés en usine et couplés aux joints de bétonnage. L'intégration de l'importante quantité de câbles dans la dalle et les nervures relativement fines a nécessité une étude approfondie des détails de couplage et d'ancre de la précon-

**with the perpendicular prestressing.**

The high concentration of prestressing not only ensures strength in mid-span and at the point of support but also reduces the minimum cracking reinforcement. In addition, the prestressing made it possible to limit the diameters of the reinforcement installed and to reduce the proportion of reinforcement of the slab to 125 kg/m<sup>3</sup>.

**With its bi-directional behaviour adapted to the arrangement of**

trainte, comme illustré à la Figure 7. Afin de garder un tracé sans déviations et le plus bas possible, les mono-torons inférieurs ont été couplés au-delà des reprises de bétonnage pour éviter tout conflit avec la précontrainte perpendiculaire.

La forte concentration de précontrainte dans la dalle permet non seulement d'assurer la résistance à mi-travée et sur appui mais également de diminuer l'armature minimale de fissuration. De plus, la précontrainte a permis de limiter les diamètres des armatures mises en place et de réduire le taux d'armature de la dalle à 125 kg/m<sup>3</sup>. La dalle cassette, par son comportement bidirectionnel adapté à la disposition des porteurs de la halle et grâce au recours à la précontrainte, a permis de franchir les portées conséquentes en gardant une hauteur statique raisonnable. De plus, les évidements ont permis une importante économie de matériaux puisque le volume total de béton correspond à celui d'une dalle pleine de 45 cm. Pour finir, une analyse comparative a permis de montrer que cette dalle a un comportement équivalent à une dalle plate de 55 cm. La dalle cassette représente donc une solution technique performante et économique pour le franchissement de grandes portées.

## Conclusion

La construction de la manufacture au Locle représentait un important défi, compte tenu de la nécessité de construire un bâtiment rationnel et économique dans un délai de 10 mois tout en intégrant un projet architectural ambitieux, et des contraintes particulièrement exigeantes.

La structure porteuse a ainsi été optimisée et une dalle cassette a été développée pour franchir les grandes portées, allant jusqu'à 18 m. Cette dalle cassette précontrainte a un réel intérêt technique et économique. De plus, son aspect est particulièrement intéressant pour des structures apparentes. Le travail en étroite collaboration entre le maître de l'ouvrage, les architectes et les ingénieurs a per-

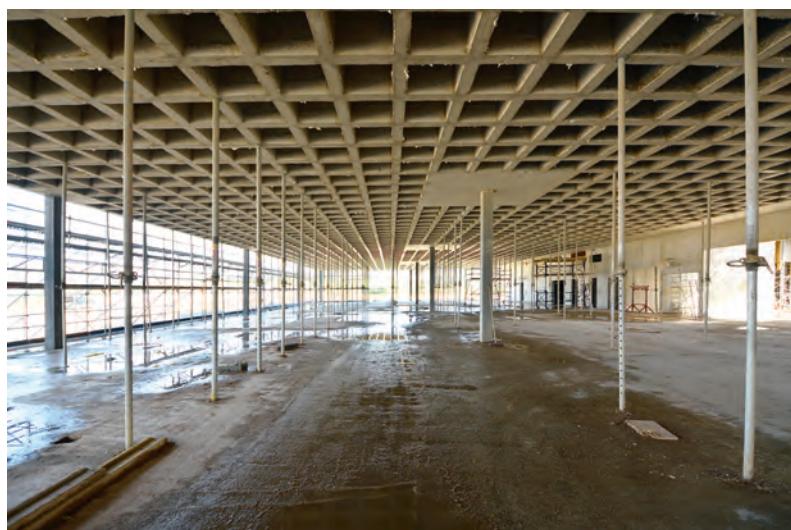
the load-bearing supports of the production area and thanks to the use of prestressing, the cassette slab was able to bridge considerable spans while keeping its static height within reasonable bounds. Furthermore, the cavities permitted major savings of materials, since the total volume of concrete corresponds to that for a plain slab of 45 cm. Finally, a comparative analysis showed that this slab has a behaviour equivalent to a flat slab of 55 cm. The cassette slab thus represents a solution for bridging wide spans with high technical and economic performance.

## Conclusion

The construction of the Le Locle factory presented a major challenge, given the need to construct a rational and economic building within 10 months, combining an ambitious architectural project and particularly demanding constraints.

The load-bearing structure was thus optimised and a cassette slab was developed to bridge wide spans of up to 18 m. This prestressed cassette slab is of real technical and economic interest. Furthermore, its appearance is particularly interesting for exposed structures.

The work, with close collaboration between the client, the architects and the engineers, led to a factory presenting a noble and elegant image that fits in with the undulating topography of Le Locle. The load-bearing structure sets free wide spaces, free of any columns, which illustrates the potential of structures in reinforced and prestressed concrete.



**Fig. 8**  
Vue de la dalle cassette après décoffrage.  
View of the cassette slab after removal of formwork.



**Fig. 9**  
Vue de la manufacture.  
View of the factory.

mis la réalisation d'une manufacture à l'image noble et élégante qui suit la topographie vallonnée du Locle. La structure porteuse a permis de libérer de grands espaces vierges de toutes colonnes, ce qui illustre le potentiel des structures en béton armé et précontraint.

### Auteurs/Authors

**Jonathan Krebs**  
ing. civil HES  
[jonathan.krebs@ingphi.ch](mailto:jonathan.krebs@ingphi.ch)

**Philippe Menétrey**  
Dr ès techn. ing. dipl. EPFL  
[phm@ingphi.ch](mailto:phm@ingphi.ch)

**INGPHI SA**  
Concepteurs d'ouvrages d'art  
CH-1003 Lausanne

# Uffici Unterstrasse, San Gallo Unterstrasse offices, St. Gallen

Andrea Pedrazzini, Eugenio Pedrazzini, Roberto Guidotti



Fig. 1  
Facciata lungo la Unterstrasse.  
Façade along Unterstrasse.  
(© Roger Frei)



Fig. 2  
Vista interna dell'open-space.  
Internal view of the open-space offices.  
(© Roger Frei)

## Introduzione

Per la nuova sede della ditta Namics si è costruito un nuovo edificio in una parcella libera nel mezzo del quartiere del ricamo di San Gallo protetto dai monumenti storici. Molti degli edifici esistenti, costruiti attorno al 1910 per ospitare gli atelier della fiorente industria del ricamo, sono stati concepiti da Robert Maillart con una struttura a scheletro in calcestruzzo armato celata da facciate in muratura. Questo principio è stato ripreso anche per il nuovo edificio d'uffici, dove una struttura in calcestruzzo armato precompresso, caratterizzata da dei solai a struttura pieghettata, è stata rivestita da facciate in muratura di laterizio. L'edificio è composto da 7 livelli (2 seminterrati e 5 fuori terra): il livello più basso accoglie i locali tecnici e delle sale di riunione; i 5 livelli centrali sono degli open-space e all'ultimo livello si trova un ristorante con due ampie terrazze. Tutti questi spazi sono situati fra due nuclei posti agli estremi che accolgono le circolazioni verticali e alcuni lo-

## Introduction

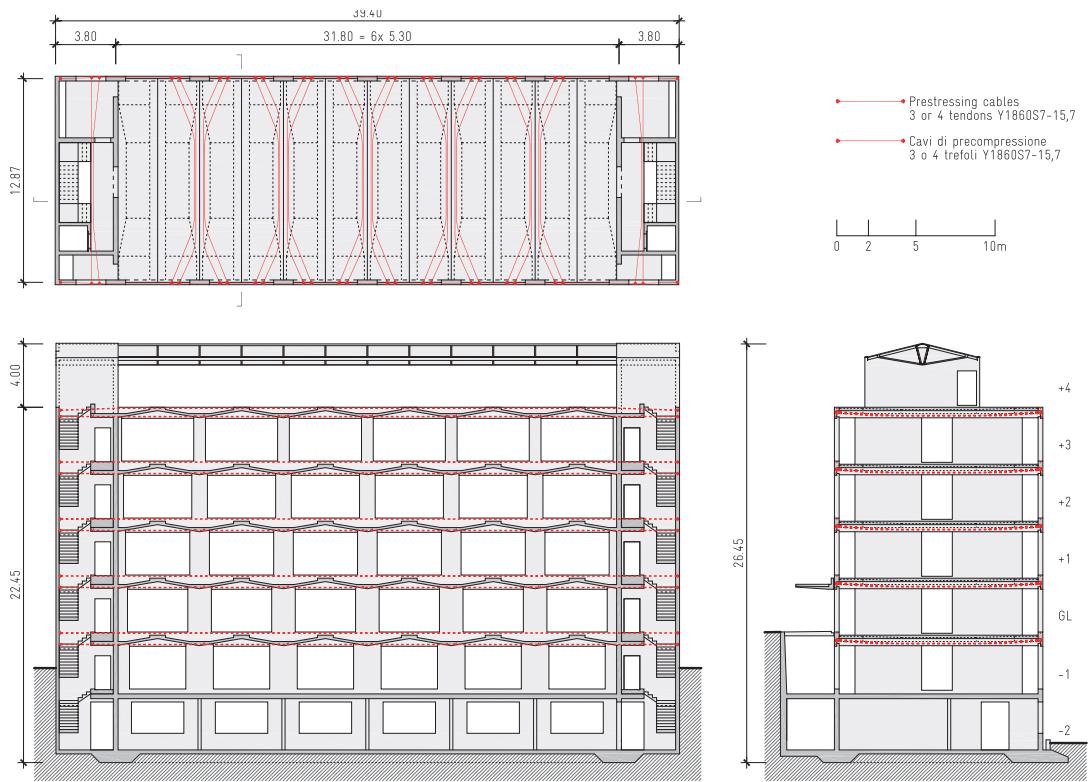
For the new Namics firm headquarters, a new building was built in a free parcel in the middle of the embroidery quarter of St. Gallen, surrounded by historical monuments. Many of the existing buildings, built around 1910 to host the ateliers of the booming embroidery industry, were designed by Robert Maillart with reinforced concrete frames enveloped by brick façades. This principle was also used for the new office building, where a pre-stressed reinforced concrete frame, featuring folded plate slabs, was covered with brick façades. The building is made up of 7 levels (2 basements and 5 above ground): the lowest level contains the technical rooms and meeting rooms, the 5 main levels are open-space offices, and on the top level there is a restaurant with large terraces. All these spaces are situated between two utility cores located at the sides which house the vertical circulations and some service rooms (WCs and break rooms). On the lower level, the long side of

cali di servizio (WC e sale pausa). L'edificio è poi completato, al livello inferiore, da una fascia, disposta lungo il lato lungo, per i locali tecnici.

Meritevole di citazione è il riferimento al solaio di copertura del museo di arte di San Paolo (MASP) in Brasile, simile nella sua espressione al solaio pieghettato che caratterizza l'edificio del presente articolo, anche se strutturalmente funziona in maniera differente. Il nome dato al progetto di concorso, Lina, è un omaggio all'architetto italo-brasiliana Lina Bo Bardi autrice del MASP.

## Considerazioni strutturali

La struttura, quasi completamente realizzata in calcestruzzo armato precompresso, è caratterizzata da solai a struttura pieghettata e di spessore moderato che portano trasversalmente su tutta la larghezza dell'edificio (12,87 m) liberando completamente, da ogni struttura portante verticale, la superficie degli open-space. La struttura è poi completata da una soletta piana che copre il livello



**Fig. 3**

Geometria della struttura dell'edificio: pianta piano tipo, sezione longitudinale e sezione trasversale.  
Geometry of the structure of the building: standard floor plan, longitudinal section and transversal section.

the building is completed with a row of technical rooms.

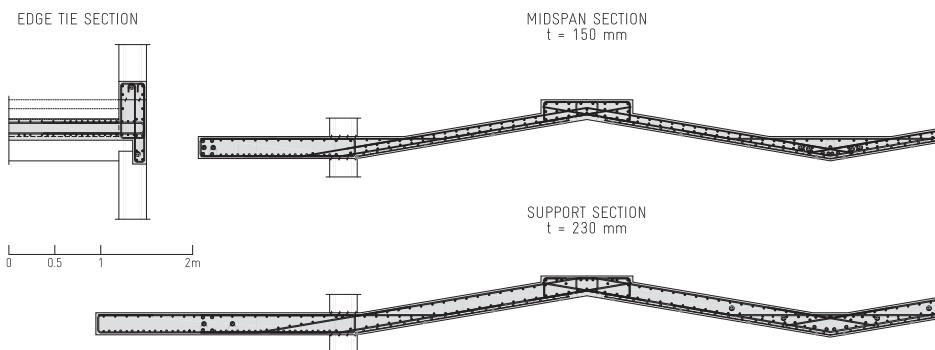
The reference to the roof structure of the art museum of São Paulo (MASP) in Brazil is worth noting, as it is similar in its expression to the folded plate structure of the building in this article, although it has a different structural function. Lina, the name given to the competition project, is an homage to the Italo-Brazilian architect Lina Bo Bardi, who designed the MASP.

### Structural considerations

The structure, made almost completely of prestressed reinforced concrete, features moderately thick folded plate slabs that bear the load transversally along the width of the building (12.87 m), completely freeing the open-space office areas from all vertical structural elements. The structure is then completed by a flat slab covering level -2, by a metal box girder with ribs covering level +4, by a series of transversal walls and by two series of frames that constitute the main façades of the building.

-2, da una trave metallica a cassone con delle costolature che coprono il livello +4, da una serie di pareti in direzione trasversale e da due serie di telai che costituiscono le facciate principali dell'edificio. Ognuno dei 5 solai pieghettati è composto da 6 onde di 5,30 m di larghezza con un'altezza totale di 66 cm. Questa serie di onde è compresa tra due solette piane orizzontali – di spessore 24 cm e larghezza efficace ca. 1,40 m – che compongono i solai delle zone delle circolazioni verticali e di servizio. Questo sistema è appoggiato sulle due pareti trasversali che separano la zona centrale (open-space) dalle due zone esterne e sui piedritti delle due facciate principali. La presenza agli estremi della parte pieghettata delle solette piane e del tirante permette di migliorare sensibilmente il comportamento trasversale della parte pieghettata in quanto, garantendo un appoggio orizzontale alle onde di bordo, si può instaurare un sistema «ad arco» che limita gli sforzi di flessione trasversale. La necessi-

Each of the 5 folded slabs is made up of 6 waves 5.30 m wide with a total height of 66 cm. This series of waves is inserted between two horizontal slabs – 24 cm thick, with an effective width of approx. 1.40 m – which make up the vertical circulation and service zone floors. This system rests on two transversal walls that separate the central (open-space) zone from the two external zones and on the pillars of the two main façades. The lateral slabs and ties at the ends of the folded slab make it possible to significantly improve the transversal behaviour of the folded part because an “arch” system can be established which limits the transversal bending forces, guaranteeing horizontal support of the waves at the edge. The need for sufficient stress-resistant material necessitated changing the wave thickness from 15 cm in the middle of the span to 23 cm at the supports (tension fields of the compressed diagonals). For the same reason, ribbing was also added on the crest (compressed chord) and on



**Fig. 4**  
Dettaglio della geometria e dell'armatura del solaio pieghettato.  
Detail of the geometry and reinforcement of the folded plate.



**Fig. 5**  
Costruzione di un solaio pieghettato.  
Construction of a folded plate.



**Fig. 6**  
Vista delle armature del solaio pieghettato.  
View of the reinforcement of the folded plate.

tà di disporre sufficiente materiale per resistere agli sforzi ha portato a variare lo spessore delle onde dai 15 cm a metà campata ai 23 cm in corrispondenza degli appoggi (campo di tensione delle diagonali compresse). Per la medesima ragione, si sono inoltre aggiunte delle nervature sulla cresta (corrente compresso) e sul ventre (corrente teso) delle onde. Al fine di contenere le dimensioni del corrente teso inferiore e per migliorare il comportamento allo stato limite di servizio dei solai (deformazioni e assenza di fessure per il caso di carico frequente), si è deciso di introdurre una precompressione per post tensione in tutti gli elementi della struttura pieghettata. Questa precompressione è stata eseguita mediante cavi da 3 o 4 trefoli di 150 mm<sup>2</sup> (Y1860S7-15,7) con aderenza: 4 cavi da 4 trefoli ad andamento poligonale per ogni onda; 2 cavi da 3 trefoli, 1 ad andamento rettilineo ed 1 ad andamento poligonale per ogni soletta piana laterale e 2 cavi da 3 trefoli per ogni tirante di facciata. La messa in tensione della precompressione è stata eseguita in un'unica tappa per ogni piano a circa 14 giorni dal getto del solaio pieghettato.

La particolare struttura offre ampi spazi per la distribuzione ed il passaggio della tecnica (elettricità, network, sanitario, riscaldamento e ventilazione) sotto il pavimento tecnico presente all'interno degli open-space. Il riscaldamento e il raffreddamento dei locali è garantito da un impianto TABS (Thermally Activated Building Systems). La rete di tubi è stata posta nel copriferro inferiore dei solai pieghettati aumentato a 50 mm per questo scopo. Le pareti e i telai di facciata partecipano, assieme ai solai che formano i diaframmi orizzontali, alla stabilità dell'edificio e alla ripresa delle spinte orizzontali incastrandosi nella platea di fondazione. Le azioni indotte dal sisma sono contenute grazie alla leggerezza dei solai, per cui i telai di facciata sono poco sollecitati e relativamente grandi aperture sono possibili.

**Committente/Owner**  
ASGA Pensionskasse, San Gallo  
**Impresa generale/General contractor**  
Dima & Partner, Glarona  
**Architetto/Architect**  
Corinna Menn, Zurigo  
Mark Ammann Architekten, Zurigo  
**Ingegnere civile/Civil engineer**  
Ingegneri Pedrazzini Guidotti, Lugano  
Borgogno Eggenberger + Partner,  
San Gallo

the trough (tension chord) of the waves.

In order to limit the dimensions of the lower tension chord and to improve the behaviour at the serviceability limit state of the floors (deformations and absence of cracks in the case of frequent loads), it was decided to introduce a prestress for post-tension in all the elements of the folded plate structure. This prestress was applied using cables with 3 or 4 strands of  $150 \text{ mm}^2$  (Y1860S7-15.7) with adherence: 4 cables with 4 strands with polygonal course for each wave; 2 cables with 3 strands, 1 with straight course and 1 with polygonal course for each lateral slab and 2 cables with 3 strands for each façade tie. The cables were tensioned in a single step for each floor about 14 days after casting the folded slab.

The special structure offers ample space for distributing and passing technical services (electricity, networks, sanitary, heating and ventilation) under the technical floor in the open-space offices. Room heating and cooling is ensured by a TABS (thermally activated building system). The pipe network was placed in the lower cover of reinforcement of the folded slabs (increased to 50 mm for this purpose).

The façade walls and frames, together with the floors that form the horizontal diaphragms, contribute to the stability of the building and to resisting the horizontal actions being embedded into the ground slab. Earthquake effect is contained because of the lightness of the floors, so the façade frames are not significantly stressed and relatively large openings are possible.

L'edificio è fondato superficialmente su una platea di fondazione che presenta degli irrigidimenti in corrispondenza degli elementi portanti verticali maggiormente sollecitati. Il livello di questo elemento è scelto in modo da garantire un'altezza, sotto il pavimento tecnico del livello -2, sufficiente al passaggio dei condotti delle distribuzioni principali.

L'ingombro della costruzione del 4° livello, per questioni legislative, deve essere arretrata rispetto ai piani inferiori. La sua copertura non può quindi appoggiarsi sulle facciate principali e, in quanto il solaio sul 3° piano non è sufficientemente resistente e rigido per sopportarne il peso, si è deciso di trasmettere i carichi nel senso longitudinale dell'edificio. Questo ha richiesto la costruzione di una trave scatolare a sezione trapezoidale in acciaio di lunghezza totale pari a 39,45 m che appoggia sui 4 assi portanti trasversali. A questa trave sono agganciate delle costolature che sostengono la struttura del tetto.

### Costruzione e materiali

Le fasi di costruzione dei solai a struttura pieghettata prevedevano la casseratura su tutta la superficie del piano dopo la costruzione delle pareti e dei piedritti di facciata del corrispettivo livello. Questi elementi erano composti da casseforme in legno pre-assemblate in elementi di dimensione massima  $2,65 \times 3,90$  m che sono stati riutilizzati per i 5 livelli. In seguito, si procedeva alla posa delle condotte dei TABS nello spessore del coprifero inferiore, alla posa della maglia d'armatura inferiore, dei cavi di precompressione e al completamento delle armature. Infine, si eseguiva il getto in tre tappe distinte per ogni livello: la prima tappa comprendeva metà del solaio (una fascia di soletta piana e tre onde), la seconda il completamento del solaio e la terza la parte superiore del tirante di facciata. Dopo due settimane circa i cavi di precompressione venivano messi in tensione ed iniettati in un'unica tappa. In seguito si procedeva alla



**Fig. 7**  
Dettaglio delle armature di un'onda del solaio pieghettato.  
Reinforcement detail of a wave of the folded plate.

The building is founded shallowly on a ground slab that is more rigid in correspondence with the most solicited vertical load-bearing elements. The level of this element was chosen to guarantee a height, under the technical floor of level -2, sufficient to pass the conduits of the main distributions.

The floor space of the 4th-level construction, owing to legislative constraints, must be set back with respect to the lower floors. Its roof, therefore, cannot be supported by the main façades and, as the 3rd-floor structure is not sufficiently resistant and rigid to support the weight of it, it was decided to transmit the loads longitudinally along the building. This required constructing a 39.45 m long steel box girder with a trapezoidal section that rests on the 4 transversal load-bearing axes. Ribs that support the roof are hooked onto this girder.

### Construction and materials

Constructing the folded slabs involves formwork on the entire floor area after constructing the walls and façade pillars of the respective level. These elements were made up of pre-assembled timber formwork with maximum dimensions of  $2.65 \text{ m} \times 3.90 \text{ m}$ ,



**Fig. 8**  
Rappresentazione della struttura dell'edificio Unterstrasse.  
Representation of the structure of the Unterstrasse building.  
(© Mark Ammann featuring Max Bill)

which were reused for the 5 levels. Subsequently, the TABS conduits were laid inside the lower cover of reinforcement, along with the lower reinforcement mesh and the precompression cables, and the reinforcements were completed.

Finally, the casts were made in three distinct steps for each level: the first step comprised half the floor structure (a lateral slab and three waves); the second, the completion of the floor structure and the third, the upper part of the façade ties. After about two weeks, the prestressing cables were tensioned and injected in a single step. Subsequently the formwork was removed and directly mounted on the floor above. Props were put in place to redistribute the weight of the fresh concrete during the cast of the following level.

The concrete used for the construction of the entire structure is a vibrated concrete with a resistance class of C30/37 and a maximum granulometry of 32 mm. The consistency of the fresh concrete used for the folded slabs was chosen to enable the cast of the sloping extrados (approx. 17%) without using counter-formwork. The reinforcing steel is of class B500B, and the structural steel is class S355. The average structural thickness of the folded slabs, excluding the expanded thickness of 3 cm to make room for the TABS, is 18.5 cm; the content of reinforcement is 54 kg/m<sup>2</sup>, to which must be added 3 kg/m<sup>2</sup> of prestressed reinforcement steel.

rimozione delle casseforme, che erano direttamente montate al piano superiore e alla posa di una puntellazione necessaria alla ridistribuzione del peso del calcestruzzo fresco durante il getto del livello seguente.

Il calcestruzzo utilizzato per la costruzione dell'intera struttura portante è un calcestruzzo vibrato con una classe di resistenza C30/37 e con una granulometria massima degli inerti di 32 mm. La consistenza del calcestruzzo fresco utilizzato per i solai pieghettati è stata scelta in modo da permettere il getto dell'estradosso in pendenza (ca. 17%) senza l'utilizzo di controcasseri. L'acciaio d'armatura è di classe B500B e quello della carpenteria metallica S355. Lo spessore medio strutturale dei solai pieghettati, escluso il maggior spessore di 3 cm per far posto ai TABS, corrisponde a 18,5 cm; il contenuto di armatura lenta è di 54 kg/m<sup>2</sup> a cui si aggiungono 3 kg/m<sup>2</sup> di acciaio da precompressione.

#### Autori/Authors

**Andrea Pedrazzini**  
Ing. civile dipl. ETHZ SIA OTIA

**Eugenio Pedrazzini**  
Ing. civile dipl. ETHZ SIA OTIA

**Roberto Guidotti**  
Dr Ing. civile dipl. EPFL SUP OTIA

ingegneri pedrazzini guidotti sagl  
CH-6900 Lugano  
ingegneri@ing-ppg.ch

# Helsinki Dreispitz – massive und unabhängige Fassade

## Helsinki Dreispitz – solid and independent facade

Nico Ros, Christian Rudin



Fig.1

«Helsinki Dreisitz» inmitten des Industrie-Areals.  
“Helsinki Dreispitz” in the middle of the industrial area.

### Einleitung

Durch seine grossflächige Sichtbetonfassade fügt sich das Lager-, Büro- und Wohnhaus sehr gut in das Dreispitz-Areal ein, das sich vom Industriegebiet mit geschlossener Zollfreizone zum Wohn- und Gewerbequartier wandelt. Von Herzog & de Meuron initiiert und entwickelt, ist «Helsinki Dreispitz» eines der ersten Wohngebäude auf dem industriell geprägten Areal.

Das Gebäude an der Helsinkistrasse in Münchenstein bei Basel umfasst Wohnungen sowie von Herzog & de Meuron genutzte Büroräume und Lagerflächen für die umfangreichen Archive des Architekturbüros. Die Form der Parzelle und auch des Gebäudes ergibt sich aus dem gekrümmten Verlauf der als Zeitzeugen erhaltenen Bahngleise (Fig. 1).

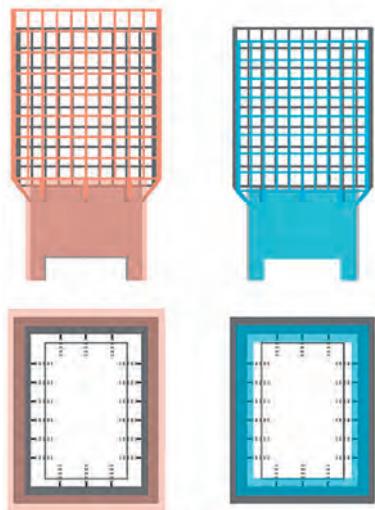
### Introduction

Thanks to its large-scale exposed-concrete facade, this storage, office and residential building fits in very well on the Dreispitz site, which is transforming from an industrial area with a closed-off duty-free depot into a residential and commercial neighbourhood. Initiated and developed by Herzog & de Meuron, “Helsinki Dreispitz” was one of the first residential buildings in this industrially oriented area.

The building, on Helsinkistrasse in Münchenstein near Basel, accommodates flats as well as office space used by Herzog & de Meuron, along with storage space for this architectural office's extensive archives. The shape of the plot and of the building itself results from the curve of the railway tracks, which have been preserved

### Architektonisches Konzept und gestalterischer Ausdruck

Der Bau gliedert sich in einen Sockel mit Lager- und Ausstellungsräumen und einen darüberliegenden Wohn- und Bürobau. Der überwiegend geschlossene Sockel folgt im Umriss dem bestehenden Gleistrasse, der Aufbau dem zulässigen Lichtraumprofil. Wegen seiner Lage im ehemaligen, noch immer stark gewerblich genutzten Zollfreilager hat das Gebäude die Struktur und den Ausdruck eines geometrischen Stahlbetonkörpers erhalten. Bereits in der Entwurfsphase – ZPF Ingenieure waren von Anfang an in das Projekt involviert – war die Stärke des Übergriffs des oberen in den unteren Körper, also ob die Körper starr durch eine Abfangdecke getrennt oder durch Stre-



**Fig. 2**  
Temperaturverhalten im Sommer (links) und im Winter (rechts). Ansicht und Schnitt auf Höhe des Rings.  
Temperature behaviour in summer (left) and winter (right). View and section at ring level.

as witnesses of times gone by (Fig. 1).

### Architectural concept and creative expression

The building is divided into a base, with storage and exhibition spaces, and a residential and office structure above. The outline of the largely closed-off base follows the existing railway tracks, while the upper structure adheres to the permissible clearance. Due to its location in a former duty-free depot that is still heavily used for commercial purposes, the building has been given the structure and look of a geometric reinforced concrete body. ZPF Ingenieure was involved in the project from the very start. Already during the design phase, the extent of the upper body's encroachment into the lower body, namely whether the bodies should be rigidly separated by a retaining slab or interconnected by braces, was the subject of much discussion. The chosen option discreetly joins the two elements with braces in the transition zone, where the vertical facade loads from the upper floors are transferred to the base.

ben miteinander verbunden werden sollten, ein viel diskutiertes Thema. Die gewählte Variante verbindet beide Teile dezent durch Streben im Übergangsbereich, wo die vertikalen Fassadenlasten aus den Obergeschossen in den Sockel eingeleitet werden. Die Fassade ist als fugenlose, selbsttragende Stahlbetonfassade konzipiert, die grösstenteils unabhängig vom Gebäudeinneren funktioniert.

### Tragwerk

Ausgehend vom annähernd trapezförmigen Grundriss mit Abmessungen von rund  $43 \times 17/28$  m im Erdgeschoss besteht das «Helsinki Dreispitz» aus zwei unterirdischen Geschossen, vier Sockelgeschossen und acht Büro- und Wohngeschossen, die von einem Betonfassadengitter, dem Grid, umgeben sind. Die Stockwerkshöhe beträgt 3,15 m in den Lagergeschossen (UG und Sockel) und 2,84 m in den Geschossen 4 bis 11. Auf dem gut tragfähigen Niederterrassenschotter wurde das Gebäude durch eine Bodenplatte (minimal 25 cm) mit Einzelfundamentvertiefungen (max. 90 cm) flach fundiert.

Die Tragstruktur besteht aus einem Betonskelett mit Flachdecken, gelagert auf Stützen und Tragwänden im Kernbereich sowie an der Nord- und Südseite des Sockels. Die horizontale Aussteifung erfolgt durch diese U-förmigen Tragwände auf der Nord- und

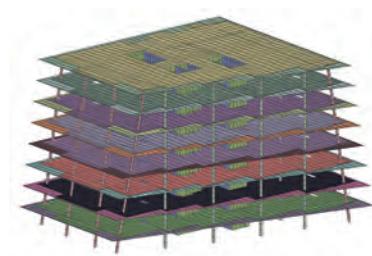
The facade is conceived as a seamless, self-supporting, reinforced-concrete facade, the functioning of which is largely independent of the building's interior.

### Load-bearing structure

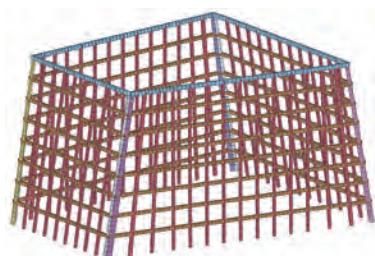
Emanating from an almost trapezoidal footprint with dimensions of around  $43 \times 17/28$  m on the ground floor, "Helsinki Dreispitz" comprises two underground floors, four base floors and eight office or residential floors that are surrounded by a concrete facade grid. The storey height is 3.15 m on the storage floors (underground and in the base) and 2.84 m on floors 4 to 11.

On the fluvial terrace's sediment, which has good load-bearing capacity, the building was given a shallow foundation consisting of a foundation slab (minimum 25 cm) with individual areas where the foundation is deeper (maximum 90 cm).

The support structure consists of a concrete skeleton with flat slabs, resting on columns and load-bearing walls in both the core area and on the northern and southern sides of the base. The horizontal reinforcement is provided by these U-shaped load-bearing walls on the northern and southern sides, as well as by the in-situ-concrete cores installed between the third floor slab and the foundation slab. The flat, in-situ-concrete slabs have a maxi-



**Fig. 3**  
Überbau mit acht Stockwerken als Stahlbetonskelett, OG4 bis OG11.  
Upper structure with 8 floors as reinforced-concrete skeleton, floors 4 to 11.



**Fig. 4**  
Fugenloses Fassaden-Grid aus Sichtbeton, OG4 bis OG11.  
Seamless exposed-concrete facade grid, floors 4 to 11.

Südseite und durch die Ortbetonkerne, die zwischen der Decke OG3 und der Bodenplatte eingespannt sind. Die Ortbetonflachdecken haben eine Spannweite von max. 7,50 m x 6,90 m, mit einer Deckenstärke von 26 cm in den Wohn- und Bürgeschosseen und 30 cm in den Lagergeschosßen. Die innenliegenden Stützen aus Schleuderbeton haben einen Durchmesser von 30 cm in den Wohngeschossen und von 50 cm im Sockel.

Auch die umlaufenden Balkone mit einer Breite von 0,6 bis 3,4 m sind in Ortbeton hergestellt, thermisch von den Decken getrennt. Die Fassade ist über eine 25 mm breite Fuge von den Balkonen abgekoppelt. Die Balkonplatten sind in einem Abstand von maximal 8 m dilatiert.

Das Fassadengrid besteht aus tailierten Fassadenstützen und Riegeln in Ortbeton, mit Stützenabmessungen von 30 x 30 cm bis 83 x 30 cm, Riegeln mit 46 cm Höhe, und der 76 cm hohen Betonbrüstung im 4. Obergeschoss, die eine besondere Funktion in der selbsttragenden Fassade hat. Das Tragwerk funktioniert als steife Sockelbox (UG2 bis OG3), in der die Kerne der Obergeschosse 4 bis 11 eingespannt sind. So widerspiegelt der äußere Ausdruck die innere Funktionsweise. Dank der Einspannung im Sockel wurden die Gebäudekerne sehr schlank ausgeführt, da sie lediglich die

mum span width of 7.50 x 6.90 m, with a slab thickness of 26 cm on the residential and office floors and 30 cm on the storage floors. The interior columns of spun concrete have a diameter of 30 cm on the residential floors and 50 cm in the base.

The surrounding balconies with widths of 0.6 to 3.4 m are also made of in-situ concrete, thermally isolated from the slabs. The facade is separated from the balconies by a 25 mm gap. The balcony slabs are distributed at intervals of up to 8 m. The facade grid consists of tapered, in-situ-concrete facade columns and beams, with column dimensions of 30 x 30 to 83 x 30 cm, beam thicknesses of 46 cm and the 76-cm concrete balustrade on the fourth floor, which performs a special function within the self-supporting facade. The load-bearing structure functions as a rigid base box (from the second underground floor to the third upper floor) in which the cores of floors 4 to 11 are held in position. Thus, the external expression reflects the internal functions. Being firmly held in the base, the building cores could be made very slim, as they only reinforce the seven upper storeys. From the fourth floor upwards, the fourth core was left out, so as to generate extra living space on each storey. Unlike the building's base, the upper floors were designed to be

**Bauherrschaft/Owner**  
EG Basel Dreispitz, St. Gallen

**Tragwerksentwurf und -planung,**

**Projekt und Bauleitung/**

**Structural design and planning,**

**project and site management**

ZPF Ingenieure AG, Basel

**Architektur/Architecture**

Herzog & de Meuron Basel Ltd., Basel

**Ausführung/Contractor**

ARGE Implenia Bau AG,

Spaini Bau AG, Basel

#### Projektdaten/Project data

Realisierung/realisation 2012–2014

Grundstücksfläche/Site area 1488 m<sup>2</sup>

Geschossfläche/Floor area 12187 m<sup>2</sup>

Grundfläche/Footprint 991 m<sup>2</sup>

Länge/Length

43 m

Breite/Width

28 m

Höhe/Height

40 m

sieben oberen Stockwerke austiefen. Ab OG4 entfällt der vierte Kern, sodass pro Etage ein zusätzlicher Wohnraum generiert werden konnte. Im Gegensatz zum Gebäudesockel wurden die Obergeschosse so weich wie möglich konzipiert, um die Erdbebenkräfte gering zu halten.

#### Fassade

Alle Wohn- und Bürgeschosse verfügen über einen umlaufenden Balkon hinter dem Grid. Die fugenlose Stahlbetonfassade verformt sich infolge Schwindens um ca. -0,03% und infolge Temperaturschwankung um ca. ±0,02%, wir sprechen also von vertikalen Bewegungen von +8 mm und -21 mm und von horizontalen Bewegungen von +10 mm und



Fig. 5

Innere Tragstruktur des Sockels mit zwei Unter- und vier Obergeschossen.  
Base's interior support structure with two floors below ground and four above.

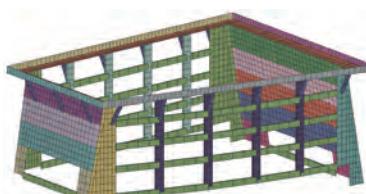


Fig. 6

Oberirdische, fugenlose Sockelfassade mit Ring am Boden des OG4.  
Seamless above-ground base facade with ring at the bottom of the 4th floor .

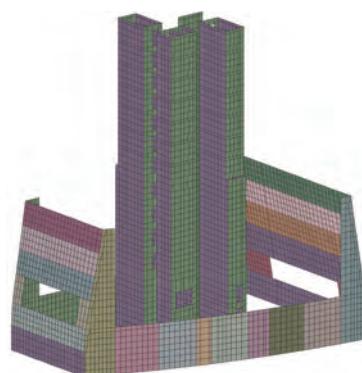
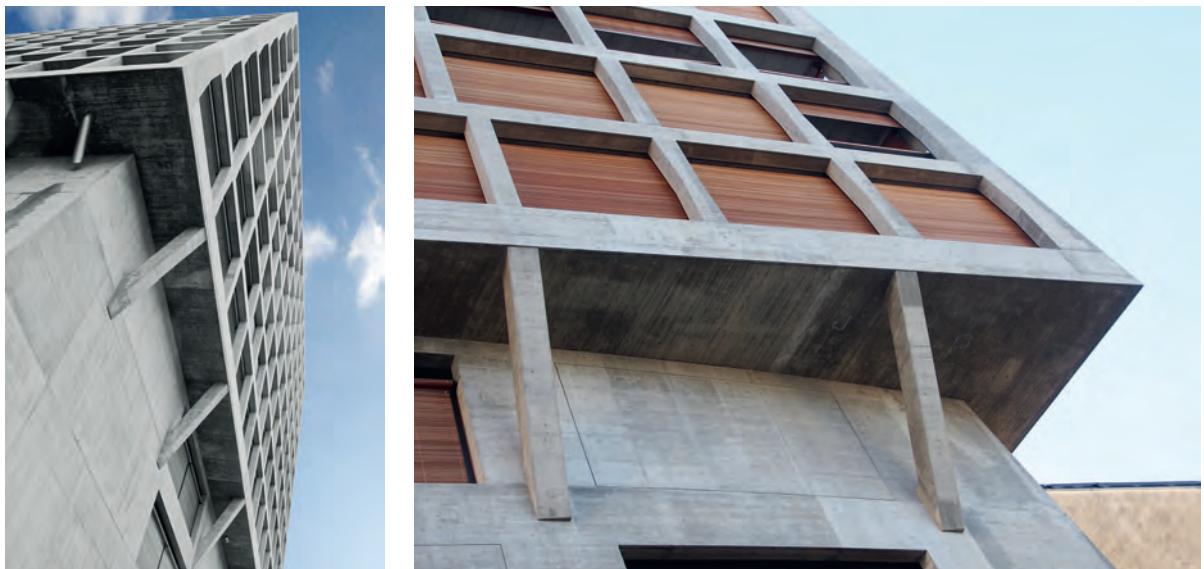


Fig. 7

Steife Sockelbox mit den eingespannten Kernen.  
Rigid base box with cores held in place.



**Fig. 8**  
Ring und Streben.  
Ring and braces.

as pliant as possible, so as to minimise seismic loads.

### Facade

All residential and office floors have a surrounding balcony behind the grid. The seamless reinforced-concrete facade warps as a result of shrinkage by approximately 0.03% and as a result of temperature fluctuation by approximately  $\pm 0.02\%$ , involving vertical movements between +8 mm and -21 mm, and horizontal movements between +10 mm and -26 mm. Already in the central area where the facade protrudes at the transition between base and grid, the vertical movements resulting from temperature-induced deformation are considerable, at  $\pm 3$  mm (Fig. 2). This means that the facade and internal structure cannot be rigidly interconnected, which in turn poses a major challenge at the transition between base and grid. Due to the offsetting of the facade and the angled braces, horizontal forces occur, directed away from the building at the top of the braces and towards the building at their lower end (Fig. 10). The braces' flexible support in the area of the pressure forces is easy to solve with sliding thrust bear-

-26 mm. Bereits im Mittelbereich, wo die Fassade am Übergang von Sockel zu Gitter nach aussen vor springt, sind die vertikalen Bewegungen infolge Temperaturverformungen mit  $\pm 3$  mm wesentlich (Fig. 2). Daraus folgt, dass Fassade und innere Struktur nicht starr verbunden sein können, was wiederum am Übergang von Sockel zu Gitter eine grosse Herausforderung darstellt. Durch den Versatz der Fassade respektive die geneigten Streben entstehen am Strebenkopf vom Gebäude weg gerichtete Horizontalkräfte und am unteren Ende der Streben gegen das Gebäude gerichtete horizontale Kräfte (Fig. 10). Die bewegliche Lagerung der Streben im Bereich der Druckkräfte ist einfach zu lösen über Druckgleitlager, die die horizontalen Kräfte in die Decken einleiten. Auch hier ist das Zusammenspiel zwischen Ausdruck und Statik essenziell: Die Strebenachsen sind auf die Deckenachsen ausgerichtet, um die horizontalen Kräfte effektiv in die Decken einzuleiten.

Die Übertragung der Zugkräfte ist aber nicht über bei jeder Strebe angeordnete Lager lösbar, da diese vertikal und horizontal beweglich sein müssten. In den

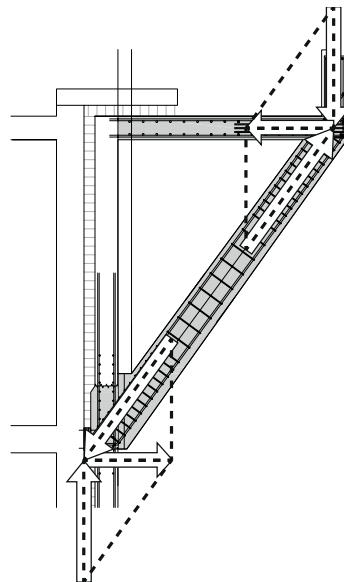
ings that transfer the horizontal forces to the slabs. Here too, the interplay between expression and statics is essential: the brace axes are oriented according to the slab axes, so as to efficiently transfer the horizontal forces to the slabs. However, the transfer of tensile forces cannot be solved by arranging bearings for each brace, as these would have to be able to move both vertically and horizontally. In the corners, where the building breathes out, the bearings would even have to be able to move in three dimensions, which makes force transmission virtually impossible.

Instead, the surrounding balcony was activated as a "ring", which compensates for the horizontal force components of the opposing facades. The ring is simultaneously subjected to bending, tension and shear in the horizontal plane, as well as bending and shear in the vertical plane. The ring, made of reinforced, in-situ concrete, comprises the 76-cm balustrade and the fourth floor's balcony slab, which has a varying width and a thickness of 26 cm.

The facade is held at a total of six fixed points, so as to support the horizontal forces caused by earthquakes and wind. Four of these



**Fig. 9**  
Fassade Sockel mit Versatz und Ring zum Grid mit Balkonen.  
Base facade with offset and ring to the grid with balconies.



**Fig. 10**  
Betrachtung der Kräfte in den Streben.  
Representation of the forces in the braces.

Ecken, wo das Gebäude nach aussen atmet, müssten die Lager sogar dreidimensional beweglich sein – das macht eine Kraftübertragung nahezu unmöglich.

Stattdessen wurde der umlaufende Balkon als «Ring» aktiviert, der die horizontalen Kraftkomponenten der gegenüberliegenden Fassaden ausgleicht. Der Ring wird in der horizontalen Ebene gleichzeitig auf Biegung, Zug und Schub belastet und in der Vertikalen auf Biegung und Schub. Er besteht aus schlaff bewehrtem Ortbeton der 76 cm hohen Brüstung sowie der unterschiedlich breiten, 26 cm starken Balkonplatte des OG4.

Insgesamt sechs Fixpunkte halten die Fassade, um die Horizontalkräfte infolge Erdbeben und Wind abzuleiten. Vier davon befinden sich jeweils in Fassadenmitte unterhalb des Erdgeschosses. Zwischen den Fixpunkten lagert die Fassade beweglich auf Gleitlagern und kann in den Gebäudeecken atmen bzw. werden die horizontalen Bewegungen mithilfe von Ein- und Auswärtsbewegungen der Gebäudeecken aufgenommen. Am Versatz zwischen Sockel und oberem Gebäudengitter im 4. Obergeschoss befinden sich auf den Längsseiten zwei weitere vertikal verschiebbare Fixpunkte, die die

are situated in the middle of the facade on each side, below the ground floor. Between the fixed points, the facade rests flexibly on plain bearings and can breathe at the building's corners, i.e. horizontal movements are absorbed with the aid of inward and outward movements of the building's corners. At the offset between the base and the upper building grid on the fourth floor, two additional, vertically movable, fixed points are situated on the long sides and absorb the loads from the horizontal ring. The major advantage of this solid, self-supporting facade is the possibility of considering it an independent construction with a structure that is optimally coordinated with the building's support structure, such that no major loads are transferred between hot and cold components. Alongside the technical and structural-physical advantages, it also entails significant cost savings and attractive aesthetics, as there is no need for expensive, thermally isolated load-bearing joints. We also find the support structure more appealing because it is clearer, as systems with different requirements can breathe independently.

Lasten aus dem horizontalen Ring aufnehmen.

Der grosse Vorteil dieser massiven, selbsttragenden Fassade ist die Möglichkeit der Betrachtung als eigenständiges Bauwerk, dessen Struktur optimal mit der Gebäudetragstruktur abgestimmt wird, sodass keine grossen Lasten zwischen warmen und kalten Bauteilen übertragen werden. Neben bautechnischen und bauphysikalischen Vorteilen bringt das auch deutliche Kosteneinsparungen und eine hohe Ästhetik mit sich, da auf teure, temperaturgedämmte, tragende Anschlüsse verzichtet werden kann. Auch ist die Tragstruktur nach unserer Auffassung schöner, weil klarer, da Systeme mit verschiedenen Anforderungen unabhängig atmen können.

#### Autoren/Authors

Nico Ros  
dipl. Bauing. FH SIA, BA Management  
n.ros@zpfing.ch

Christian Rudin  
MSc BFH in Engineering  
c.rudin@zpfing.ch

ZPF Ingenieure AG  
CH-4051 Basel

# NEST-Gebäude, Empa-Areal Dübendorf

## NEST building, Empa complex Dübendorf

Joseph Schwartz

### Einleitung

Das NEST-Gebäude auf dem Empa-Areal in Dübendorf ist ein aussergewöhnliches Forschungs- und Gästehaus, das schon durch sein äusserliches Erscheinungsbild Aufsehen erregt. Ein Gebäude ohne Fassade, mit regalartigen, von einem zentralen Kern weitauskragenden massiven Deckenplatten, heterogen bestückt mit Wohn- und Forschungsmodulen, einstöckig zwischen den Deckenplatten eingeklemmt oder aber bis dreistöckig auf der obersten Decke aufgetürmt. Dank intensiver Zusammenarbeit von Architekt und Bauingenieur ab der Konzeptphase bis und mit Ausführung ist eine sowohl gestalterisch als auch tragwerkstechnisch starke Struktur entstanden, deren Präsenz durch die Vielfältigkeit und Andersartigkeit der eingebauten Module besonders betont wird (Fig. 1).

### Introduction

The NEST building on the EMPA complex in Dübendorf is an unusual research building and guest house that has already created quite a stir with its external appearance. A building without a facade, with shelf-like, solid floor slabs cantilevering far out from a central core, heterogeneously fitted with living and research modules, on one floor clamped between the slabs, or stacked up to three storeys on the uppermost slab. The close collaboration between the architect and the civil engineer from the design phase through to and during the construction phase, has produced a strong structure both from a design and a structural point of view, whose presence is particularly emphasised by the diversity and the otherness of the installed modules (Fig. 1).

Erdgeschoss mit Foyer-, Lounge- und Ausstellungsflächen sowie Sitzungs- und Vortragsräumen. Im Untergeschoss befinden sich grosszügig dimensionierte Technikräume, und auf dem Dach können die für bautechnologische Experimente nötigen technischen Apparate sowie Sonnenkollektoren installiert werden. Einen wesentlichen konzeptionellen Bestandteil des Entwurfs bilden die grosszügig ausgelegten Schächte zur vertikalen und horizontalen Medienerschliessung. Diese führen die konventionellen Medien (Frischwasser, Abwasser, Luft, Strom usw.) zu den Parzellen und von diesen wieder weg. Zusätzlich werden sie aus strategischen Gründen überdimensioniert und garantieren somit längerfristig eine unkomplizierte Nachrüstung mit zukünftig benötigten Medienleitungen.

### Architektonisches Konzept

Es handelt sich eigentlich um ein infrastrukturelles Gebäude, das die Durchführung bautechnologischer Experimente ermöglichen soll, und zugleich um ein Gästehaus, in dem Besucher und Forscher der Empa flexibel und zentral untergebracht werden können.

Das Gebäude ist als vertikale Stapelung von Bauparzellen konzipiert, die um einen zentralen Atrium- und Erschliessungskern angeordnet sind. Auf ihnen können voneinander unabhängige, ein- bis dreigeschossige, experimentelle Bauten, die Forschungs- und Wohnmodule, errichtet werden, die über das zentrale Atrium erschlossen werden.

Zum permanenten Teil des Bauwerks gehört, neben dem Atrium, das unter anderem als Begegnungsraum für die Bewohner und Nutzer dient (Fig. 2), auch das



Fig. 1  
Aussenansicht.  
External view.  
(© Roman Keller)

## Architectural concept

This is, in fact, an infrastructural building that is intended to allow for construction technology experiments to be carried out while at the same time providing flexible and central accommodation as a guest house for visitors and researchers at Empa.

The building is designed as a vertical stack of building plots that are arranged around a central atrium and access core. Single to three-storey experimental structures, the actual research and living modules, can be erected on them, independently of each other, and accessed through the central atrium.

In addition to the atrium which serves as a meeting space for the residents and users (Fig. 2), the ground floor is also a permanent part of the building with a foyer, lounge and exhibition areas, as

## Tragwerk und konstruktive Lösungen

Das als grosses Regal konzipierte Gebäude musste an allen Fassadenflächen offen bleiben und durfte keinerlei Tragelemente in den Fassadenebenen aufweisen. Der Wunsch nach möglichst grossen Deckenflächen zur Anordnung der stockwerkhoohen Forschungs-module bedingte eine Tragstruktur mit entsprechend grossen Deckenauskragungen, die hohe Anforderungen an die konzeptuelle Entwicklung und konstruktive Ausbildung des Stahlbetonbaus stellten.

Der sich aus dem kastenförmigen Untergeschoss entwickelnde doppelwandige Kern wirkt als Rückgrat der gesamten Struktur, spannt die auskragenden Deckenplatten ein und steift das Gebäude aus. Durch geschickte Anordnung der Wände im Untergeschoß konn-

well as meeting rooms and lecture halls. The basement comprises generously proportioned technology rooms whereas the technical equipment required for the construction technology experiments are on the roof, as are the solar panels.

The generously dimensioned shafts for vertical and horizontal media access are an essential conceptual component of the design. They carry conventional media (water, waste water, air, electricity, etc.) to the plots and away from them again. In addition, they are oversized for strategic reasons and therefore ensure the longer-term, uncomplicated retrofitting with media lines required into the future.

## Structure and constructive solutions

The building, which was designed as a large shelf, had to remain open on all façade surfaces. Supporting elements were not allowed at the façade levels. The wish for the largest possible floor areas for arranging the storey-high research modules required a structure with correspondingly large cantilevered slabs, which placed high demands on the conceptual and structural design of the reinforced concrete structure. The double-walled core which rises from the box-shaped basement, acts as a spine for the entire structure, clamps the cantilever slabs and stiffens the building. The clever arrangement of the walls in the basement allows for the very large core forces to be introduced as evenly as possible through the ground slab into the construction ground, so that it was possible to use a shallow foundation for the building.

During the intensive design meetings, options were examined that would allow for the scope



Fig. 2  
Innenansicht.  
Internal view.  
(© Roman Keller)



**Fig. 3**  
Tragstruktur.  
**Structure.**  
(© Roman Keller)

ten die sehr grossen Kernkräfte möglichst gleichmässig durch die Bodenplatte in den Baugrund eingeleitet werden, so dass das Gebäude flach fundiert werden konnte.

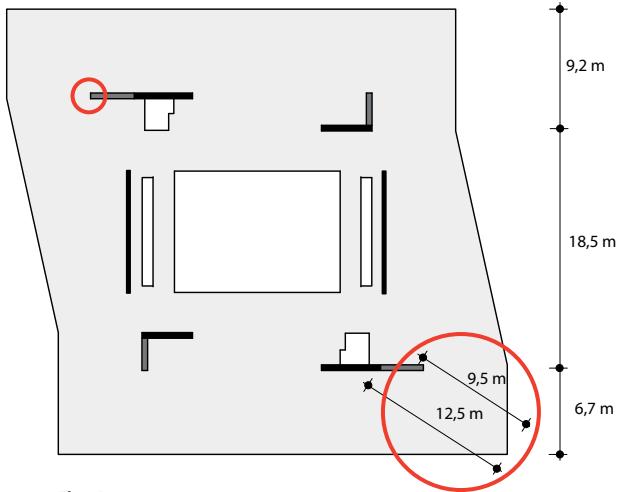
Anlässlich der intensiven Konzeptbesprechungen wurde nach Möglichkeiten gesucht, den Umfang und die Tiefe der Nutzflächen weiter zu vergrössern, was letztlich zum Abweichen von einer rein prismatischen Gebäudelfigur führte. Durch die stockwerkweise verschränkte Anordnung der im Grundriss polygonal verlaufenden Deckenränder wurde es nämlich möglich, Nutzflächen zu generieren, die nicht mehr allein durch die statischen Auskragungen begrenzt sind. Infolge der auf auskragenden Wandscheibenlementen hängenden beziehungsweise aufgelegten Deckenbereichen konnte zum Teil auf streng übereinanderliegende Wände verzichtet werden und es konnten so stockwerkweise alternierend Deckenbereiche entwickelt werden, deren nutzbare Auskragung grö-

and the depth of the usable space to be expanded, which ultimately led to the deviation from a purely prismatic building shape. The storey-wise interlocking arrangement of the polygonal slab edges in the floor plan made it possible to generate usable space that is no longer limited solely by the structural cantilevers. As a result of the slab areas that are suspended from or laid on cantilevered wall panels, it was possible to partly dispense with walls placed strictly on top of each other and therefore to develop alternating slab areas, floor by floor, where the usable cantilever is larger than its structural cantilever (Fig. 3).

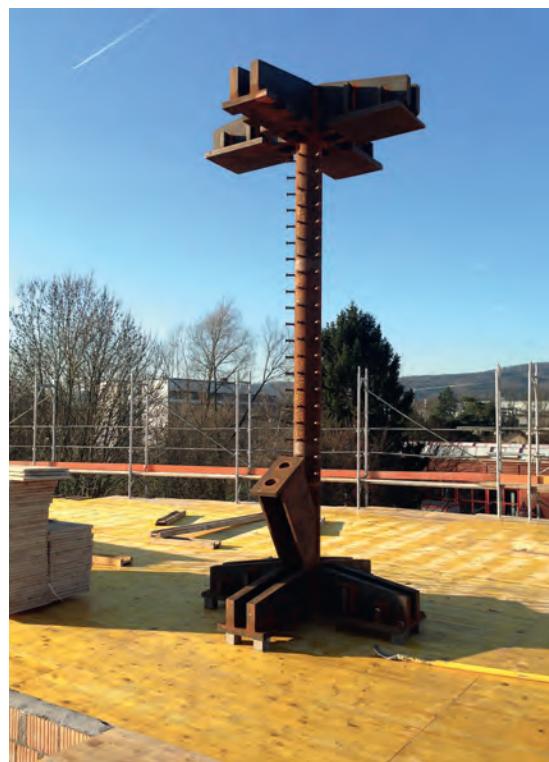
The resulting structural challenges are evident in Figure 4. These are on the one hand the high shear stresses of the slabs in the areas of the wall ends and on the other hand the deflections at the slab edges. To avoid a punching shear failure of the slabs near the wall ends, the arrangement of a local shear reinforcement was indispensable. The punching shear

ser ist als die zugehörige statische Auskragung (Fig. 3).

Die sich daraus ergebenden tragwerkstechnischen Herausforderungen sind in Figur 4 ersichtlich. Es sind einerseits die grossen Schubbeanspruchungen der Decken in den Bereichen der Wandenden und andererseits die Durchbiegungen an den Deckenrändern. Um ein Durchstanzversagen der Decken im Bereich der Wandenden zu vermeiden, war die Anordnung einer lokalen Schubverstärkung unerlässlich. Mit Bügelbewehrung allein konnte der Durchstanzwiderstand der 55 bis 60 cm starken Obergeschossdecken unter maximal 6,5 MN nicht gewährleistet werden. Es wurden spezielle in der Sichtbetonkonstruktion integrierte Stahlpilze entwickelt, die eigens für diesen Bau konstruiert wurden. Wie aus Figur 5 ersichtlich ist, wurden diese Durchstanzpilze mit weiteren in den Beton integrierten Stahlelementen ergänzt, die die Funktion kräftiger Bewehrungen übernehmen. Eingebaut wurden



**Fig. 4**  
Tragwerkstechnische Herausforderungen.  
Structural challenges.



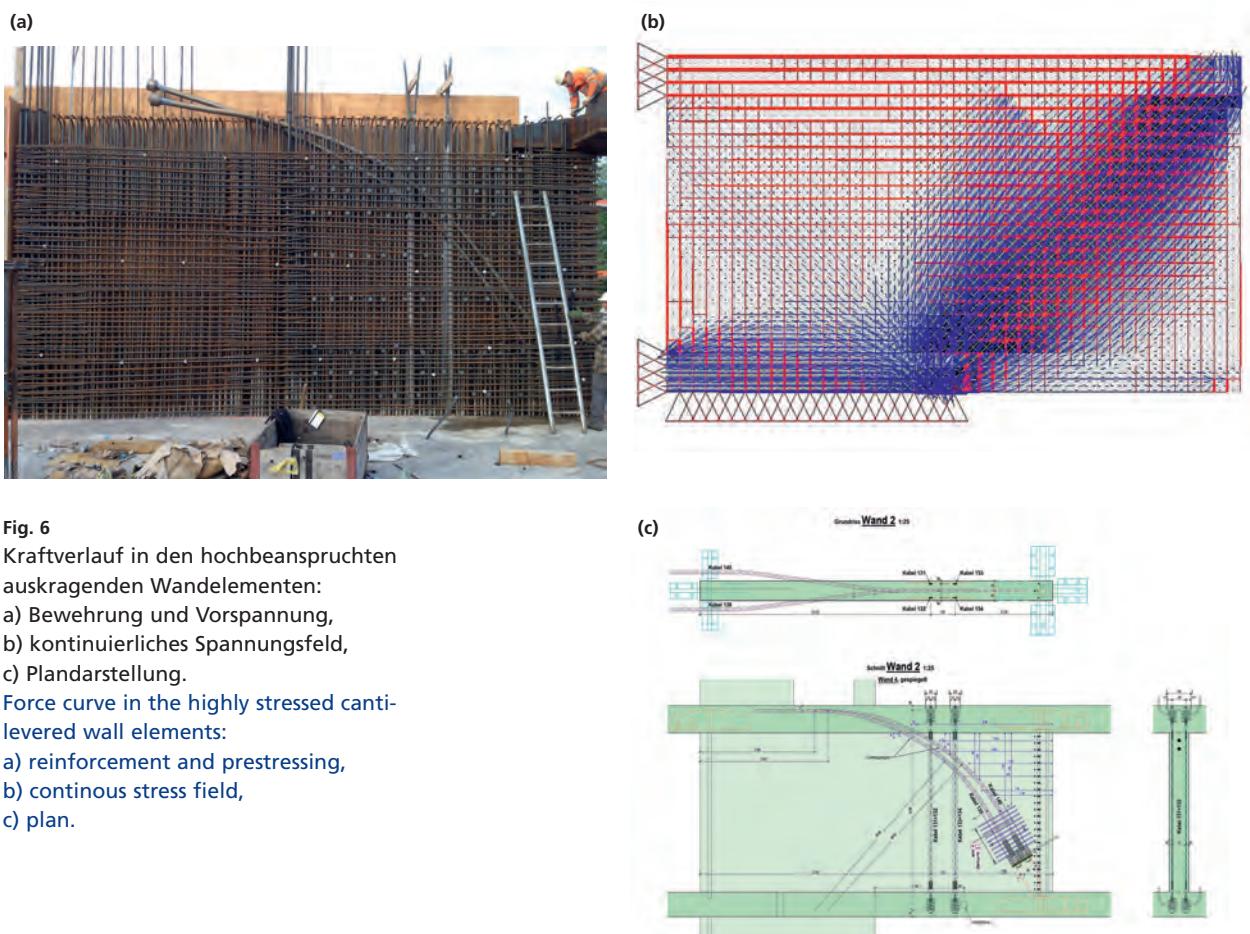
**Fig. 5**  
Speziell konfektionierte, in den Beton eingelegte Stahlelemente.  
Specially developed steel elements inserted into the concrete.

resistance of the 55 to 60 cm thick upper floor slabs below 6.5 MN maximum could not be guaranteed with stirrup reinforcement alone. Special steel mushrooms integrated into the exposed concrete structure were developed, which were specially designed for this building. As can be seen in Figure 5, these mushroom heads were expanded with other steel elements integrated into the concrete which assume the function of strong reinforcements. Heavy compressive reinforcements of solid round steel were installed, which introduce the above-mentioned large slab loads into the walls by means of shear connectors.

The cantilevered wall elements, at which a concentrated slab load of approx. 6.5 MN is introduced at both the top and bottom, also had to be fitted with prestressing cables to absorb the tensile forces from the lower slab. The lower steel mushrooms together with the rising round steels were supplemented with strong steel brack-

ets and anchor plates in such a way that the inclined prestressing cables could be connected to the integral steel component, which enables a very direct and elegant force flow in the extremely highly stressed node areas, as is impressively illustrated by the modelling with the continuous stress field (Fig. 6). Four additional prestressing cables functioning as stirrup reinforcements increase the shear resistance of the wall panels.

The second major challenge was to control the deformation of the slabs due to their considerable projections of up to about ten metres over the corner diagonals. On the one hand, the large live loads of 10 to 12 kN/m<sup>2</sup> that had to be taken into account and on the other hand the respectable dead weight of the slabs, made the design of the slabs with a reinforcement alone appear inappropriate, as especially creep deformations, which cannot be clearly compensated by means of a superelevation of the slab, are problematic. For this reason, the



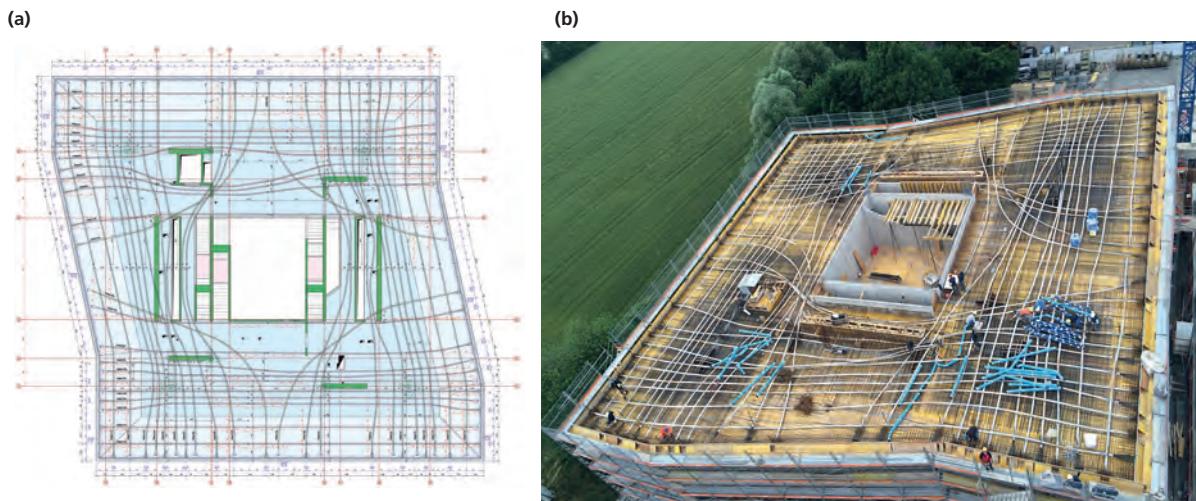
**Fig. 6**  
Kraftverlauf in den hochbeanspruchten auskragenden Wandelementen:  
a) Bewehrung und Vorspannung,  
b) kontinuierliches Spannungsfeld,  
c) Plandarstellung.  
Force curve in the highly stressed cantilevered wall elements:  
a) reinforcement and prestressing,  
b) continuous stress field,  
c) plan.

Die zweite grosse Herausforderung bestand in der Kontrolle der Verformungen der Decken infolge ihrer beträchtlichen Auskragungen von bis zu rund zehn Metern, über die Eckdiagonalen gemessen. Einerseits die grossen zu berücksichtigenden Nutzlasten von 10 bis 12 kN/m<sup>2</sup> und anderseits die respektablen Eigenlasten der Decken liessen deren Ausbildung mit ausschliesslich schlaffer Bewehrung als wenig zweckmässig erscheinen, sind doch insbesondere die Kriechverformungen,

slabs were consistently prestressed, whereby the 1900 kN flat cables were guided in such a way that the permanent loads are largely compensated by the deviatoric forces of the prestressing cables and as a result neither elastic nor creep deformations occur under permanent loads. In addition, the prestress considerably increases the rigidity of the concrete slabs and therefore reduces the deformation in the service state under the high live loads. In this way, it also increases the punching shear resistance of the slabs as a result of the lower rotations above the columns, on the one hand, and as a result of the effect of the inclined and curved cables near the columns on the other hand, which can therefore introduce their deviatoric forces directly into the support. Notwithstanding this, the critical areas of the slabs were fitted in addition with a stirrup reinforcement. Taking into account the above-described

die nicht eindeutig mit einer Deckenüberhöhung kompensiert werden können, problematisch. Aus diesem Grund wurden die Decken konsequent vorgespannt, wobei die 1900 kN-Flachkabel so geführt wurden, dass die ständigen Lasten weitgehend durch die Umlenkkräfte der Vorspannung kompensiert werden und somit weder elastische noch Kriechverformungen unter ständigen Lasten auftreten. Zudem erhöht die Vorspannung die Steifigkeit der Betonplatten beträchtlich und reduziert entsprechend die Verformungen im Gebrauchszustand unter den hohen Nutzlasten. Dabei vergrössert sie auch den Durchstanzwiderstand der Decken infolge der geringeren Rotationen über den Stützen einerseits, und andererseits durch den Einfluss der geneigten und gekrümmten Kabel im Bereich der Stützen, die somit ihre Umlenkkräfte direkt ins Auflager einleiten können. Nichtsdestotrotz

**Bauherrschaft/Owner**  
Empa – Materials Science & Technology, Dübendorf  
**Architekt/Architect**  
Gramazio Kohler Architects, Zürich  
**Bauingenieur/Civil engineer**  
Dr. Schwartz Consulting AG, Zug  
Dr. Neven Kostic GmbH, Zürich  
**Bauausführung/Contractor**  
Streuli Bau AG, Kilchberg  
**Fertigstellung/Completion**  
2016



**Fig. 7**

a) Vorspannkonzept der Decken sowie b) deren bauliche Umsetzung.  
a) Prestress concept for the slabs and b) its implementation.

criteria, the geometry of the cables was carefully developed and meticulously implemented on the building site, both in the floor plan and in the section (Fig. 7).

### Concluding remarks

The structure of the research building Empa-NEST placed considerable demands on the planning and implementing teams. Thanks to a purposeful and committed interdisciplinary collaboration right from the initial design phase, the very strong relationship of trust both among the planners and vis à vis the clients, and the considerable commitment and mutually respectful interaction of everyone involved in the implementation phase, the considerable technical and construction challenges were mastered in a very professional manner.

wurden die kritischen Bereiche der Decken zusätzlich mit einer Bügelbewehrung versehen. Unter Berücksichtigung der beschriebenen Kriterien wurde die Geometrie der Kabel sowohl im Grundriss als auch im Schnitt sorgfältig planerisch entwickelt und minutiös auf der Baustelle umgesetzt (Fig. 7).

### Schlussbemerkungen

Das Tragwerk des Forschungsgebäudes Empa-NEST stellte sehr hohe Anforderungen an die Planenden und die Ausführenden. Dank bewusster und engagierter interdisziplinärer Zusammenarbeit ab der ersten Konzeptphase, dem sehr starken Vertrauensverhältnis sowohl der Planenden untereinander als auch mit der Bauherrschaft sowie dem grossen Einsatz und dem respektvollen Umgang aller Beteiligten in der Ausführungsphase konnten die grossen technischen und baulichen Herausforderungen souverän gemeistert werden.

#### Autor/Author

##### Joseph Schwartz

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

#### Literatur/Literature

- [1] [www.gramaziokohler.com](http://www.gramaziokohler.com)
- [2] Schwartz J., Kostic N.; Solides Rückgrat, TEC 21 22/2016, 34–37

# Sporthallen Weissenstein

## Sports halls Weissenstein

Christian Penzel, Martin Valier



Fig. 1

Ansicht der gestapelten Hallen mit äusserer Erscheinung der Tragstruktur.

View of the stacked halls with external appearance of the structure.

(Foto: Dominique Marc Wehrli)

### Einleitung

Bei unserem Entwurf für einen Sportkomplex mit einer Wettkampfhalle für 2000 Zuschauer und einer zusätzlichen Trainingshalle haben wir aus städtebaulichen Gründen die zwei Hallen gestapelt angeordnet. Die Trainingshalle steht verdreht auf dem Dach der Wettkampfhalle. Die dadurch entstehende kreuzförmige Figur markiert den prägnanten Terrainversatz zwischen der tiefer liegenden Königzstrasse und dem dazu um vier Meter erhöhten Plateau der Aussen sportfelder. Das grosse Dach der Halle schliesst niveaugleich an die Aussenanlagen an, während die wesentlich kleinere Trainingshalle darauf als eigenständiger Baukörper in Erscheinung tritt. Diese

### Introduction

In our design concept for a sports complex with a competition arena for 2000 spectators and an additional training hall, we stacked one hall on the other for urban planning purposes. The training hall sits on the roof of the competition arena at an angle. The resulting cross-shaped figure marks the concise terrain offset between the lower-lying road and the plain of the playing fields, four metres higher. The large roof of the arena connects to the outdoor facilities on the same level, while the considerably smaller training hall above gives the appearance of an independent structure. This distribution of volumes is decisive for the full-scale and urban integration of the

Aufteilung der Volumina ist entscheidend für die masstäbliche und städtebauliche Integration des nicht unbeträchtlichen Gesamtvolumens in die nähere Umgebung. Die kompakte Kubatur hält grosse Bereiche der Parzelle unbebaut, die so für die Aussenanlagen und ökologischen Ausgleichsmassnahmen zur Verfügung stehen (Fig. 1).

### Architektonisches Konzept

Die beiden Seitenwände der Trainingshalle dienen als grosse Überzüge für die Überspannung der darunterliegenden Arena. Strukturell erfahrbar wird dies vor allem in der Tragrichtung der Deckenträger der Wettkampfhalle: aufgrund der Überzüge spannen sie nicht quer zur Hallenausrichtung – was normal wäre – son-

**Bauherr/Owner**  
Sporthallen Weissenstein AG  
**Generalplaner, Architekt und Bauingenieur/General planner, architect and civil engineer**  
Penzel Valier AG, Zürich  
**Bauausführung/Contractor**  
Marti AG, Bern

**Fertigstellung/Completion**  
August 2014



**Fig. 2**  
Sicht in Wettkampfhalle mit Hauptstütze und Trainingshalle mit statisch aktivierter Außenwand.  
View within the competition arena with main column and training hall with structurally activated external wall.  
(Foto: Dominique Marc Wehrli)

not inconsiderable total volume into the adjacent surroundings. The compact cubage means that large swathes of the site remain undeveloped and are therefore available for outdoor facilities and ecological compensatory measures (Fig. 1).

### Architectural concept

The two side walls of the training hall serve as large upstand beams for the span of the arena below. This becomes structurally tangible above all in the supporting direction of the ceiling beams of the competition arena: due to the upstand beams, they do not span transversely to the direction of the hall, which would be normal, but longitudinally to it. During the first project phase, the over-

dern längs dazu. In der ersten Projektphase war die obenliegenden Brückenkonstruktion als Fachwerk noch direkt ablesbar. Im Zuge der Überarbeitung haben wir die zwei grossen, längs gerichteten Fachwerke jedoch durch Scheiben auf einer Reihe von V-förmigen Stützen ersetzt. Die Fachwerkträger werden sozusagen selektiv vergossen, die plastisch hervorgehobenen V-Stützen weisen auf ihren Ursprung zwar noch hin, erhalten aber eine gewisse Autonomie.

Die räumliche Entwicklung hat dabei an Klarheit gewonnen und ist verstärkt in die Durchbildung der Konstruktion eingeflossen. So stehen die beiden Hallen nicht nur konstruktiv, sondern auch räumlich und hinsichtlich der

head bridge construction was still directly recognisable as a truss. However, as the design work progressed, we replaced the two large, longitudinal trusses with panels on a row of V-shaped columns. The beams of the truss were "selectively" cast, so to speak. The clearly emphasised V-shaped columns still point to their origin, but have a certain autonomy.

In this way, the clarity of the spatial development was enhanced and flowed to a greater extent into the design of the structure. The two halls are therefore in a dialectic relationship to each other not only from a structural point of view but also spatially and with regard to lighting. The training hall is open to the sur-

Lichtführung in einem dialektischen Verhältnis zueinander. Die Trainingshalle ist mit einem umlaufenden Lichtband dreiseitig zur Umgebung geöffnet und erhält mit den darüberliegenden, hohen Umfassungswänden eine «Raumkappe», deren Volumen von Oberlichtern aktiviert wird. Im umgedrehten Verhältnis entwickelt sich die Wettkampfhalle. Während auch hier ein dreiseitiges Lichtband die Wandelebene in die Umgebung öffnet, ist das Spielfeld in das Terrain eingegraben. Die Haupttribüne verläuft von der Wandelebene in einer grossen Geste bis hinunter auf das abgesenkte Spielfeld. Damit wird der Schnittverlauf vom Geländeniveau der Aussensportanlagen über die Tribünen zur Senke des Hallenbodens und wieder hinauf auf die Ebene des Vorplatzes mit einer grossen innerräumlichen Schnittfigur inszeniert. Beide Hallen weisen demnach eine prägnante räumliche Ableitung ihrer Stape lung auf und spiegeln damit die städtebauliche Figur im Inneren wider.

Das Haupttragwerk aus Trägern und Scheiben wird über die Aktivierung der Decken und die wenigen inneren Wandscheiben aus gesteift und stabilisiert. Mit der

rounding area on three sides thanks to strip windows and, together with the overlying high perimeter walls, has a “room cap”, the volume of which is activated by sunlights. The competition arena developed in an inverse ratio. While in this case strip windows on three sides also open up the building from the access area to the stands towards the surrounding area, the playing field is embedded in the terrain. The main stand runs in a grand gesture from the access area to the stands down to the sunken playing field. In this way, the section course from the terrain level of the outdoor sports facilities through the stands, down to the hollow of the hall floor and back up to the level of the forecourt is staged with a large interior sectional figure. Consequently, both halls demonstrate a concise spatial derivation of their stacking concept and therefore reflect the urban figure in the interior.

The main structure with beams and panels is stiffened and stabilised through the activation of the slabs and the few internal shear walls. With this change from trusses to simple, space-defining panels, we have attempted to enhance the urban and spatial

Änderung vom Fachwerkträger zu einfachen, raumdefinierenden Scheiben haben wir versucht, die städtebaulichen und räumlichen Qualitäten zu stärken und die ohnehin schwierige «Erklärung» des Tragverhaltens zurückzunehmen (Fig. 2, 4).

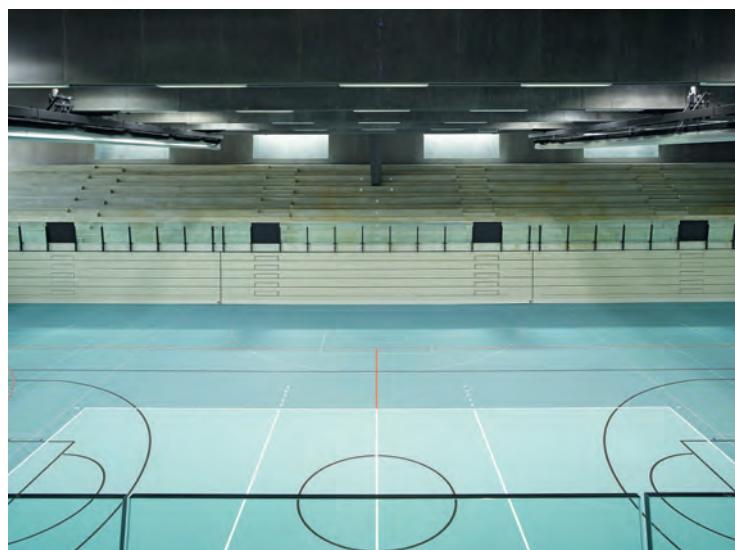
## Statisches Konzept

### Ausgangslage Geologie

Der Bauperimeter der Sporthallen liegt im Bereich einer ehemaligen Kiesdeponie. Die Auffüllung der Deponie erfolgte über Jahre unkontrolliert und lose mit was sergesättigtem Silt und Ton. Das eingeschlossene Meteor- wie auch Porenwasser konnte sich über die teils Jahrzehnte andauernde Lagerung nicht entwässern, obwohl die Grubensohle ab Unterkante der Schüttung hoch durchlässig war. Der Baugrund war daher auf sämtlichen Lagen ohne Materialersatz oder den Einsatz von Matratzen weder begeh- noch befahrbar.

### Fundation/Geologie

In der Wettbewerbsphase stellten wir früh fest, dass Fundationskonzepte mit wenigen, dafür aber kräftigen Fundamenten zu keinem wirtschaftlichen Nachteil führen. Zur Ausführung gelangte schliess-



**Fig. 3**

Innenraum Wettkampfhalle mit längs spannenden Trägern und rückwärtigen Oberlichtern.

**Interior of competition arena with longitudinal beams and rear skylights.**  
(Foto: Dominique Uldry)

qualities and to dispense with an "explanation" of the structural behaviour, that would have been difficult in any event (Fig. 2, 4).

## Structural concept

### Initial situation geology

The construction perimeter of the sports halls is in the area of a former gravel landfill. The landfill was filled over the years, unregulated and freely, with water-saturated silt and clay. The trapped rainwater and pore water could not drain during the storage period which was at times decades long, even though the pit bed from the lower edge of the infill was highly porous. As a result, it was not possible either to walk on the subgrade or drive on it at any level without replacing material or using mattresses.

### Foundation/geology

We discovered early on in the competition phase that foundation concepts with few but strong foundations were not economically disadvantageous. Ultimately, a solution involving four pile caps with a total of 14 large bored piles, diameter 1180 mm (5 no.) and diameter 1500 mm (9 no.) and a length of about 2 m in each case was chosen. The piles are

lich eine Lösung mit vier Pfahlbanketten mit total 14 Grossbohrpfählen, Durchmesser 1180 mm (5 Stück) und Durchmesser 1500 mm (9 Stück) und einer Länge von jeweils etwa 20 m. Zur Vermeidung einer Gruppenwirkung bei der zugleich angestrebten, konzentrierten Lasteinleitung über möglichst kompakte Pfahlbankette sind die Pfähle je 7 Grad aus der Vertikalen ab Kopf nach aussen geneigt. Die Krafteinleitung erfolgt über die Mantelreibung der leicht geneigten Pfähle. Kleinere, peripherie Lasten werden über zusätzliche, duktile Gusspfähle abgeleitet.

### Struktur

Die beiden Längswände der oberen Trainingshalle, 40 und 50 cm stark, werden als vorgespannte Wandscheiben ausgebildet und dienen als grosse Überzüge für das Dach der darunterliegenden Wettkampfhalle. Sie liegen je auf zwei massiven Hauptstützen. Der Momentenverlauf in den Wand scheiben mit einem grossen Feld über knapp 34 m und einer 17 m langen Auskragung erforderte zur Vermeidung innerer Zwängungen eine ausgeklügelte Kabelführung mit bis zu 12 Kabeln 12-06. Die hier erwähnten vier Haupt-

inclined 7 degrees from the vertical to the outside, from the tip, to avoid a group effect while at the same time achieving the desired concentrated load introduction via the most compact pile caps possible. The force introduction is via surface friction with the slightly inclined piles. Smaller, more peripheral loads are transferred via additional, ductile cast iron piles.

### Structure

The two longitudinal walls of the upper training hall, 40 and 50 cm thick, are designed as prestressed shear walls and serve as large upstand beams for the roof of the underlying competition arena. They rest each on two solid main columns. The moment distribution in the shear walls with a large span of just under 34 m and a 17 m long cantilever, required intricate cable routing with up to 12 cables 12-06, to avoid internal restraints. The four main columns mentioned here transfer the forces from the panels directly into the pile caps. The 67 m, extremely long, longitudinal beams of the competition arena with a structural height of 2.1 m and each with a cable 19-06, are only hanging on the shear walls of the overlying training



**Fig. 4**

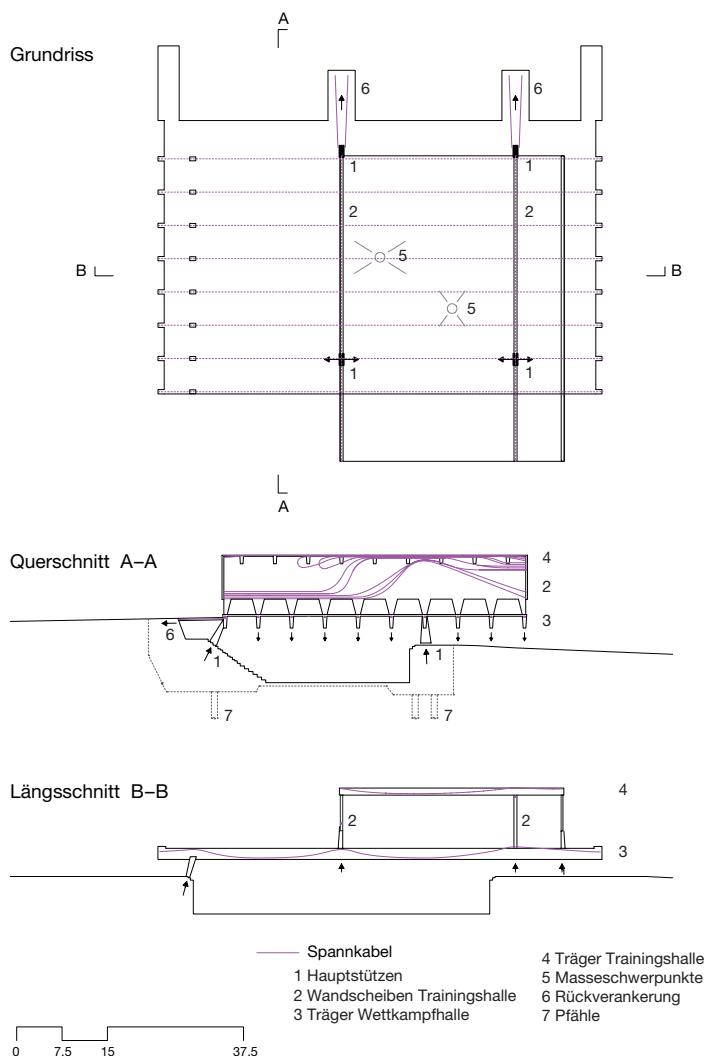
Innenraum Trainingshalle mit quer spannenden Trägern, Oberlichtern und seitlicher Verglasung.

Interior of training hall with transverse beams, skylights and side glazing.

(Foto: Dominique Uldry)



**Fig. 5**  
Bau der Seitenwände Trainingshalle.  
**Constructing the side walls of the training hall.**  
(Foto: Dominique Uldry)



**Fig. 6**  
Statischer Aufbau mit Darstellung der Kräfte, Spannkabelverläufe und Masseschwerpunkte.  
**Structure with representation of forces, tendons and centres of mass.**

stützen leiten die Kräfte aus den Scheiben direkt in die Pfahlbanke ab.

Die mit 67 m enorm langen, längs laufenden Träger der Wettkampfhalle mit einer statischen Höhe von 2,1 m und je einem Kabel 19-06 sind nur an den Wandscheiben der darüberliegenden Trainingshalle aufgehängt und auf einer Seite aufgelagert. Die Aufhängung über vertikal vorgespannte Swiss-Gewi-Stangen in die Wandscheiben der Trainingshalle wird von der unteren Wettkampfhalle aus optisch nicht wahrgenommen.

Das kritische Schwingungsverhalten der über diesen längs laufenden Trägern liegenden Decke der Wettkampfhalle, die zugleich auch den Boden der Trainingshalle darstellt, wurde aufwendig nachgewiesen. Für die Modellierung wurden die Träger monolithisch mit den Decken verbunden. Die Mehrfeldträger weisen unterschiedliche Spannweiten auf, ihre Lagerung ist in den darüberliegenden Wandscheiben wie auch der einen Stütze als eingespannt angenommen. Die Auflasten entsprechen exakt der unterschiedlichen Nutzung. Ferner wurde das System aufgrund der Vorspannung aller Teile als ungerissen angenommen. Dadurch resultierte rechnerisch die erste unkritische, tiefste Eigenfrequenz bei 12,3 Hz, was sich im ausgeführten Projekt anhand einer Kontrollmessung auch bestätigen liess.

Die 1,35m hohen Träger des Dachs der Trainingshalle sind als Zweifeldträger ausgelegt und ebenfalls je mit einem Kabel 19-06 überdrückt. Sie spannen knapp 30 m quer zur Trainingshalle und ruhen in den einleitend erwähnten Wandscheiben. Das zweite Feld der Träger über weitere 8 m ist in eine dritte, schlaff bewehrte Wandscheibe eingebunden und dort gegen Abheben fixiert.

Die horizontale Aussteifung erfolgt sowohl über die Decke der Wettkampfhalle als auch über den Boden der Wandebene. Das daraus resultierende Kräftepaar wird jeweils über vertikale Rippen in die rückwärtigen, mit der Hinterfüllung ballastierten Pfahlban-

hall and supported on one side. The mounting via vertical pre-stressed Swiss Gewi rods in the shear walls of the training hall is not visible from the underlying competition arena.

The critical vibration behaviour of the slab above these longitudinal beams in the competition arena, that is also the floor of the training hall, was verified extensively. For the modelling, the beams were connected monolithically with the slabs. The multi-span beams have varying spans, their bearing is assumed to be clamped in the shear walls above as well as in one of the supports. The loads correspond precisely to the different types of use. Furthermore, the system was assumed to be non-cracked due to the prestressing of all members. This resulted in, mathematically, the first uncritical, lowest natural frequency of 12.3 Hz, which was then confirmed by way of controlled measurement in the executed project.

The 1.35 m high beams of the roof of the training hall are designed as double-span beams and each with a cable 19-06 under pressure. They span almost 30 m transversely to the training hall and lie in the shear walls mentioned at the beginning. The second span of the beam over a further 8 m is integrated into a reinforced shear wall and fixed there against lifting.

Horizontal stiffening is achieved both via the roof slab of the competition arena and via the floor of the access area to the stands. The resulting pair of forces is each released via vertical ribs into the rear pile cap, which is ballasted with backfill. The tension cables in the roof slab transfer the horizontal force components of the inclined main columns.

In order to compensate vibration differences in the event of an earthquake due to varying centres of mass of the training hall to the clamping horizon, the front two main columns are freely movable horizontally with slide bearing plates on the floor of the ground floor. An extensive, heavy support was required to build the

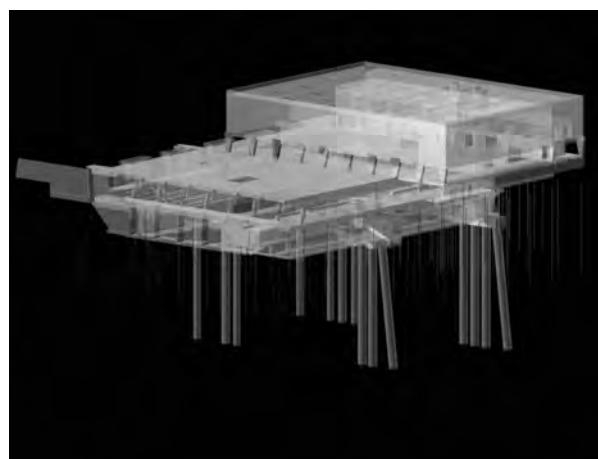


Fig. 7  
Statische Struktur mit Pfahlung.  
Structure with piling.

kette abgegeben. Die in der Decke liegenden Spannkabel leiten die Horizontalkraftanteile der schrägen Hauptstützen ab.

Um Schwingungsdifferenzen im Erdbebenfall aufgrund unterschiedlicher Massenschwerpunkte der Trainingshalle zum Einspannhorizont zu kompensieren, sind die vorderen zwei Hauptstützen horizontal frei verschieblich mit Gleitlagerplatten auf dem Boden des Erdgeschosses abgestellt.

Für den Aufbau der Struktur war eine umfangreiche, schwere Abstützung notwendig (Fig. 5 bis 7). Das Tragwerk konnte seine Funktion erst nach dem Aushärten der letzten Betonieretappen, der Decke über der Trainingshalle, integral erfüllen. Bis zu diesem Zeitpunkt mussten alle Träger und Wandscheiben über schwere Spriessungen gesichert werden.

Das Spannen der Kabel in den Trägern und Wandscheiben erfolgte erst zum Schluss nach vorgegebenem Drehbuch. Einzelne Kabel mussten dabei über vier Etappen gespannt werden. Die vor dem Absenken erfolgte Nullmessung an über 70 Kontrollpunkten ergab nach Abschluss aller Arbeiten und inklusive der Pfahlstauchung eine maximale Einsenkung von nur 8 mm.

structure (Fig. 5 to 7). The structure could only integrally fulfil its function after the slab over the training hall, the final concrete step, had hardened. Up to that point in time, all beams and shear walls had to be secured with heavy stays.

The cables in the beams and shear walls were only tensioned at the end in accordance with a specified scenario. In this case, some cables had to be tensioned in four stages. The baseline measurement carried out at over 70 control points prior to lowering displayed a maximum sinking of only 8 mm, after the completion of all works and including pile compression.

#### Autoren/Authors

Christian Penzel  
Dipl.-Ing. TU  
penzel@penzel.ch

Martin Valier  
dipl. Ing. HTL  
valier@valier.ch

Penzel Valier AG  
CH-8045 Zürich

# Ein Hochhaus und ein Hofhaus – das Tragsystem im neuen Campus der FHNW Muttenz

## A high-rise and a courtyard building – the structural system of the new FHNW campus building in Muttenz

Stefan Bänziger, Timothy Hafen

### Einleitung

Ganz im Zeichen der innovationsfördernden Kultur der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) wird auf das Herbstsemester 2018 in Muttenz ein neuer Campus eröffnet. Er dient als neues Zuhause für die bis anhin auf 36 Standorte verteilten Hochschulen für Architektur, Bau und Geomatik, Life Sciences, Soziale Arbeit, Pädagogische Hochschule und Trinationaler Studiengang Mechatronik der Hochschule für Technik. Der neue Standort wird mit rund 34 500 m<sup>2</sup> Hauptnutzfläche der Studien- und Arbeitsort von rund 3700 Studierenden und 800 Mitarbeitenden sein.

Im Mai 2011 gewannen pool Architekten in Zusammenarbeit mit den Tragwerksplanern Schnetzer Puskas Ingenieure den selektiven Projektwettbewerb mit dem Pro-

### Introduction

Driven by a culture at the University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland (FHNW) that promotes innovation, a new campus will be opened in time for the autumn semester 2018 in Muttenz. It will be a new home to the Schools of Architecture, Civil Engineering and Geomatics, Life Sciences, Social Work, and Education, and for the Mechatronics Trinational course at the School of Technology, which to date have been spread across 36 locations. The new location with its 34,500 m<sup>2</sup> of service area will provide a study and work area for approx. 3,700 students and 800 staff.

In May 2011, architects pool Architekten in conjunction with structural engineers Schnetzer Puskas Ingenieure won the selective pro-

jekt «Kubuk». Dieses ist geprägt durch einen kubischen Baukörper mit einem minimalen Footprint und einer grosszügigen angegliederten Parkanlage.

Der Hauptbau weist mit zwei Untergeschossen, Erdgeschoss und zwölf Obergeschossen eine Höhe von rund 64 m und Grundrissabmessungen von 63 m mal 70 m auf, sodass er als Würfel in Erscheinung tritt. Im Sockelbereich des Hauptbaus vom Erdgeschoss bis zum 3. Obergeschoss sind die öffentlichen Nutzungen mit Hörsälen, Aula, Mensa, Bibliothek und Drittnutzungen untergebracht, während sich vom 4. bis zum 12. Obergeschoss Büros, Labors und Seminarräume der verschiedenen Fakultäten finden. Das Dachgeschoss wird hauptsächlich für Technikanlagen verwendet. Die Untergeschosse umfassen diverse

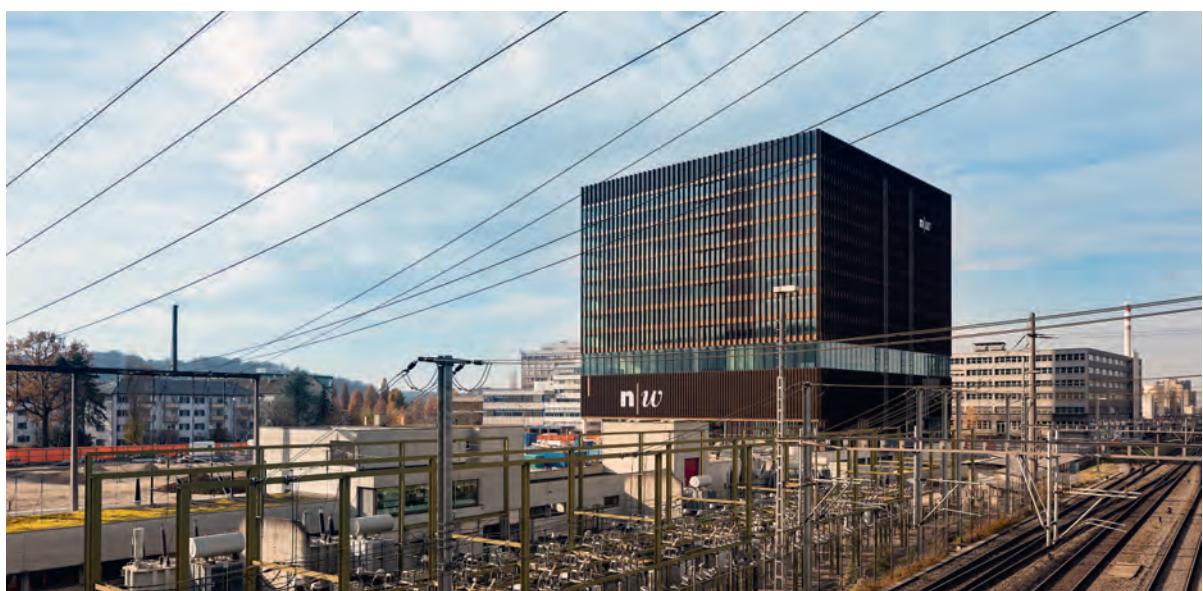


Fig. 1

«Kubuk» – der neue Campus der Fachhochschule Nordwestschweiz in Muttenz.  
“Kubuk” – the new campus building at the University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland (FHNW) in Muttenz.

(© Martin Stollenwerk)



**Fig. 2**

Schnittperspektive des Gebäudes.  
Cross-sectional perspective of the building.  
(© pool Architekten)

ject competition with their project "Kubuk". The project is characterised by a cubic building with a minimal footprint and a spacious adjoining park.

The main building has two floors at basement level, a ground floor and 12 upper floors and is approx. 64 m in height with floor dimensions of 63 m by 70 m, so that it resembles a cube. The base of the main building, from the ground floor to the 3rd floor, comprises public spaces with lecture halls, an auditorium, the canteen, the library and space for third party use, while the 4th to the 12th floors comprise the offices, laboratories and seminar rooms of the various faculties. The top floor is used mainly for technical equipment. The basement floors comprise various laboratories and workshops and also storerooms and plant rooms. Adjacent to this is an underground area that is approx. 10 m high and approx. 28 m by 63 m in size with a double gymnasium, a construction hall, workshops and storage rooms.

### Structural concept

The upper floors are designed as a consistent skeleton construction

Labors und Werkstätten sowie Lager und Technikräume. Unterirdisch angegliedert ist ein rund 10 m hohes Volumen mit Abmessungen von rund 28 m mal 63 m mit einer Doppelturnhalle, der Bauwerkshalle, Werkstätten und Lagerräumen.

### Tragwerkskonzept

Die Obergeschosse sind konsequent in Skelettbauweise mit vier stabilisierenden Erschließungskernen, Geschossdecken und vorfabrizierten Betonstützen konzipiert. Mit zwei Innenhöfen ergeben sich im Grundriss ein 14 m breiter Deckenring entlang der Fassade und ein Mitteltrakt. Zunutzen einer maximalen Nutzungsflexibilität sind in einer Richtung jeweils Deckenspannweiten von 14 m vorhanden, die mit überbetonierten, vorfabrizierten Rippenplatten überbrückt werden. In der anderen Richtung entlang der Deckenränder beträgt das Stützenraster mit einem Randträger 7 m. Die Betonstärke ist unter Berücksichtigung der Trittschallanforderungen so festgelegt, dass Bodenbeläge größtenteils direkt im Verbund ausgeführt werden konnten.

with four stabilising access cores, floor slabs and prefabricated concrete columns. With two courtyards, the floor plan shows a 14 m wide ring of slabs along the façade and a central wing. To achieve maximum flexibility of use, there are spans in one direction, each 14 m wide, that are bridged with prefabricated ribbed plates with a concrete overlay. In the other direction along the edges of the roof, the support grid with one edge beam is 7 m. The thickness of the concrete, taking impact sound requirements into account, is determined in such a way that most of the floor coverings were laid directly bonded.

On the 4th floor, the inner wing, referred to as the central wing, is supported by a storey-high bridge structure made in part of discontinuous shear walls and prestressed in situ concrete flat slabs, to allow for the atrium below that is over 20 m high. The first and second floors are supported using the same principle, allowing for the creation of a 42 m wide, column-free main entrance. In addition, prestressed flat slabs allow for the construction of generous cantilevered galleries around the court-



**Fig. 3**

Lehrgerüst und Krafteinleitungsdetail des Mitteltraktes.  
**Falsework and force introduction detail of the central wing.**  
 (© Martin Stollenwerk)

Im 4. Obergeschoss wird der als Mitteltrakt bezeichnete Innentrakt mit einem geschoss hohen Brückenträger aus teilweise aufgelösten Wandscheiben und vorgespannten Ort beton flach decken abgefangen, um darunter ein über 20 m hohes Atrium zu ermöglichen. Mit dem gleichen Prinzip werden das erste und zweite Obergeschoss abgefangen, um einen stützenfreien, 42 m breiten Haupteingang zu schaffen. Vorgespannte Flachdecken ermöglichen über dem Erd- sowie dem 1. und 2. Obergeschoss zudem grosszü-

yard above the ground, the first and the second floors.

Together with a monolithic ground slab, slabs and concrete walls, the basement floors create a rigid box in which the horizontal stiffening access cores are clamped.

In situ bored piles transfer concentrated loads on the cores and main columns into the bedrock, which also prevents unusual subsidence of the subgrade due to doline formation in karstified gipskeuper. Secondary columns that only transfer basement floor loads and are not required for the overall stability of the building, are shallow founded with strip footings.

gig auskragende Galerien um den Innenhof.

Die Untergeschosse bilden mit einer monolithischen Bodenplatte, Decken und betonierten Wänden einen steifen Kasten, in dem die horizontal aussteifenden Erschlissungskerne eingespannt sind. Ort beton bohrpfähle tragen konzentrierte Lasten bei den Kernen und Hauptstützen in den Felsuntergrund ab, wodurch auch aussergewöhnliche Einsenkungen des Baugrunds infolge Dolinenbildung im verkarsteten Gipskeuper vermieden werden können. Sekundäre Stützen, die nur Untergeschoss lasten abtragen und nicht für die Gesamtstabilität des Gebäudes erforderlich sind, sind mit Fundamentriegeln flach fundiert.

### Transfer structures

The central wing stretches 35 m across the atrium and absorbs the loads of the overlying eight floors. Its floor slab acts as a tension flange, while the slab over the 4th floor creates the compression flange. Together with the lateral end walls, they create a hollow rectangular box. The approx. 60 cm thick ground slab exhibits strong centric longitudinal prestressing for the tension flange effect. In the transverse

#### Bauherr/Owner

Bau- und Umweltschutzzdirektion  
 Kanton Basel-Landschaft, vertreten durch das/represented by the Hochbauamt, Basel-Landschaft

#### Bauausführung/Contractor

HRS Real Estate AG  
 Architekt/Architect  
 pool Architekten Zürich  
 Projektingenieur/Project engineer  
 Schnetzer Puskas Ingenieure AG  
 Gesamtleitung/Overall management  
 Perolini Baumanagement AG  
 Landschaftsarchitektur/Landscape architect  
 Schweingruber Zulauf

#### Fertigstellung/Completion

Sommer 2018



**Fig. 4**

Ansicht des Lehrgerüsts des Mitteltrakts und der um 45° geneigten Anschlussbewehrung.

**View of the falsework for the central wing and the 45° inclined connecting reinforcement.**

(© Martin Stollenwerk)

direction, a parabolic prestress is inserted, in addition, in the ground and the slab due to slab stress at a span of 14 m. The central wing rests with two corners each on columns and on the north and south cores. Due to the considerable shear loads of the side walls, a 45° inclined reinforcement is inserted, which merges continuously into the adjacent core walls. A force introduction detail made of steel was developed around the area of the columns, which transfers the forces through shear connectors and welded reinforcement bars to the solid steel cores of the column. Due to the clamping between the cores, the ground slab of the central wing could not be directly connected monolithically to the adjoining slabs, as is the case in a normal construction process. This would inevitably have resulted in concentrated cracks in the support areas due to contraction from prestressing, cooling down after the setting process and shrinkage. In order to avoid these adverse influences, the ground slab of the central wing on the 4th floor had to be concreted and prestressed in advance, while

gurtwirkung eine kräftige zentrische Längsvorspannung auf. In Querrichtung ist aufgrund der Plattenbeanspruchung bei einer Spannweite von 14 m im Boden und in der Decke zusätzlich eine parabelförmige Vorspannung eingelegt. Der Mitteltrakt liegt mit je zwei Eckpunkten auf Stützen respektive den Kernen Nord und Süd auf. Aufgrund der grossen Querkraftbeanspruchung der Seitenwände ist eine um 45° geneigte Bewehrung eingelegt, die kontinuierlich in die angrenzenden Kernwände übergeht. Im Bereich der Stützen wurde ein Krafteinleitungsdetail aus Stahl entwickelt, das die Kräfte über Kopfbolzendübel und angeschweisste Bewehrungseisen auf den Vollstahlkern der Stütze abträgt.

Aufgrund der Einspannung zwischen den Kernen konnte die Bodenplatte des Mitteltrakts nicht dem üblichen Bauablauf entsprechend direkt monolithisch mit den angrenzenden Decken verbunden werden. Dies hätte infolge der Kontraktionen durch die Vorspannung, des Abkühlens nach dem Abbindeprozess und der Schwindverkürzungen zwangsläufig zu konzentrierten Rissen in

detached from the cores and columns. After that, the connections to the core walls and the adjacent storey slabs were carried out. An impressive, free-standing falsework was erected in the

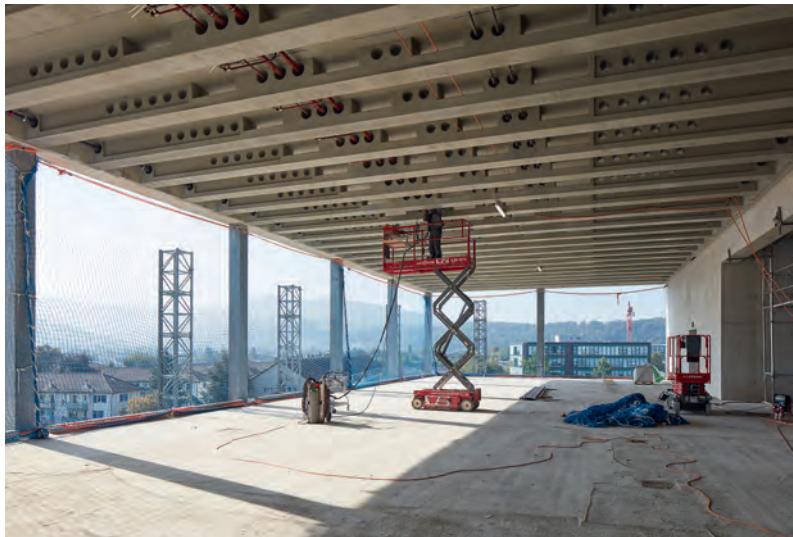


**Fig. 5**

Krafteinleitungsdetail im 2. Untergeschoss der Hauptstützen.

**Force introduction detail in the 2nd basement floor of the main columns.**

(© Martin Stollenwerk)



**Fig. 6**  
Fertige Rippendeckenuntersicht.  
**View of finished ribbed slab from below.**  
(© Martin Stollenwerk)



**Fig. 7**  
Lehrgerüst der vorgespannten Treppen im Atrium der FHNW.  
**Falsework for pretensioned staircases in the atrium of the FHNW.**  
(© Martin Stollenwerk)

den Auflagerbereichen geführt. Um diese ungünstigen Einflüsse zu vermeiden, musste die Bodenplatte des Mitteltrakts im 4. Obergeschoss losgelöst von den Kernen

courtyard, to enable this unusual construction process to be carried out. It was designed so that it could completely remove the support floor and the two overlying

und Stützen vorgängig betoniert und vorgespannt werden. Danach konnten die Anschlüsse an die Kernwände und angrenzenden Geschossdecken erstellt werden. Um diesen ungewöhnlichen Bauablauf zu ermöglichen, wurde im Innenhof ein imposantes, freistehendes Lehrgerüst aufgebaut. Dieses wurde so ausgelegt, dass es das Abfanggeschoss und zwei darüberliegende Geschosse komplett abtragen konnte, bevor es selber abgesenkt und entfernt wurde.

### Rippendecken

Aufgrund des hohen Installationsgrads der Räume der FHNW und des Anspruchs an flexible Raumgestaltung musste ein Deckensystem gefunden werden, das sowohl möglichst grosse, stützenfreie Räume schafft als auch genügend Möglichkeiten für die Haustechnikinstallationen bietet. Als optimales System wurden im Spannbettverfahren vorgespannte Rippendecken eruiert. Gegenüber Flachdecken sind diese deutlich leichter, was sich positiv auf die Dimensionierung der Deckenkonstruktion, aber auch auf die gesamte vertikale Lastabtragung bis zur Pfahlfundation auswirkt. Eine koordinierte Anordnung von Ausparungen ermöglichte das Queren von Haustechnikleitungen innerhalb der Rippen, was ein Optimum an Raumhöhe ergab. Ein weiterer positiver Aspekt dieses Deckensystems war ein effizienter Bauablauf dank einer Rollbewehrung für die oberen Bewehrungslagen des Deckenspiegels. Die Rippen wurden im Elementwerk mit 8 Litzen ( $P_{0,tot} = 1000 \text{ kN}$ ) im Spannbettverfahren erstellt und auf die Baustelle geliefert. Nach dem Versetzen wurden diese mit den angrenzenden Randunterzügen und dem Überbeton monolithisch ausbetoniert. Die Rippenplatten wurden so dimensioniert, dass sich durch die Überhöhung infolge der Vorspannung und dem zusätzlichen Gewicht des Überbetons im Bauzustand keine Durchbiegung ergab und keine Spriessung erforderlich war.

upper floors before it was lowered and removed itself.

## Ribbed slabs

Due to the high level of installation required for the rooms at the FHNW and the demand for flexible room design, a slab system had to be found that allowed for the creation of rooms that are as large as possible and also column-free, and that provided sufficient possibilities for the building services installations. It was decided that the ideal system involved ribbed slabs prestressed in a pre-stressing bed procedure. Compared with flat slabs, they are considerably lighter, which has a positive effect on the dimensioning of the slab construction and also on the overall vertical load transfer to the pile foundation. The coordinated arrangement of recesses made it possible to cross building services lines within the ribs, which resulted in an optimum room height. Another positive aspect of this slab system was the efficient progress in construction thanks to a roller reinforcement for the upper reinforcement layers of the reflected ceiling plan. The ribs were manufactured at the precast factory with 8 strands ( $P_{0,tot} = 1000 \text{ kN}$ ) in a prestressing bed procedure and delivered to the construction site. Once they were set, they were monolithically concreted to the adjacent edge beams and covered with the concrete overlay. The ribbed plates were dimensioned in such a way that there was no deflection resulting from elevation due to prestressing and the additional weight of the concrete overlay in the state of construction, and therefore no stay bracing was required.

## Prestressed staircases

Another striking feature of the campus is the six staircases in the atrium that provide access to the public spaces at the university. They stretch for up to 24 m over the atrium. The strong flanges with parabolic pretension are connected to each other and stabilised by way of the slender treads. In

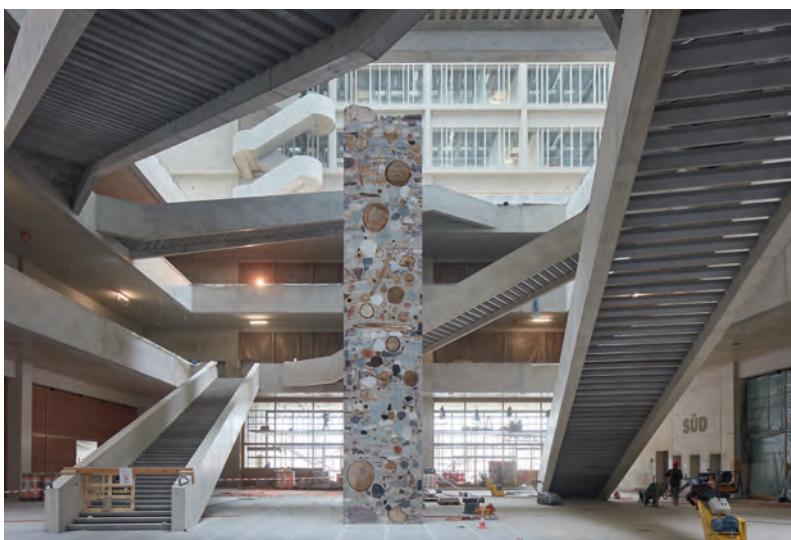


Fig. 8

«Nougat (wie tief ist die Zeit?)» von Katja Schenker im Atrium der FHNW.  
“Nougat (how deep is time?)” by Katja Schenker in the atrium of the FHNW.  
(© Martin Stollenwerk)

## Vorgespannte Treppen

Ein ebenfalls markantes Element des Campus bilden die sechs Treppen im Atrium, die die öffentlichen Räume der Fachhochschule erschliessen. Sie spannen bis zu 24 m weit über das Atrium. Die kräftigen Wangen mit einer parabelförmigen Vorspannung werden durch die filigranen Tritte miteinander verbunden und stabilisiert. Um die Durchbiegungen bei den Treppenaufplagern auf den auskragenden Galeriedecken zu minimieren, wurden bei den Galerieumgängen Brüstungen in Ortbeton vorgesehen. Aufgrund der hohen Anforderungen an die Qualität der Treppen wurden die Tritte vorgefertigt und im Werk geschliffen. Die Wangen wurden mit Lehrgerüsten vor Ort geschalt, die vorgefertigten Tritte in die Schalung versetzt und in die Wangen einbetoniert.

## Nougat – Kunst am Bau

In der Mitte des Atriums thront zudem das Werk «Nougat (wie tief ist die Zeit?)» der Künstlerin Katja Schenker, ein 10,5 m hoher Monolith mit einer 2 x 2 m messenden quadratischen Grundfläche.

order to minimise deflections in the staircase supports on the cantilevered gallery slabs, balustrades made from in-situ concrete were planned for the gallery corridors. Due to the high standard of quality required for the staircases, the treads were prefabricated and sanded in the factory. The flanges were formed on site using false-works, and the prefabricated treads were placed in the formwork and concreted into the flanges.

## Nougat – art in architecture

At the centre of the atrium stands the sculpture “Nougat (how deep is time?)” by the artist Katja Schenker, a 10.5 m high monolith with a 2 x 2 m square base.

### Autoren/Authors

Stefan Bänziger  
dipl. Ing. ETH  
s.baenziger@schnetzerpuskas.com

Timothy Hafen  
dipl. Ing. ETH  
t.hafen@schnetzerpuskas.com

Schnetzer Puskas Ingenieure AG  
CH-8003 Zürich

# Fernwärmezentrale Waldau, St. Gallen

## Waldau district heating centre, St. Gallen

Hans Seelhofer

### Einleitung

Das Fernwärmennetz der Stadt St. Gallen versorgt mehr als 11 000 Wohnungen und Betriebe mit Wärmeenergie zu Heizzwecken. Im Rahmen der Energiestrategie 2050 der Stadt St. Gallen ist ein wesentlicher Ausbau des Fernwärmennetzes geplant. Im Zuge der Ausbauphase 1 wurde die Fernwärmezentrale Waldau errichtet, die als Unterstation für die Verteilung der Heizenergie aus dem Kehrrichttheizkraftwerk dient.

Neben den Netzpumpen beherbergt die Fernwärmezentrale insbesondere zwei mit Heizöl betriebene Spitzenlastheizkessel mit je 16 MW Leistung, ein Tanklager für 450 000 l Öl sowie einen 150 000 l fassenden Warmwasserspeicher, um den Not- und Spitzenbedarf des Fernwärmeverbunds zu decken. Zwei Querraster der Halle werden außerdem für die Lagerung von bis zu 600 t Tausalz für den Strassenwinterdienst des Tiefbauamts der Stadt St. Gallen genutzt.

### Gesamtkonzeption

Das Projekt, das beim Studienauftrag nach Präqualifikation den Zuschlag erhalten hatte, basiert auf einem Systembaukonzept, das von den St. Galler Stadtwerken an verschiedenen Standorten und für unterschiedliche Nutzungen eingesetzt werden kann. Das Hallenträgerwerk mit längsseitig erweiterbarem Grundraster von 6 mal 6 Metern ermöglicht den Stadtwerken in unterschiedlichen städtischen Situationen einen eigenständigen und wiedererkennbaren baulichen Auftritt.

Die Primärtragstruktur ist aus hochfesten vorfabrizierten Betonelementen gefertigt, was bei den Ausfachungen je nach Nutzung Gestaltungsspielraum offen lässt. Um die Schallschutzanforderungen der im Siedlungsraum platzierten

### Introduction

The district heating network of the city of St. Gallen provides thermal energy for heating to over 11,000 apartments and businesses. A significant extension of the district heating network is under way as part of the "Energy Strategy 2050" of the city of St. Gallen. Extension Phase 1 consists of the construction of the Waldau district heating centre, which serves as a substation for the distribution of the thermal energy generated in the waste-to-energy plant. To meet emergency and peak demands, the district heating centre houses not only the heat pumps but also two 16-MW fuel-oil-powered peak load boilers, a 450,000-litre oil depot, and a 150,000-litre hot-water tank. Two sections of the hall are used to store up to 600 t of deicing salt for the winter road services of the St. Galler Stadtwerke (Civil Engineering Department of St. Gallen).

### Global concept

This project, which was chosen based on a study contract after prequalification, is based on a modular construction concept, which can be applied by St. Galler Stadtwerke at various locations and for a variety of uses. The hall construction, which consists of a modular grid of 6 by 6 metres and can be extended lengthwise, allows the St. Galler Stadtwerke to achieve a distinct and recognizable architectural look at various locations in the city.

The primary load-bearing structure consists of prefabricated high-strength concrete elements, which can offer a flexible design of the infill walls, depending on the intended use. In order to meet the noise protection requirements of the facility, which is located in a residential area, the infill walls of this construction were made of

Anlage zu erfüllen, wurden die Ausfachungen in der vorliegenden Konfiguration in Massivbauweise gewählt, wobei hierfür Mischabbruch-Recyclingbeton in Sichtbetonbauweise eingesetzt wurde. Die Nachbearbeitung der Außenfassade und der Treppenhalle durch Stocken machte den Recyclingbeton zudem als solchen sichtbar. Nachhaltige Energieproduktion und ressourcenschonender Umgang mit dem Baumaterial Beton erhalten damit ihren angemessenen Ausdruck im innerstädtischen Kontext. Die Shedaufbauten des Systems bringen nordseitig Licht in die Gebäudestruktur und sind südseitig auf solare Energiegewinnung ausgerichtet.

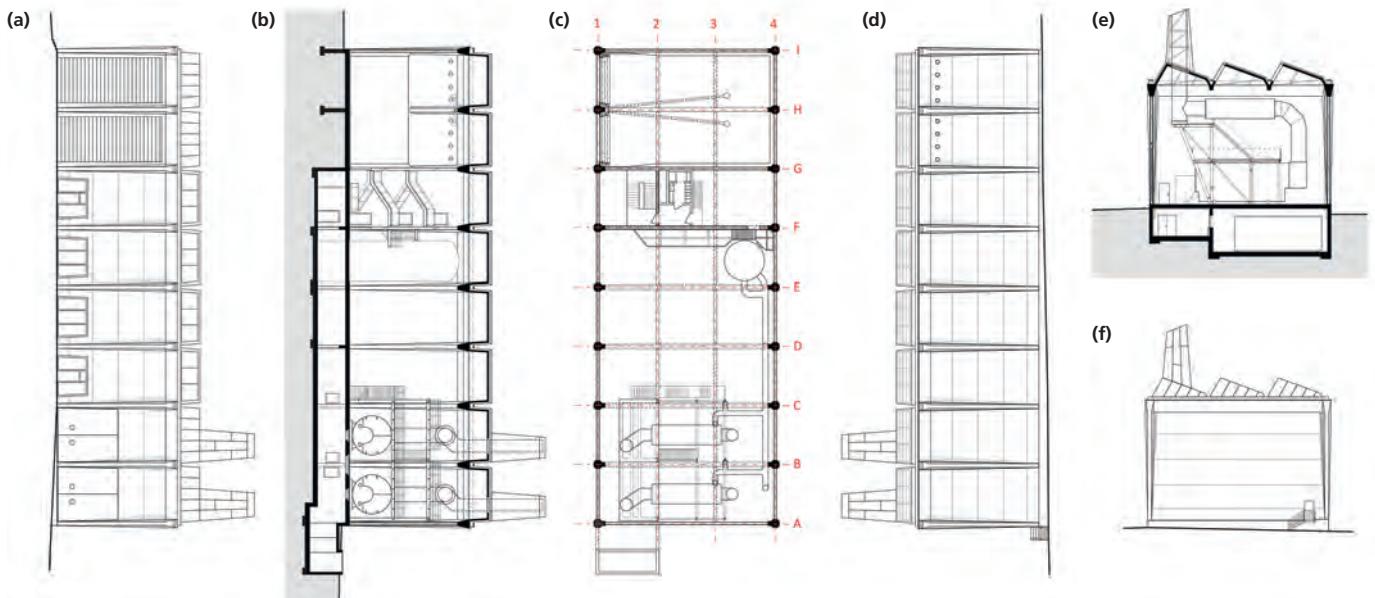
### Tragwerk

Das Tragwerk der Fernwärmezentrale Waldau setzt sich im Wesentlichen aus dem Untergeschoss in Ortbetonbauweise und einem aufgesetzten Hallenkörper, bestehend aus vorfabrizierten Betonelementen mit Ortbetonwandaufschüttungen, zusammen [1].

Für die Treppen, die Unterkonstruktion der Wetterschutzhülle der beiden Kamine sowie für eine Podestkonstruktion und eine Galerie zur Gewährleistung des Zugangs zu den technischen Installationen werden Tragwerkselemente in Stahlbauweise eingesetzt.

### Tragskelett

Das Hallenträgerwerk weist im Grundriss ein Quadratraster mit Sprungmaß 6 m auf, wobei in Längsrichtung 8 und in Querrichtung 3 Rastereinheiten angeordnet sind. Das Primärtragskelett der Halle besteht aus vorfabrizierten Betonelementen der Festigkeitsklasse C 50/60. In Querrichtung angeordnete Zweigelenkrahmen bilden die Haupttragele-



**Fig. 1**

Übersicht: a) Ansicht Nordseite, b) Längsschnitt, c) Grundriss 2. OG, d) Ansicht Südseite, e) Querschnitt, f) Ansicht Westseite.  
Overview: a) view from the north, b) longitudinal section, c) plan view of the second floor, d) view from the south, e) cross-section, f) view from the west.

(© Thomas K. Keller Architekten)

exposed concrete containing demolition waste aggregate. The post-treatment (bush hammering) of the façade and the staircase emphasizes the recycled nature of the concrete. Sustainable energy production and the resource-saving use of the building material of concrete are thus suitably expressed in an innercity context. The shed roof elements of the system allow daylight to enter the structure from the north, while

mente der Halle. Deren Rahmenriegel weisen einen trapezförmigen, sich nach unten von 0,85 m auf 0,40 m Breite verjüngenden Querschnitt von 1,20 m Höhe auf. Die Stützenquerschnitte wurden affin zur Biegebeanspruchung von der Rahmenecke ausgehend bis zum Fuss auf einen quadratischen Querschnitt mit Seitenlänge 0,40 m verjüngt. Die Riegel und Stiele der Querrahmen bilden vorfabrizierte Betonelemente mit

the south-facing surfaces are used to produce solar energy.

### Load-bearing structure

The Waldau district heating centre consists of a basement made of in-situ concrete, and the hall, which is comprised of prefabricated concrete elements and in-situ concrete infill walls [1]. Structural steel elements were used for the stairs, the sub-construction of the weather protec-



**Fig. 2**

a) Nordfassade, b) Innenansicht des Shedachtragwerks.  
a) Northern façade, b) interior view of the shed roof structure.  
(Fotos Katalin Deér)

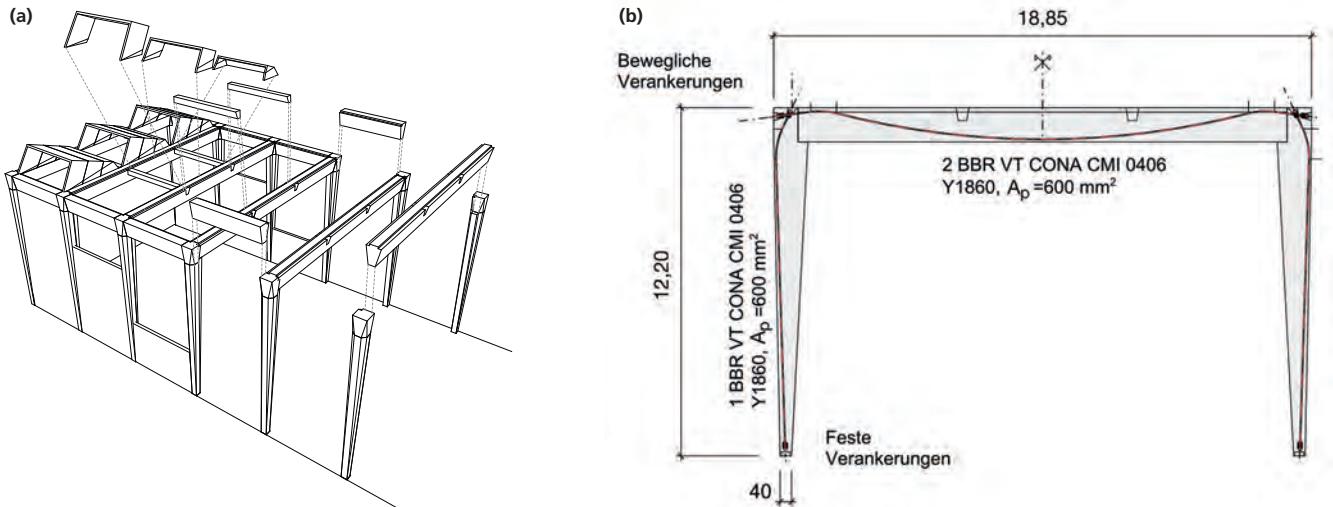


Fig. 3

a) Übersicht Hallentragwerk (Perspektive), b) Querrahmen: Übersicht und Spannkabelführung.

a) Overview of the hall structure (perspective), b) transverse frame: overview and post-tension cable geometry.

transportfähigen Abmessungen. Sie sind unmittelbar neben dem Rahmenknoten beim Übergang zum Riegel gefügt. Das Querrahmentragwerk wurde mit einer Vorspannung mit nachträglichem Verbund versehen. Vier Litzen aus Spannstahl Y1860 mit je  $150 \text{ mm}^2$  Querschnittsfläche bilden das Vorspannkabel der Stützen, dessen Verlauf sich an der Biegebeanspruchung des Rahmens orientiert. Die Rahmenriegel wiederum sind mit zwei Spannkabeln des gleichen Typs versehen, wobei die Litzen bei den Riegeln nach dem Versetzen der Elemente nachträglich eingestossen und vorgespannt wurden.

Entlang des Dachrands wurden in Längsrichtung schlaff bewehrte Trägerelemente mit identischem Querschnitt wie die Querrahmenriegel eingefügt, die in Verbindung mit den Stützen Längsrahmen mit Fussgelenk bilden und so das Tragskelett des räumlichen Rahmentragwerks komplettieren.

In den Drittelpunkten der Querrahmen angeordnete Längsträger spannen die quadratischen Dachrasterfelder mit Seitenlängen von 6,0 m auf.

#### Ausfachung

Die Ausfachungen des Haupttrag skeletts bilden Ortbetonwände

tion envelopes of the two chim neys, a platform construction, and a gallery affording access to the technical installations.

#### Load-bearing framework

The layout of the hall construction consists of a grid of 6-metre squares, with eight units in the longitudinal direction and three units in the transverse direction. The primary load-bearing structure of the hall is composed of prefabricated concrete elements (strength class C 50/60). The principal load-bearing elements of the hall are transverse two-hinged portal frames. The trapezoidal cross-section of the frame rafters is 1.20 m high and between 0.85 m (top) and 0.40 m (bottom) wide. In keeping with the bending moment curve, the side length of the square column cross-section decreases to 0.40 m at the bottom of the portal frame. The portal frame rafters and columns consist of prefabricated concrete elements that are easy to transport.

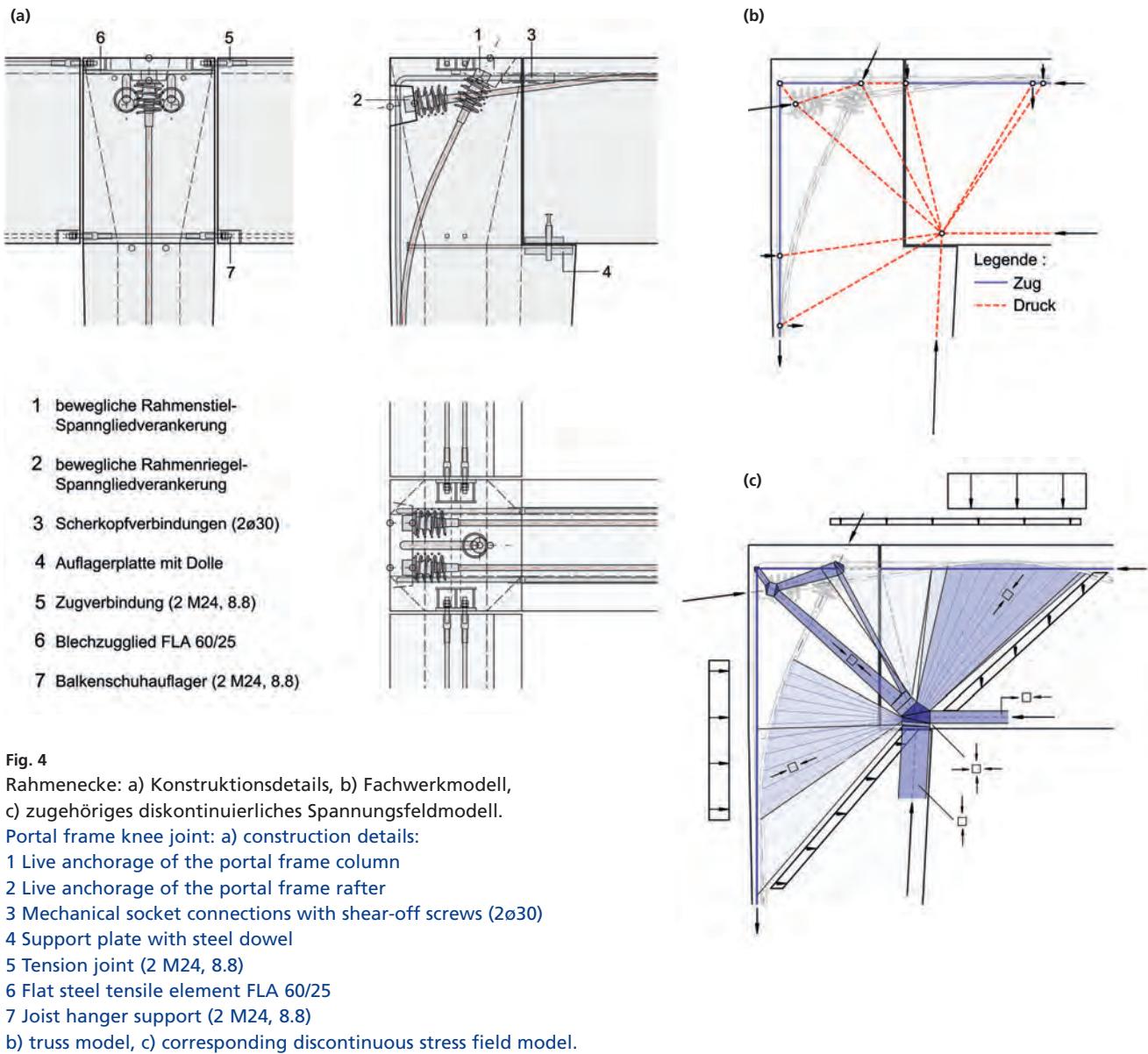
They are connected to each other right next to the knee joints at either end of the beams. The frames were post-tensioned using bonded steel tendons. Four strands of prestressing steel Y1860 with a cross-section area of  $150 \text{ mm}^2$  were used for the post-tensioning of the columns. The tendon geo

**Bauherrschaft/Owner**  
St. Galler Stadtwerke  
**Architektur/Architect**  
Thomas K. Keller Architekten,  
St. Gallen  
**Tragwerksplanung/**  
**Structural engineering**  
Dr. Lüchinger+Meyer Bauingenieure  
AG, Zürich  
**Bauunternehmung/Contractor**  
Bruderer Bau AG, St. Gallen  
**Elementbau/Prefabricated elements**  
Element AG, Veltheim

**Fertigstellung/Completion**  
Frühling 2017

aus Mischabbruch-Recyclingbeton (RC-M-Beton), die im Regelbereich 0,25 m dick ausgeführt wurden. Damit die Recyclingbetonzuschläge erkennbar sind und optisch eine Differenzierung vom Haupttragskelett resultiert, wurden die aussenseitigen Wandoberflächen nachträglich gestockt. Die Zusammensetzung des RC-M-Betons wurde anhand von Vorversuchen festgelegt, anlässlich derer neben den mechanischen Festbetoneigenschaften und dem Erscheinungsbild der gestockten Betonoberflächen insbesondere auch die Verarbeitbarkeit untersucht wurde.

Der derart evaluierte Beton der Festigkeitsklasse C30/37 mit



metry corresponds to the bending moment curve of the frame. The rafters were post-tensioned with two tendons of the same type, which were inserted and stressed after the elements had been assembled.

Longitudinal reinforced concrete beams with the same cross-section as the portal frame rafters were inserted along the edge of the roof. Together with the portal frame columns they form longitudinal portal frames with hinges at the bottom of the columns and thus complete the load-bearing framework of the structure. Longitudinal beams at third points of the transverse frames delimit the roof grid squares (edge length 6.0 m).

einem Grösstkorn von 16 mm enthielt schliesslich 50% gewaschene und fraktionierte Mischanbruchzuschläge. Im Bereich der beiden letzten Querraster (Achsen G bis I) wurden die Ausfachungen in die Bodenplatte eingespannt ausgebildet und bis auf eine Höhe von 3,60 m mit einer Dicke von 0,40 m ausgeführt, um die Horizontalkräfte der Streusalzschüttung abzutragen.

Um die Dauerhaftigkeit der ge stockten und der Witterung ausgesetzten Außenflächen der Ausfachungen zu gewährleisten, wurde neben einer erhöhten Bewehrungsüberdeckung bei den äusseren beiden Bewehrungslagen verzinkter Betonstahl ver-

### Infill

The infill walls between the load-bearing frames are made of in-situ concrete containing demolition waste aggregate. The infill walls generally have a thickness of 0.25 m. In order to render the demolition waste aggregate more visible and to distinguish the infill walls from the main load-bearing structure, the exterior wall surfaces were bush-hammered. The required concrete composition was determined in preliminary tests, which were further used to investigate the mechanical properties of the hardened concrete, the appearance of the bush-hammered surfaces, and the workability of the fresh concrete.



**Fig. 5**

Aufrichten des Betonrahmentragwerks.  
Erection of the load-bearing concrete structure.  
(Foto Katalin Deér)

wendet; ferner wurde eine Hydrophobierung appliziert. Im Bereich des Salzlagers sind Ausfachungen und Bodenplatte mit einer flächigen Abdichtung versehen.

#### Betontore

Um die beiden Heizkessel einbringen und nach Erreichen der Nutzungsdauer austauschen zu können, wurde die Ortbetonausfachung zwischen den Achsen A und C (vgl. Fig. 1) mit je einer Einbringöffnung versehen, die mit rund 6 m hohen Doppelflügel-Betontoren mit einer variablen Wanddicke von 0,18 bis 0,30 m verschlossen werden kann.

#### Sheddach

Die quadratischen Dachfelder werden von shedartig gestalteten Dachfaltwerken überspannt, die sich im Grundriss je nach Exposition der Halle jeweils um 90° gedreht einsetzen lassen.

Die sich rund 2,1 m über die Rahmenriegeebene erhebenden Dachsheds setzen sich aus jeweils drei vorfabrizierten Betonelementen mit einer Wandstärke

The ultimately used concrete (strength class C 30/37; maximum aggregate size 16 mm) contained 50% washed and fractionated demolition waste aggregate. In the area of the last two transverse grid lines (axes G to I), the infill walls are attached to the floor plate by a fixed connection. The walls are 0.40 m thick up to a height of 3.60 m in order to resist the horizontal loads due to the stored deicing salt.

To ensure sufficient durability of the bush-hammered exterior surfaces of the infill walls, which are exposed to the weather, the concrete cover was increased, galvanized reinforcing steel was used for the two outermost reinforcement layers, and an additional hydrophobic layer was applied. A waterproofing layer was applied to the infill walls and floor surfaces in the deicing salt storage area.

#### Concrete doors

To permit the installation of the two boilers and their replacement at the end of their service lives, two service openings were in-

von 150 mm zusammen, die bei den Fugen über Stahleinlegeteile schubfest zu einer Faltwerkstruktur gefügt sind. Im Bereich der beiden Kamine wurden die Sheds mit einer kreisrunden Öffnung versehen und für den Abtrag der Kaminhüllenreaktionen mit einer Verstärkungsrippe ausgestattet.

#### Ausgewählte Konstruktionsdetails

Die einzelnen vorfabrizierten Elemente der Querrahmen sind in den Ecken vorwiegend über die Vorspannung zu Rahmen gefügt. Außerdem wurden zur unmittelbaren Verbindung und Lagesicherung der Teile auf der Biegezugseite Bewehrungsstäbe über Scherkopfverbindungen verbunden. Insgesamt resultieren trotz der geometrischen Aufweitung des Querschnitts sehr knappe Platzverhältnisse, die eine detaillierte räumlich-konstruktive Abstim-

#### Referenzen/References

- [1] H. Seelhofer: Fernwärmezentrale Waldau, St. Gallen, Beton- und Stahlbetonbau, 113. Jg., H. 5, 2018, pp. 401–407.

serted in the concrete infill walls between axes A and C (Fig. 1). The openings can be closed with 6 m high concrete double doors with thicknesses between 0.18 m and 0.30 m.

### Shed roof

The roof-grid squares are straddled by shed roof-like folded structures. Depending on the orientation of the hall, the shed roof elements can be aligned with the long or short side of the hall.

The shed roof elements, which extend approximately 2.1 m above the portal frame rafters, are composed of three 150 mm thick prefabricated concrete elements. Steel inserts are used to create shear connections between the elements of the folded structure. Circular openings were installed in the roof elements in the areas around the two chimneys. Reinforcing ribs were added to assist in the transfer of the reactions of the chimney structure.

### Selected construction details

The individual prefabricated elements comprising the transverse frames are held together at the knee joints by the post-tensioning forces. To connect the elements and hold them in place during assembly, the reinforcing bars on the flexural tension side of the frames were joined with mechanical socket connections with shear-off screws.

Despite the wider cross-section at the top of the column the available space was very limited and required a detailed spatial-constructional coordination of the post-tensioning anchorages, steel elements, and reinforcement. The force flow in the knee joint of the frame can be seen in the truss model in Fig. 4b and in the corresponding discontinuous stress field of the governing load case in Fig. 4c. Fig. 4a shows the design of the connections at the knee joint corresponding to the models. The load transfer across the butt joints of the longitudinal beams is achieved by using steel dowel connections.

mung der Vorspannverankerungen, Stahlbauteile und Bewehrung erforderten. Der Kraftfluss in der Rahmenecke ist anhand des Fachwerkmodells in Fig. 4b bzw. des zugehörigen diskontinuierlichen Spannungsfelds des massgebenden Lastfalls in Fig. 4c ersichtlich. Fig. 4a zeigt die mit der Modellierung korrespondierende konstruktive Ausgestaltung der Verbindungen im Knotenbereich. Der Kraftübertrag über die stumpf gestalteten Längsträgerstöße wurde mit balkenschuhartig ausgebildeten Stahleinbauteilen bewerkstelligt.

Die Ortbetonaufschüttungen sind über Rückbiegeanschlüsse seitlich und oben mit dem Haupttrag skelett verbunden. Um insbesondere den Abtrag von Anprall lasten über die Rahmenstiele in die Untergeschossdecke zu gewährleisten, sind diese am Fuss mit Schubdübeln, bestehend aus 80 mm dicken VKT-Stahlprofilen, ausgestattet, die in kurze, anschliessend mit Vergussmörtel verfüllte Köcher versetzt wurden.

### Ausführung

Der Bauablauf war von einer engen Koordination der Baumeisterarbeiten mit den gleichzeitig durchgeföhrten Installationen der grossen Technikkomponenten geprägt.

Die Ortbetonaufschüttungen wurden vertikal jeweils in 3 Etappen ausgeführt. Bei der obersten Etappe reichte die Aufschüttungswand bis unmittelbar an die bereits versetzten Betonträger des Haupttragskeletts. Hierbei wurde der Beton über einen Schalungskeil seitlich eingebracht, während für das Verdichten mit der Rüttelflasche vertikale Futterrohre in die Betonträger eingelegt wurden.

Um bei den Betontoren möglichst ein den Ausfachungen identisches Erscheinungsbild zu erhalten, wurden die rund 8,5 t schweren Betontorflügel ausserhalb des Bauwerks in stehender Position mit gleicher horizontaler Arbeits fügungslage wie die übrigen Ausfachungen erstellt und nachträglich eingehoben.

Rebend connections are used to connect the in-situ concrete infill walls to the load-bearing structure. In order to allow the portal frame columns to transfer impact loads to the basement floor, they are equipped with shear connectors. These consist of 80-mm square steel dowels inserted into subsequently grouted steel shoes.

### Construction

Construction was characterized by close coordination between the building works and the simultaneously executed installation of the large technology components. The concrete infill walls were constructed vertically in three stages. At the final stage the infill walls reached the concrete beams of the previously assembled load-bearing structure. The concrete was poured laterally through a formwork wedge, and vertical pipes were inserted in the concrete beams to allow for the use of a vibrator.

To achieve an appearance of the concrete doors nearly identical to that of the infill walls, the 8.5-t door wings were constructed vertically outside the building, and the horizontal construction joints were positioned at the same height as those of the infill walls. The doors were installed subsequently.

#### Autor/Author

Hans Seelhofer  
Dr. sc. techn., dipl. Bau-Ing. ETH SIA  
Dr. Lüchinger+Meyer  
Bauingenieure AG  
CH-8005 Zürich  
hse@luechingermeyer.ch

# Centro scolastico Nosedo – Massagno (TI)

## School centre Nosedo – Massagno (TI)

Franco Lurati, Livio Muttoni, Mario Passerini, Aurelio Muttoni

### Introduzione

Obiettivo del progetto sono il risanamento e l'ampliamento della scuola elementare edificata negli anni '60 dall'architetto Finzi e la nuova costruzione di una doppia palestra e di una mensa. Le aree pubbliche e sportive del complesso scolastico si adagiano su diversi piani orizzontali in continuità con l'ambiente circostante.

La nuova palestra doppia è scavata nel terreno e da esso sorge e si erge esprimendosi in un'architettura grezza a sottolineare la sua appartenenza al suolo che la genera. La copertura della stessa è accessibile al pubblico ed i sedimi così riorganizzati trasformano il territorio in spazi pubblici in relazione con l'abitato.

Nell'ambito del risanamento, le strutture esistenti sono mantenute integralmente adeguando ed

### Introduction

The project objectives are the renovation and extension of the elementary school, built in 1960s by the architect Finzi, along with the construction of a new double gymnasium and cafeteria. The public and sporting areas of the school complex are laid out on various horizontal levels, keeping in line with the surrounding environment.

The new double gymnasium is dug into the ground, rising up and standing out with its rough architecture, highlighting its connection to the ground that created it. The gymnasium roof is accessible to the public, and the restructured complex transforms the area into public spaces connected to the community.

Regarding the renovation, the existing structures are completely

ampliando gli spazi alle moderne esigenze tecniche, energetiche e pedagogiche.

Secondo gli interessi della presente pubblicazione l'articolo è focalizzato sulle strutture in calcestruzzo armato della nuova palestra doppia e della mensa.

### Considerazioni strutturali

Le strutture portanti della nuova palestra e della mensa sono state realizzate in calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso.

La soletta di copertura della palestra presenta una struttura portante composta di travi in calcestruzzo armato precompresso con altezza pari a 1,25 m ed una soletta di completamento in calcestruzzo armato di 0,15 m di spessore. Le travi, di spessore pari a 0,25 m rispettivamente 0,40 m in corri-

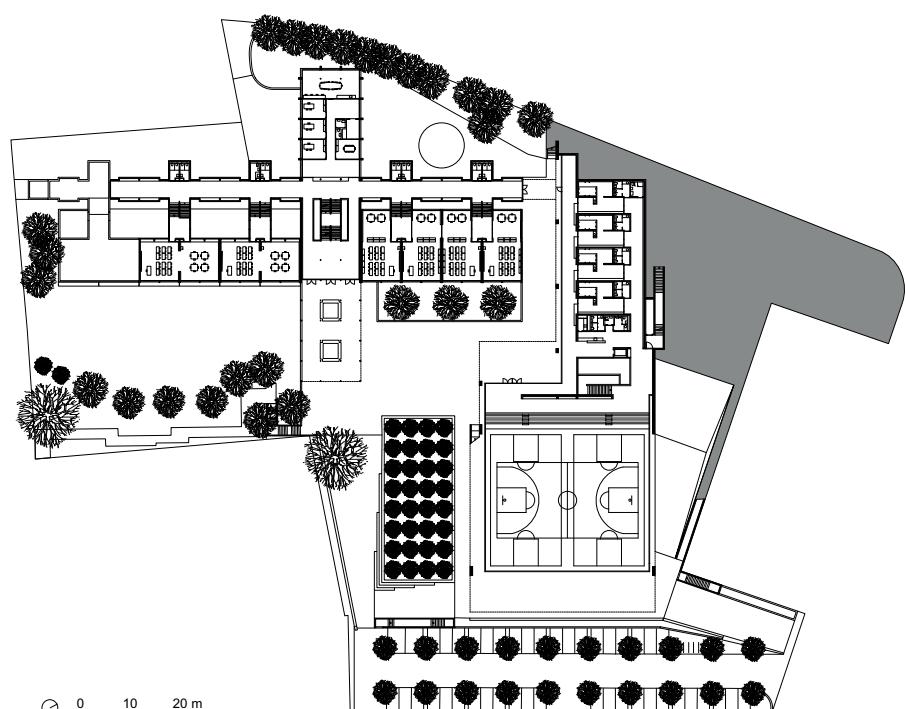


Fig. 1

Pianta piano terreno del complesso scolastico.  
Situation of the ground floor of the school complex.



Fig. 2

Facciata Sud.

South façade.

(© Daniela Droz & Tonatiuh Ambrosetti)

maintained, the spaces adapted and enlarged to modern technical, energy and educational needs. In the interest of this publication, the article focuses on the reinforced concrete structures of the new double gymnasium and cafeteria.

### Structural considerations

The structures of the new gymnasium and cafeteria have been built using reinforced concrete and prestressed reinforced concrete.

The gymnasium's roof slab is composed of prestressed reinforced concrete beams with a height of 1.25 m, along with a 0.15 m thick completion slab made of reinforced concrete. With a thickness equal to 0.25 m or 0.40 m, in correspondence with the prestressing cable anchors, the beams are arranged with a central space of 2.20 m and rest on the peripheral walls of the gymnasium. The prestressing of the beams consists of two cables of 12 strands with 150 mm<sup>2</sup> each and compensates for the stress of permanent loads (partial prestressing). At both ends of the slab there are box sec-

spondenza degli ancoraggi dei cavi di precompressione, sono disposte con interasse di 2,20 m ed appoggiano sulle pareti perimetrali della palestra. La precompressione delle travi è costituita da due cavi di 12 trefoli da 150 mm<sup>2</sup> cadauno e compensa le sollecitazioni dei carichi permanenti (precompressione parziale). Alle due estremità la soletta presenta una sezione a cassone. La facciata Est è priva di appoggi e presenta una grande apertura vetrata.

Le pareti di appoggio longitudinali Sud e Nord sono caratterizzate da grandi aperture triangolari. Anche in questa parte d'opera sono presenti due cavi di precompressione di 7 trefoli da 150 mm<sup>2</sup> cadauno. In corrispondenza della facciata longitudinale Sud, la scala esterna di accesso alla copertura determina una discontinuità strutturale. In pianta questa facciata presenta infatti due assi paralleli uniti dal prolungamento delle travi trasversali.

Agli appoggi delle facciate Sud e Nord la spinta orizzontale generata dall'azione ad arco delle pareti è ripresa da tiranti precompressi costituiti da due cavi di 7

tions. The East façade has no supporting beams and presents a large glass opening.

The North and South longitudinal supporting walls feature large triangular openings. Also, to construct these, there are two cables of 7 strands with 150 mm<sup>2</sup> each. In correspondence with the longitudinal South façade, the external staircase with access to the roof creates a structural discontinuity. On the plans, this façade is presented with two parallel axes connected by the extension of the transverse beams.

For the supports of the South and North façades, the horizontal pressures generated by the arched walls are absorbed by the prestressed tendons made of two cables of 7 strands with 150 mm<sup>2</sup> on the North side and one cable of 12 strands with 150 mm<sup>2</sup> on the South side, the latter positioned eccentrically and in line with the axis of the external façade.

The main body of the gym, and its equipment rooms, is partially underground. The foundations are shallow and are made of reinforced concrete slabs with local reinforcements to correspond



**Fig. 3**  
Facciata Est e Nord.  
North and east façades.  
(© Daniela Droz & Tonatiuh Ambrosetti)

trefoli da 150 mm<sup>2</sup> sul lato Nord, rispettivamente un cavo di 12 trefoli da 150 mm<sup>2</sup> a Sud, quest'ultimo posizionato in modo eccentrico in corrispondenza dell'asse di facciata esterno.

Il corpo della palestra con i relativi locali tecnici è parzialmente interrato. Le fondazioni sono di tipo superficiale caratterizzate da platee in calcestruzzo armato con rinforzi locali in corrispondenza di carichi importanti. Le fondazioni sono inserite nel substrato roccioso. La platea degli spogliatoi, situata ad una quota superiore, è invece fondata su materiale morenico. In corrispondenza della platea della doppia palestra la sottospinta indotta dalle acque di infiltrazione è ripresa mediante micropali.

with concentrated loads. The foundations are laid on the bedrock. However, the ground slab of the changing rooms, situated at a higher level, is laid on moraine material. Corresponding with the foundation slabs of the double gym, uplift caused by water infiltration is absorbed by micropiles. The horizontal forces due to wind and earthquake are absorbed both by the walls, at various levels, and by the slabs. Both the walls and the slabs, although rigid, allow forces to be distributed to the various resistant elements.

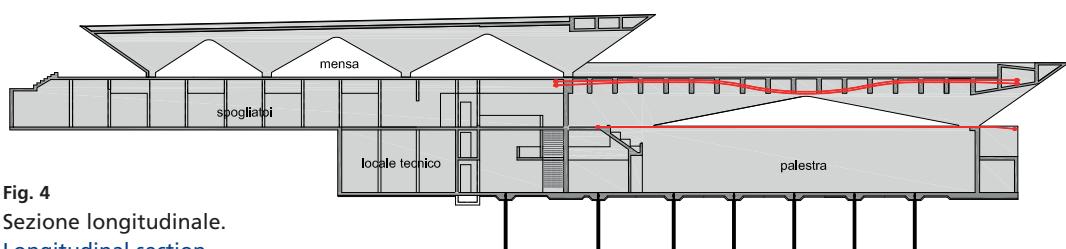
#### **Construction and structural detailing**

The realisation of the gymnasium roof is strongly influenced by the aesthetic requirements of exposed

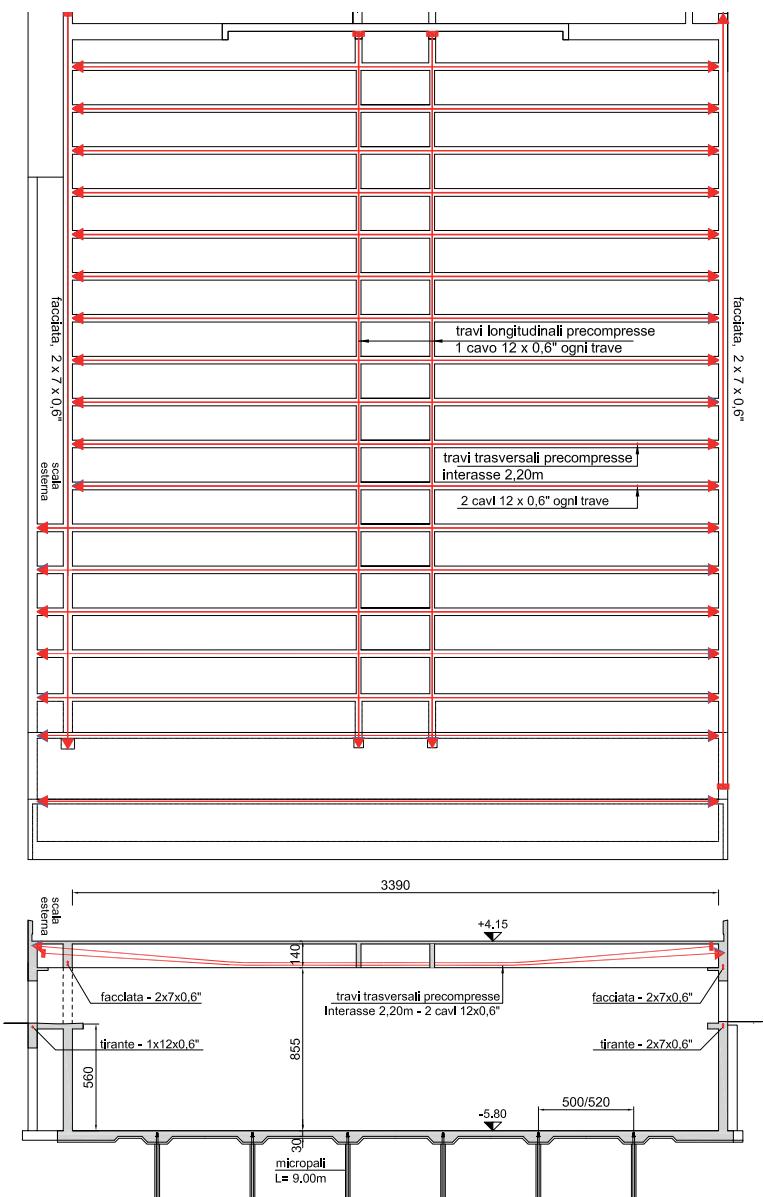
Le forze orizzontali dovute al vento e al sisma sono riprese dalle pareti presenti sui diversi livelli e dalle solette. Queste, rigide nel proprio piano, permettono la distribuzione degli sforzi sui diversi elementi resistenti.

#### **Costruzione e dettagli costruttivi**

La realizzazione della copertura della palestra è fortemente influenzata dai requisiti estetici del calcestruzzo faccia a vista, privo di giunti di lavoro e nicchie di tesaatura dei cavi di precompressione. Nella messa in opera la soletta di copertura è stata gettata prima delle pareti perimetrali. La centina della soletta di copertura è stata pertanto eseguita in modo da poter sostenere il carico ripartito



**Fig. 4**  
Sezione longitudinale.  
Longitudinal section.



**Fig. 5**

Soletta di copertura, pianta e sezione.  
Roof slab: situation and section.



**Fig. 6**

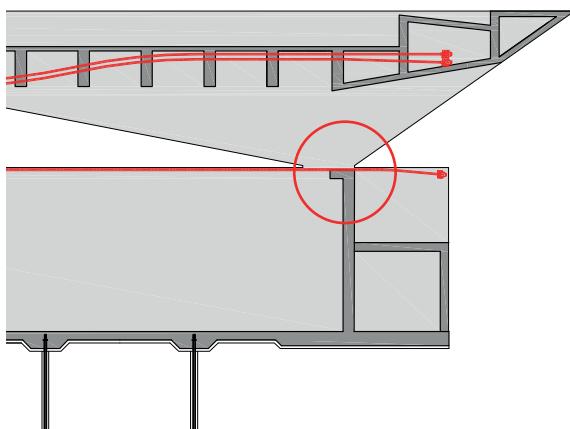
Dettaglio facciata Sud.  
Detail of the south façade.

(© Daniela Droz & Tonatiuh Ambrosetti)

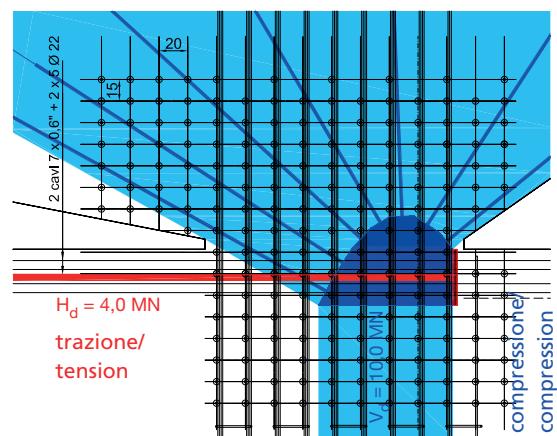


**Fig. 7**

Facciata Sud ed Est.  
North and east façades.



**Fig. 8**  
Appoggio delle facciate Sud e Nord.  
Supports of the south and north façades.



**Fig. 9**  
Dettaglio appoggio facciate.  
Detail of the façade support.

del calcestruzzo durante il getto della copertura e debitamente rinforzata alle estremità delle travi in modo da sostenere i carichi concentrati delle stesse dopo la tesatura dei cavi di precompressione. La soletta di copertura è stata realizzata con un unico getto così come le facciate perimetrali (porzione fuori terra). Le strutture interrate, in particolare platea ed elevazioni della palestra, dei locali tecnici e degli spogliatoi sono state eseguite con il sistema della «vasca bianca» così da assicurarne l'impermeabilità.

Particolare attenzione è stata infine rivolta alle zone di appoggio delle facciate Sud e Nord sollecitate da sforzi assiali importanti e alla distribuzione di quest'ultimi nelle pareti sottostanti, irrigidite localmente da contrafforti verticali. Agli appoggi la sollecitazione

concrete, without construction joints and visible recesses for the prestressing cables. During construction, the roof slab was laid before the erection of the perimeter walls. The false-work of the roof slab has been constructed in order to support the distributed weight of the concrete while pouring the roof and has been suitably reinforced at the edges of the prestressed beams to support the concentrated weight after the installation of the prestressing cables. The roof slab has been casted in one single stage, as has been done with the perimeter façades (the sections above ground).

The underground structures, in particular the foundations and elevations of the gymnasium, equipment rooms and changing rooms, have been designed in line with a "white-tank" system to ensure waterproofing.

Particular attention has been paid to the supporting areas of the South and North faces, which are subjected to major axial forces, and to the distribution of such forces into the underlying walls, locally reinforced by vertical struts. The axial pressure on the supports reaches a force of ca. 11 MN and presents a tilt of almost 22° (vertical force ca. 10 MN, horizontal force ca. 4 MN).

assiale raggiunge uno sforzo di ca. 11 MN e presenta un'inclinazione di circa 22° (sforzo verticale ca. 10 MN, sforzo orizzontale ca. 4 MN).

#### Autori/Authors

Franco Lurati  
Ing. dipl. ETHZ

Livio Muttoni  
Ing. dipl. SUPSI

Mario Passerini  
Ing. dipl. SUPSI

Aurelio Muttoni  
Prof. Dr ès techn., ing. dipl. ETHZ

Lurati Muttoni Partner SA  
CH-6850 Mendrisio  
info@lmpartner.ch

**Committente/Owner**  
Comune di Massagno  
**Architetti/Architects**  
CDL Durisch Nolli Giraudi Radzuweit  
**Ingegneri civile/Civil engineer**  
Lurati Muttoni Partner SA  
  
**Realizzazione/Realisation**  
2011–2017  
**Costo dell'opera/Cost of the work**  
ca. 33 mio CHF (risanamento scuole elementari e nuova palestra)  
ca. CHF 33 million (elementary school renovation and new gymnasium)

# Dreifach-Kindergarten mit öffentlicher Tiefgarage in Würenlingen

## Triple kindergarten featuring a public underground garage in Würenlingen

Christoph Reichen, Andrea Molinari



Fig. 1

a) Nahaufnahme des Kindergartens, b) Sicht auf den Gebäudekörper mit dem identitätsstiftenden Walmdach.  
a) Close-up of the kindergarten, b) view of the building with its characteristic hip roof.

### Einleitung

Die grösste Herausforderung der im Wettbewerb gestellten Aufgabe bestand darin, einen Dreifach-Kindergarten und eine öffentliche Tiefgarage so anzutragen, dass möglichst viel Fläche für einen Aussenraum freigehalten und den Kindern ein angemessener Garten geboten werden kann. Dies liess sich nur erreichen, indem der Kindergarten auf der kompakten Grundfläche der geforderten Tiefgarage organisiert wurde.

Den stark variiierenden strukturellen Anforderungen der beiden Nutzungen (Kindergarten und Tiefgarage) wurde mit dem Entscheid Rechnung getragen, über dem konventionellen Tiefgaragenraster den Kindergarten als Hallentragwerk auszubilden. Vorgespannte Ortbetonträger, die quer über die 18 m breite Garage spannen, liegen auf den inneren Fassadenscheiben des Kindergartens auf, die wiederum auf den Mauern der Tiefgarage stehen (Fig. 3, 4).

### Introduction

The biggest challenge of the competition brief consisted of arranging a triple kindergarten and a public underground garage in such a way that the area for an outdoor space could be maximized which in turn would provide the children with a suitable garden. This could only be achieved by placing the kindergarten over the compact footprint of the proposed underground garage.

The vastly varying structural requirements for both services (kindergarten and underground garage) were accommodated by the decision to design the kindergarten as a hall structure above the conventional underground garage grid. Prestressed cast-in-place concrete beams that span the entire 18 m width of the underground garage are set on the inner load-bearing walls of the kindergarten (Fig. 3, 4).

The shape and height of the beams is dictated primarily by the hip roof, i.e. by the outer appearance of the kindergarten, which

Die Form und Höhe der Träger ist in erster Linie durch das Walmdach, also die äussere Erscheinung des im Dorfkern von Würenlingen situierten Kindergartens bestimmt (Fig. 1). Im Innenraum akzentuieren die Träger die drei Kindertengruppen und erlauben durch grosse, kreisförmige Öffnungen Beziehe zwischen diesen (Fig. 3b, 7).

Die sich zum Himmeldach entwickelnde Betondecke ist zwischen den Trägern eingehängt und erinnert an ein Zelt. Die Symbolik des Zelts wird auf spielerische Art und Weise auf die Fassade übertragen, deren Oberfläche mithilfe standardisierter Matrizen als ein vorhangartiges, textiles Relief in Ortbeton ausgebildet ist. Darauf beruht auch der bereits im Wettbewerb verwendete Name «Zelt-haus» für das Projekt (Fig. 1a).

### Konzept des Tragwerks

#### Allgemein

Das Tragkonzept des Dreifach-Kindergartens sieht offene, flexible Räume ohne statisch aktivier-



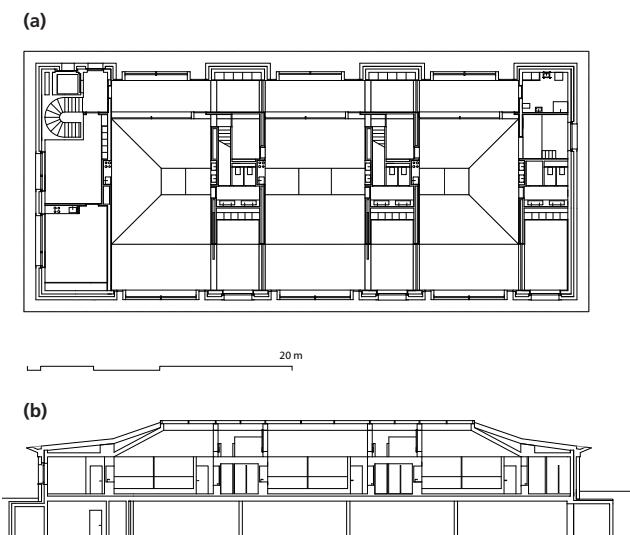
**Fig. 2**  
Innenraum im Rohbau mit reiner Tragstruktur.  
Interior in shell construction with load-bearing structure.

is located in the town centre of Würenlingen (Fig. 1). Inside, the beams, each with a large circular opening, accentuate the three kindergarten units and allow them to relate to one another (Fig. 3b, 7).

The skyroof-styled concrete slab is hinged between the beams and reminds one of a tent. The symbolism of the tent is playfully passed on to the facade which is cast as a curtain-like, textile relief in cast-in-place concrete with the help of standardized molds. Hence, the name of the project, which was already used during the competition: "Tent House" (Fig. 1a).

te Innenwände vor (Fig. 2). Dies wird ermöglicht, indem eine Betondecke in vier trapezförmige und zwei rechteckige, vorgespannte Betonträger eingehängt wird, die auf der inneren, tragenden Schicht einer zweischaligen Außenwand aus Beton lasten. Zugleich sind die vorgespannten Träger in das räumliche Konzept integriert, indem sie als raumtrennende Elemente fungieren und die Kindergarteneinheiten voneinander abgrenzen.

Sämtliche Bestandteile der Tragstruktur der Tiefgarage sowie des darüberliegenden Kindergartens sind in Ortbeton erstellt worden.



**Fig. 3**  
a) Erdgeschossgrundriss, b) Längsschnitt.  
a) Ground floor plan, b) longitudinal section.

## Structural concept

### General

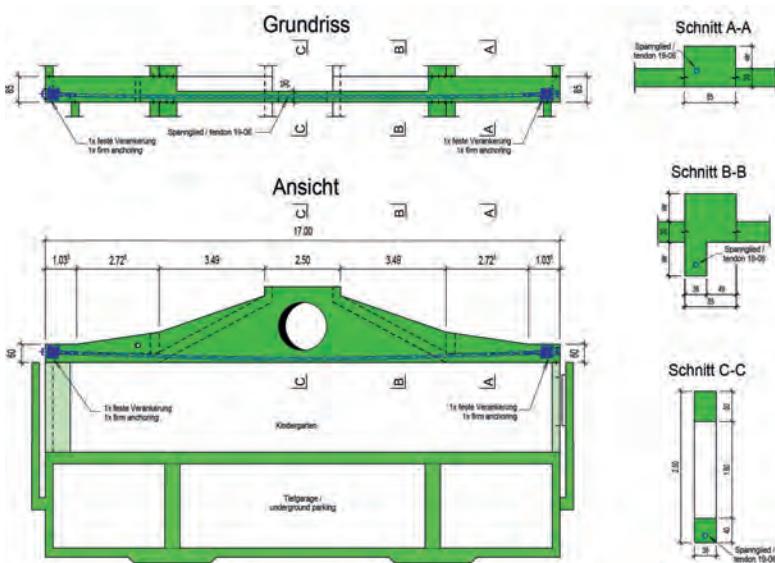
The structural concept of the triple kindergarten stipulates open, flexible spaces without structurally activated interior walls (Fig. 2). This is rendered possible by fitting a concrete slab into four trapezoidal and two rectangular, pre-stressed concrete beams which rest on the inner, load-bearing wall of a double-leaf external concrete wall. At the same time, the pre-stressed beams are integrated into the spatial concept by functioning as partitions and separating the three kindergarten units from one another.

All elements of the structure of the underground garage and the overlying kindergarten were crafted with cast-in-place concrete. The load-bearing, monolithic concrete structure in the rooms of the kindergarten is left visible and the formwork pattern as well as the associated shocks of the formwork panels are carefully planned and coordinated. Inside, the visible concrete surfaces are complemented with non-load bearing timber walls and fixtures.

### Execution and prestressing of the beams

Complete prestressing of the beams was necessary to prevent the creation of cracks and considerable deflection. Therefore, tensile stress inside the concrete was reduced to a minimum. The trapezoidal shape of the four middle beams and the complete prestressing, however, required a beam width to be aligned with the beam geometry as well as a bending reinforcement from the upper to the lower edge of the beam, located as required. An

<b>Bauherrschaft/Owner</b>
Gemeinde Würenlingen
<b>Architekt/Architect</b>
MKCR Architekten, Zürich
<b>Ingenieur/Engineer</b>
Caprez Ingenieure, Zürich
<b>Bauleitung/Site management</b>
Schneider Spannagel Architekten AG, Döttingen
<b>Unternehmer/Contractor</b>
Erne AG Bauunternehmung, Laufenburg



**Fig. 4**

Schnitt durch den Träger, der die nicht miteinander zu vereinenden Strukturen bzw. Raster von Tiefgarage und Kindergarten zusammenführt.  
Section of the beam that brings together structures or grids of the underground garage and the kindergarten that do not correspond.



**Fig. 5**

Innenraum des Kindergartens mit den in Leichtbau ausgeführten nicht-tragenden Holzständerwänden.  
Interior of the kindergarten with lightweight-design, non-loadbearing timber stud partitions.

In den Kindergartenräumen wird die tragende, monolithische Betonstruktur sichtbar belassen, und das Schalungsbild und die entsprechenden Stöße der Schalttafeln sind sorgfältig geplant und koordiniert. Die sichtbaren Betonoberflächen werden im Innern mit nichttragenden Holzwänden und Einbauten ergänzt.

#### Ausführung und Vorspannung Träger

Um einer Rissbildung und grösseren Durchbiegungen entgegenzuwirken, wurde eine volle Vorspannung der Träger notwendig. Zugspannungen im Beton wurden somit auf ein Minimum reduziert. Die trapezförmige Form der vier mittleren Träger und die volle Vorspannung bedingen jedoch eine auf die Trägergeometrie abgestimmte Trägerbreite sowie eine sich je nach Lage verschiebende Biegebewehrung vom oberen zum unteren Rand des Trägers. Auf eine Verbreiterung des Trägers über die gesamte Länge wurde verzichtet, um den Raum zwischen den einzelnen Trägern so gross wie möglich zu gestalten. Der komplexe, sich verändernde Querschnitt des Trägers

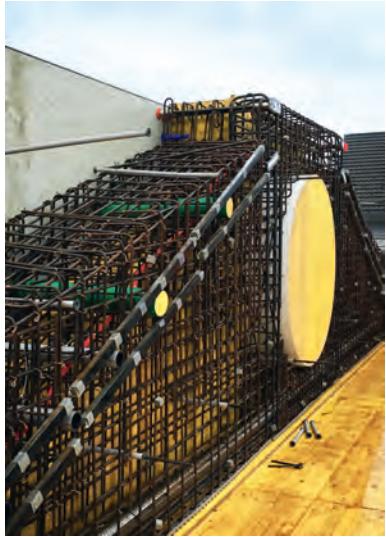
increase in width of the beam along the entire length was foregone, in order to maximise the space between the individual beams. The complex and changing cross-section of the beam called for close collaboration with the master builder both during planning and execution.

The height of the two rectangular beams at the edge is a mere 1.00 m and in the vicinity of the support it narrows to 60 cm. The pre-stressing of the edge-beams was chosen such that the deflection of all beams is within the same range, in order to prevent load redistribution caused by differential deflection.

With cables with up to 18 strands, the clamping chucks turned out accordingly large which in turn led to reduced space at support points. The high level of prestressing created compression stress around the mounting area which required concrete strength class C40/50. Since this is an exposed concrete building, we decided to complete the entire roof with the same concrete in order to reduce possible differences in colour between the roof slab and the beams. There were ongoing tests

erforderte eine intensive Zusammenarbeit mit dem Baumeister in der Planung und Ausführung.

Die Höhe der zwei rechteckigen Träger an den Rändern liegt bei nur gerade 1,00 m, die sich im Bereich des Auflagers bis auf 60 cm verringert. Die Vorspannung der Randträger wurde so ausgelegt, dass sich die Durchbiegungen aller Träger im gleichen Bereich bewegen, um Lastumlagerungen infolge differenzierlicher Durchbiegungen der Träger zu verhindern. Mit Kabeln aus bis zu 18 Litzen fielen die Spannköpfe gross aus und führten zu engen Platzverhältnissen in den Auflagepunkten. Durch den hohen Vorspannungsgrad entstanden in den Verankerungsbereichen zudem Druckspannungen, die einen Beton der Festigkeitsklasse C40/50 erforderten. Da es sich bei dem Objekt um einen Sichtbetonbau handelt, wurde das gesamte Dach mit demselben Beton ausgeführt, um allfällige Farbunterschiede zwischen Decke und Trägern zu reduzieren. Damit die an den Beton gestellten Anforderungen eingehalten und überprüft werden konnten, wurden laufend die Würfeldruckfestigkeiten geprüft.



**Fig. 6**  
Bewehrung Träger.  
Reinforcement of the beam.



**Fig. 7**  
Zwei Träger bilden jeweils eine Spielnische zwischen zwei Kindergartenabteilungen und erlauben mit ihren Öffnungen Blickbezüge zwischen diesen.  
Two beams create a play niche between the kindergarten units, allowing for a visual reference between them through the openings.

of the cube compression strength to ensure that the requirements of the concrete were met and tested. Additionally, the beams were only prestressed after the hardening of the last roof slab, in order to reduce stress redistribution caused by subsequent loads on the beams.

## Facade

### Planning

The outer, structurally non-bearing exposed concrete wall with its waved, textile surface represented quite a challenge during planning because we sought an efficient implementation, from both a construction and an economic point of view. To reach a good and pleasant outcome it was important for the civil engineer, the architect and the master builder to collaborate closely and assist each other throughout every phase.

The apparent continuous and vivid curtain-like relief is based on a basic module of 1.00 m, which is divided into five segments which vary in width. The irregularity of these widths enabled a standardized mold module to react to the varying lengths of the facade. In addition to the twelve 1.00 m long standard molds, we manufactured individual mold segments

Zudem wurden die Träger erst nach dem Aushärten der letzten Decke vorgespannt, um Spannungsumlagerungen infolge nachträglicher Belastungen der Träger zu vermindern.

## Fassade

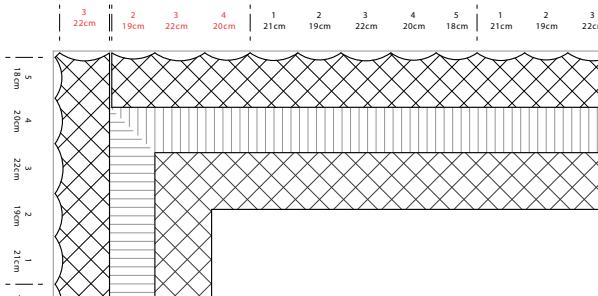
### Planung

Die äussere, statisch nicht belastete Sichtbetonschale mit ihrer wellenförmigen, textilen Oberfläche stellte bei der Planung eine grosse Herausforderung dar, da sowohl baulich als auch wirtschaftlich eine effiziente Umsetzung angestrebt wurde. Eine enge Zusammenarbeit zwischen Bauingenieur, Architekt und Baumeister in sämtlichen Phasen war wichtig für ein gutes und erfreuliches Ergebnis. Das scheinbar durchgehende und lebendige, vorhangartige Relief basiert auf einem Grundmodul von 1,00 m, das in fünf, in der Breite variierende Segmente unterteilt ist. Die Unregelmässigkeit der Segmentbreiten ermöglichte es, mit einem standardisierten Matrizenmodul auf die unterschiedlichen Längen der Fassaden zu reagieren. Zu den zwölf 1 m langen Standardmatrizen wurden aus der gleichen Schalung der Standardmatrizen zusätzlich einzelne Matrizensegmente erstellt, die jeweils an den Etappenenden

from the same formwork, which were put together at the final stage according to the remaining length (Fig. 8).

To be able to guarantee as precise a transition as possible between the pedestal and the waved facade, the two elements were cast together in the same stage. To this end, the molds were merely put on a conventional formwork panel (Fig. 9). An overhang on the pedestal protrudes from the rear-thickness of the mold, a remnant from the construction process. The conscious use of two formwork elements, mold and formwork panel, and their difference in surface texture are meant to evoke a rupture, despite being constructed at the same time, and illustrate the artistic element of the pedestal.

Due to the dimensions of the facade it has to withstand temperature expansions of up to 10 mm, which was scrutinized more closely using the tension chord model. The basis for the calculations is a shrinkage-proof wall where the horizontally required reinforcement is purposely weakened at select places in order to cause the formation of cracks at those spots. Dilatation joints in the corners reduce the tension in the concrete.



**Fig. 8**  
Ausschnitt Matrizenplan mit einer Ausnahme am Etappenende.  
Section of mold plan with one exception at the end of a stage.

entsprechend den Restlängen zusammengesetzt wurden (Fig. 8). Um einen möglichst präzisen Übergang zwischen Sockel und gewellter Fassade gewährleisten zu können, wurden die beiden Bauteile miteinander vergossen. Dazu wurden die Matrizen lediglich auf eine konventionelle Schaltafel aufgebracht (Fig. 9). Aus der Rückenstärke der Matrize ergibt sich ein Überstand des gebauten Sockels, der als Artefakt aus dem Bauprozess erhalten bleibt. Die bewusste Verwendung zweier Schalungselemente, Matrize und Schaltafel, soll trotz der baulichen Gleichzeitigkeit mit ihren unterschiedlichen Oberflächen einen Bruch bewirken und so das gestalterische Element des Sockels veranschaulichen.

Aufgrund ihrer Dimension muss die Fassade mit Temperatursausdehnungen von bis zu 10 mm umgehen können, was anhand des Zuggurtmodells genauer untersucht wurde. Grundlage für die Berechnung stellte eine schwindbehinderte Wand dar, wobei die horizontal erforderliche Bewehrung an bestimmten Orten bewusst geschwächtigt wurde, um die Rissbildung an diesen Orten vorzurufen. Dilatationsfugen in den Ecken verringern die Spannungen im Beton.

### Execution

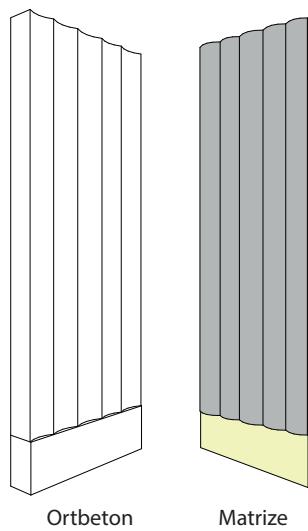
The stringent requirements for the exposed concrete (exposed concrete class 3) and the complicated, elaborate shape of the facade elements lead to the resolution to first create the non-bearing facade before the load-bearing, inner wall of the double-leaf construction. This allowed for the double-faced formwork for the outer skin, in a way that the reinforcement as well as the distance brackets for the reinforcement cover were not shifted and the sought after quality of the visible surfaces was achieved. Subsequently, the interior wall with its glossy surface was concreted with a single-sided formwork to the facade.

All binding holes were filled after the fact with a mortar whose colour was calibrated with the colour of the concrete such that, for example, an allocation of the formwork binders could be dispensed with.

### Ausführung

Die hohen Anforderungen an den Sichtbeton (Sichtbetonklasse 3) und die komplizierte, kunstvolle Form der Fassadenelemente führten zu dem Entschluss, die nichttragende Fassade vor der tragen den, inneren Schicht der zweischaligen Konstruktion zu erstellen. Dies ermöglichte ein doppelhäuptiges Schalen der äusseren Haut, sodass die Bewehrung sowie die Abstandshalter für die Bewehrungsüberdeckung nicht verschoben wurden und sich die angestrebte Qualität der sichtbar bleibenden Oberflächen erreichen liess. Danach wurde die Innenwand mit ihrer glatten Oberfläche einhäuptig an die Fassade betoniert.

Sämtliche Bindelöcher wurden im Nachhinein mit einem farblich auf den Beton abgestimmten Mörtel verfüllt, sodass auf eine Einteilung der Schalungsbinder verzichtet werden konnte.



**Fig. 9**  
Axonometrie der Standartmatrize auf Schaltafel mit Überstand für den Sockelanschluss.  
Axonometric section showing standard mold on form-work panel with overhang for connection to pedestal.

### Autoren/Authors

Christoph Reichen  
MSc ETH Architekt  
MKCR Architekten  
CH-8045 Zürich  
cr@mkcr.ch

Andrea Molinari  
BSc Bauing, FHO  
Caprez Ingenieure AG  
CH-8036 Zürich  
a.molinari@caprez-ing.ch