

Ingenieurbau

Génie civil

Civil engineering



Tiefbahnhof Löwenstrasse der Zürcher Durchmesserlinie

Löwenstrasse underground station on the Zurich Cross-City Line

Martin O. Bachmann, Valentin Rabitsch

Einleitung

Die Durchmesserlinie kann als aktuellstes Kapitel in der Erfolgsgeschichte des öffentlichen Verkehrs im Raum Zürich gelesen werden: Als die S-Bahn im Jahr 1990 ihren Betrieb aufnahm, nutzten täglich 160 000 Reisende den Zürcher Hauptbahnhof. Heute ist die Zahl auf 400 000 angestiegen, was den Hauptbahnhof als wichtigsten Knotenpunkt des Bahnverkehrs an seine Kapazitätsgrenzen gebracht hat. Die SBB und der Kanton Zürich haben darauf mit der Planung einer Bahnhofserweiterung reagiert, die nun unter der Projektbezeichnung «Durchmesserlinie» schon weitgehend Gestalt angenommen hat. Politisch steht das Bauwerk auf solidem Grund: Im Jahr 2001 stimmten 82% des Zürcher Stimmvolks dem 2-Milliarden-Projekt zu. Gebaut wird damit eine 9,6 Kilometer lange Bahnstrecke von Altstetten via Hauptbahnhof nach Oerlikon. Das Kernstück der Strecke bildet der unter

Introduction

The Cross-City Line is the latest chapter in the history of public transport in the Zurich area. When the S-Bahn started operating in 1990, 160,000 passengers used Zurich Central Station every day. Today the figure has risen to 400,000, which has brought the Central Station, which is the busiest rail intersection to its capacity limit. Therefore the SBB (Swiss Federal Railways) and Canton Zurich decided to undertake the planning of a station extension, which has begun to take shape under the project name of the "Cross-City Line". Politically the project stands on solid ground: In 2001, 82% of the Zurich electorate voted for the 2 billion franc project. Thus a 9.6 kilometre long railway line was built from Altstetten via Central Station to Oerlikon. The centre-piece of the line is the Löwenstrasse Station situated under the existing tracks of Zurich Central Station. This

den bestehenden Gleisen des Zürcher Hauptbahnhofs liegende Durchgangsbahnhof Löwenstrasse. Mitte 2014 soll die aus vier Gleisen bestehende Anlage ihren Betrieb aufnehmen (Fig. 1).

Bau des Tiefbahnhofs Verschachtelter Untergrund

Die Anlage bildet einen sowohl bautechnisch als auch logistisch sehr komplexen Abschnitt. Unter engen innerstädtischen Platzverhältnissen entsteht ein neues, gigantisches Bauwerk, ohne dass es von aussen wahrgenommen werden könnte: Praktisch der gesamte Neubau entsteht unterirdisch, gebaut wird hauptsächlich mit der «Deckelbauweise» und im Bereich der neuen Fussgängerpassagen unterhalb von Gleishilfsbrücken. Der umbaute Raum fasst rund 320 000 m³. Die Baumassnahme am grössten und wichtigsten Verkehrsknotenpunkt ist vergleichbar mit einer Operation am offenen Herzen. Während

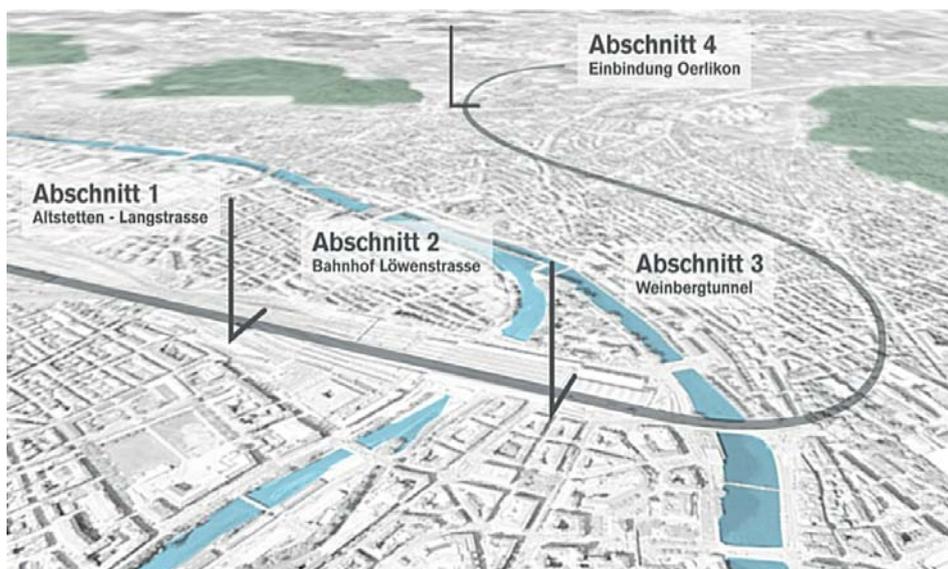


Fig. 1
Übersicht über die Abschnitte der Durchmesserlinie.
Overview of the sections of the Cross-City Line.

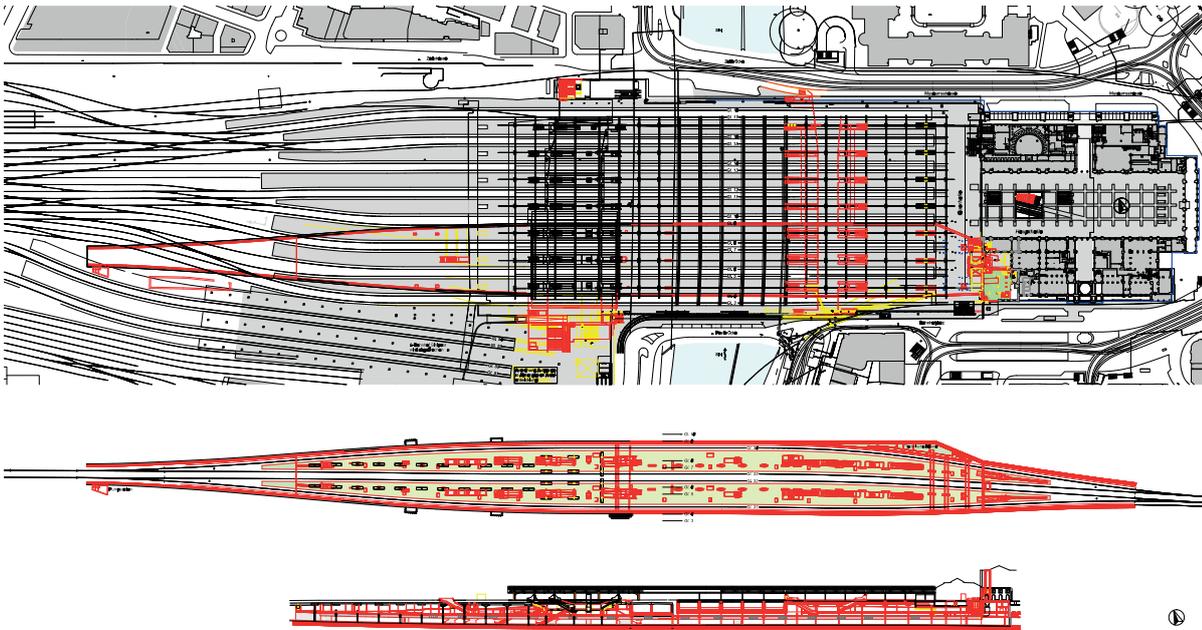


Fig. 2
 Grundriss des Zürcher Hauptbahnhofs (oben) sowie Grundriss und Längsschnitt des Bahnhofs Löwenstrasse.
 Ground plan of Zurich Central Station (above) as well as ground plan and longitudinal section of Löwenstrasse Station.

four-platform through station will go into service in the middle of 2014 (Fig. 1).

Construction of the underground station

Underground complex

It is the most complex section of the project, both from the constructional and from the logistics point of view, because with the restricted space conditions of the inner city a very large new structure is being produced that cannot be seen from outside: In practice the completely new underground structure is executed mainly by the top-down method and in the region of the pedestrian passageways with the aid of temporary track bridges. The utilised space comprises some 320,000 m³. The construction work at Switzerland's biggest and most important traffic intersection is comparable to open heart surgery. Throughout the whole of the construction time the Central Station and the traffic intersection point for suburban, intercity and long-distance traffic, as well as the shopping centre, have to remain in operation with no

der gesamten Rohbauphase muss der Hauptbahnhof sowohl als Verkehrsknotenpunkt für Nah- und Fernverkehr als auch als Einkaufszentrum uneingeschränkt in Betrieb bleiben. Ferner muss die historische Bausubstanz der Bahnhofgebäude geschützt und erhalten bleiben, und die Anforderungen an die Sicherheit der Bauarbeiten sowie die Emissionen sind sehr hoch. Hinzu kommt die Sihl, die von den Gleisen der Durchmesserlinie unterquert wird und bei Hochwasser weitere sicherheits- und bautechnische Zusatzmassnahmen bedingt (Fig. 2).

Das Teilprojekt «Querhalle»

Der Bau des Bahnhofs Löwenstrasse erfolgte im Wesentlichen in fünf Teilprojekten, deren östlichstes unterhalb der Querhalle des Hauptbahnhofs liegt und an die Unterfahrung des historischen Südtrakts grenzt. Das Teilprojekt besteht aus der Brandlüftungszentrale, der Passage Löwenstrasse, einem Technikgeschoss und dem darunterliegenden Abschnitt des neuen Perrongeschosses. Der Bahnhof besteht aus vier Gleisen und zwei Mittelperrons.

restrictions. In addition, the historic fabric of the station building had to be protected and maintained and the requirements for the safety of the construction work, as well as for the emissions are very high. In addition, the river Sihl runs beneath the tracks of the Cross-City Line and at high groundwater levels this requires further safety and constructional measures (Fig. 2).

The Transverse Hall

Löwenstrasse Station is basically divided into five parts, the most easterly of these lying below the Transverse Hall of the Central Station and borders on the undercrossing of the historic building of the southern wing. The sub-project consists of the fire ventilation plant for the removal of smoke, the Löwenstrasse Passage, a storey with technical equipment, and the underlying section of the new platform storey consisting of four tracks with two island platforms.

The Löwenstrasse Passage

The Löwenstrasse Passage retains its current function in the reconstructed station. However, with

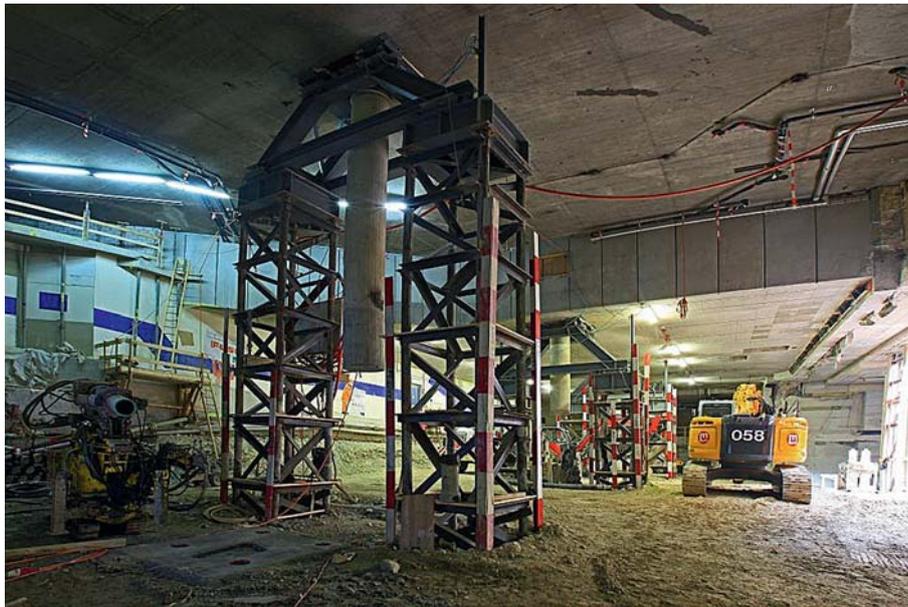


Fig. 3
Für den Bau abgefangene Passage Löwenstrasse.
Löwenstrasse Passage underpinned during construction work.
(© Marco Püntener)

Die Passage Löwenstrasse

Die Passage Löwenstrasse bleibt in ihrer jetzigen Funktion auch im neu umgebauten Bahnhof bestehen. Sie wird jedoch mit Ausnahme der Decke komplett abgebrochen, erneuert und gegen Westen hin um die Halle Löwenstrasse erweitert. Das darüberliegende Gepäckgeschoss und die Querhalle bleiben dabei ständig in Betrieb. Das bestehende Tragwerk wird von zwei Schlitzwänden und zwei auf Bohrpfählen fundierten Stützenreihen getragen.

Die Passage Löwenstrasse ist ein wichtiger Fussgängerbereich, der während der gesamten Bauarbeiten auf einer Mindestbreite begehbar bleiben muss. Es wird deshalb etappenweise vorgegangen, die Abfangung der beiden seitlichen Stützenreihen, der Aushub und der Bau des neuen Zwischengeschosses, dessen Decke den Boden der erneuerten Passage bildet, erfolgen zeitlich versetzt (Fig. 3).

Die Brandlüftungszentrale

Die drei unterirdischen Technikgeschosse der Brandlüftungszentrale reichen vom Perrongeschoss des neuen Bahnhofs Löwenstrasse bis zur Oberfläche. Für ihren

the exception of the roof it has been completely demolished, replaced and extended westwards around the Löwenstrasse Hall. The luggage hall that lies above it and the Transverse Hall remained continuously in use. The existing structure is carried by two diaphragm walls and two rows of columns supported on bored piles.

The Löwenstrasse Passage is an important pedestrian area, a minimum width of which had to be accessible throughout the whole of the construction work. The latter was carried out therefore in stages, with the underpinning of the two side rows of columns, the excavation and the building of the new intermediate floor, the slab forming the floor of the reconstructed passage, were carried out at different times (Fig. 3).

The fire ventilation plant

The three underground storeys housing technical equipment for the fire ventilation plant stretch from the platform storey of the new Löwenstrasse Station up to the surface. For their construction, besides the previous demolishing of the post office building, considerable underpinning and stabili-

Bau sind nebst dem vorgängigen Rückbau des Postanbaus umfangreiche Abfangungen und Stabilisierungen des südwestlichen Flügels des historischen, unter Denkmalschutz stehenden Südtrakts erforderlich. Die Unterfangungen bestehen hauptsächlich aus Kleinbohrpfählen, die während des Aushubs kontinuierlich zu Fachwerken verschweisst werden, sowie aus Schlitzwandpfeilern und Jettingkörpern. Diese wurden mit Hochdruckinjektionen teils von OK Terrain, teils aus Kellerräumen heraus im anstehenden Sihlschotter erstellt (Fig. 4).

Der Südwesttrakt

Mit der Auflage der Denkmalpflege, auch die bestehende innenliegende Bausubstanz zu schützen, stellte sich die Aufgabe einer Abfangung nicht nur der Fassade, sondern eines ganzen Gebäudeflügels – mit entsprechend kleinen zulässigen Verformungen. Um Setzungen und Risse während der Bauarbeiten möglichst zu verhindern, wurde im Erdgeschoss ein räumliches Stahlfachwerk eingebaut (Fig. 5).

Ein automatisches, dreidimensionales Überwachungssystem aus mehreren Tachymetern und



Fig. 4
Kleinbohrpfahl-Türme für die Unterfangungen.
Small bored pile towers for the underpinning.
(© Marco Püntener)

sation work for the historic listed building of the south west wing of the station were necessary. The underpinning consisted mainly of small bored piles, which during the excavation were continually welded to form frameworks, as well as of diaphragm wall piles and jet-grouted bodies of soil. These were produced with high-pressure injection partly from the ground surface and partly from basement rooms situated in the Sihl river gravel (Fig. 4).

Schlauchwaagen kontrolliert laufend die Verformungen und Setzungen. Hydraulische Pressen können allfällige Setzungen der provisorischen Tiefgründungen, auf denen die bestehenden Bauten fundiert sind, im Laufe der Aushubarbeiten kompensieren. Die Pfahlfundation muss alle vertikalen und horizontalen Lasten möglichst setzungsarm gezielt bis in den Baugrund ableiten. Die oberirdischen Geschosse wurden mit horizontalen und vorge-

checks for deformations and subsidence. Hydraulic presses can compensate any settlement of the provisional deep foundations on which the existing buildings are supported, in the course of the excavation work. The pile foundation must divert all vertical and horizontal loads with as little settlement as possible into the ground. The storeys above ground were stabilised with horizontal and pre-stressed tensile bars in order to prevent unaccep-

The south west wing

To conform with the requirements to protect not only the appearance of the historic building but also the interior structure the task was to underpin not only the façade, but also a complete wing of the building – with correspondingly small permissible deformations. In order to prevent, as far as possible, settlement and cracks during the construction work a three-dimensional steel framework was installed on the ground floor (Fig. 5).

An automatic, three-dimensional continuous monitoring system consisting of several tacheometers and a settlement gauge measuring the water level in a tube



Fig. 5
Stabile Abfangung des Südwesttrakts mit einem räumlichen Fachwerk.
Stable underpinning of the southwest wing with a space frame.
(© Marco Püntener)

spannten Zugstangen stabilisiert, um unzulässige Deformationen und instabile Zustände (z.B. Ausknicken der Fassade) zu verhindern. Im Gebäude sind Ladenlokale und Büros eingemietet, die von den Bauarbeiten so wenig als möglich tangiert werden sollten.

Baumethoden

Der generelle Ablauf der Bauarbeiten ist durch die mehrfache Deckelbauweise vorgegeben. Das Abfangkonzept besteht hauptsächlich aus Kleinbohrpfählen, Schlitzwänden und Schlitzwandpfeilern und den Jettingunterfangungen. Sie bilden die zentrale Bauhilfsmassnahme und sind so mitbestimmend für den Bauablauf. Der grösste Teil dieser Tiefgründungen wurde von bestehenden Untergeschossen aus gebohrt (Fig. 6).

Nach Fertigstellung des Zwischengeschosses (das die Decke des zuunterst liegenden Perrongeschosses bildet) wurden die Lasten aus der abgefangenen Decke der Passage Löwenstrasse durch neue Vollstahlstützen auf einen massiven Abfangträger umgelagert. Dieser funktioniert als ins Zwischengeschoss eingebauter

table deformations and unstable conditions (e.g. buckling of the facade). Shops and offices in the building are rented, and these should be affected as little as possible by the construction work.

Building methods

The construction process as a whole is determined by the top-down excavation method. The underpinning concept consists basically of small bored piles, diaphragm walls and contiguous piled diaphragm walls and underpinning with the use of jetting. These are the main constructional measures used in the Transverse Hall area and have an influence therefore on how the work progresses. Most of these deep foundations were bored from existing basements (Fig. 6).

After completion of the intermediate floor (that forms the roof of the lowest-lying platform storey), the loads from the floor of the Löwenstrasse Passage were redistributed by means of new solid steel columns on a massive beam. This functions as fixed-end upstand and downstand beams integral with the intermediate floor. The support itself lies on a steel

Unter-/Überzug. Der Abfangträger selbst liegt auf einer Abfangkonstruktion aus Stahl auf, deren Lasten in die provisorischen Kleinbohrpfahl-Türme geleitet werden. Nach Fertigstellung des Perrongeschosses werden schliesslich auch diese durch Vollstahlstützen ersetzt. Im Endzustand werden durch sie die gesamten Lasten in die zwei bis drei Meter starke Bodenplatte des Perrongeschosses eingeleitet.

Schlitzwandarbeiten mit einer Schlitzwandpfeilertiefe von 32 m erfolgten von der Oberfläche her. Die äusseren Schlitzwände für den Baugrubenabschluss des Perrongeschosses mit einer Tiefe von 18 m wurden hingegen unter dem Deckel erstellt, ebenso weitere Schlitzwandscheiben mit einer Tiefe von gut 22 m. Die bis zu 60 Tonnen schweren Schlitzwandbagger wurden nachts über die Querhalle respektive über den Portalkran durch die Logistiköffnung ins Untergeschoss eingebracht (Fig. 7). Die knappe Arbeitshöhe unter dem Deckel führte dazu, dass die Ausleger der Bagger umgebaut werden mussten. Um die Stabilität des offenen Schlitzes zu gewährleisten, muss-



Fig. 6
Schlitzwandpfeiler.
Diaphragm wall pillar.
(© Marco Püntener)



Fig. 7
 Einbringen des Schlitzwandgeräts mit dem Portalkran.
 Installing the diaphragm wall equipment with the gantry crane.
 (© Marco Püntener)

support construction, the loads of which are transferred to the provisional small bored pile towers. After completion of the platform storey these were finally replaced by solid steel supports. In the final state the complete load is transmitted through them into the two or three metre thick floor slab at platform level.

Diaphragm walls with a depth of 32 m were excavated from the ground surface. The outer diaphragm walls for the completion of the excavation walls of the platform floor with a depth of 18 m, however, were excavated under the slab as also further diaphragm walls with a depth of at least 22 m. The heavy diaphragm wall excavators weighing up to 60 t were

ten bestehende Fundamente vorgängig teilweise unterfangen werden.

Für die Herstellung der Kleinbohrpfähle mit einer Tiefe von bis zu 40 m und der Hochdruckinjektionen waren spezielle Kellerbohrgeräte im Einsatz.

Bei der Herstellung der Injektionskörper waren nebst den üblichen auch weitergehende Überwachungsmaßnahmen erforderlich, um ein unerwünschtes Eindringen von Injektionsgut in angrenzende Räume, Werkleitungen und Gebäudetechnikanlagen zu verhindern. Zudem musste eine minimale Druckfestigkeit der Injektionskörper erreicht werden, um die im Zuge der Aushubarbeiten einseitig freigelegten Injek-

brought in at night through the Transverse Hall or using the gantry crane through the logistics opening into the lower storey (Fig. 7). The tight working height under the roof slab meant that the jibs of the excavators had to be dismantled. In order to guarantee the stability of the open trench the existing foundations had to be partly underpinned beforehand.

For the production of the small bored piles with a depth of up to 40 m and the high pressure grouting special drilling machines suitable for use in basements were used.

In creating the grouted bodies, in addition to the normal precautionary methods also extensive

tionskörper – nebst ihrer Funktion als Unterfangungskörper – auch als Baugrubenabschluss nutzen zu können.

Betonbau Betonlogistik

Eine der logistischen Problemstellungen, die es zu lösen galt, war der Umschlag von Beton. Rund 150 000 Kubikmeter sind in diesem Abschnitt verbaut worden. Es liegt angesichts des dichten Verkehrs rund um den Hauptbahnhof auf der Hand, dass eine solche Menge nicht mit Fahrmischern von aussenstehenden Werken antransportiert werden konnte.

Zur Umsetzung der Vorgabe, 80% der Materialtransporte per Bahn abzuwickeln, stand an der Zollstrasse am nordöstlichen Rand des Gleisfelds der SBB ein grosser Installations- und Umschlagplatz zur Verfügung. Dort wurde eines der beiden provisorischen Betonwerke aufgebaut. Das zweite befand sich auf der gegenüberliegenden Seite des Hauptbahnhofs unmittelbar neben der Sihl an der Kasernenstrasse.

Zusammen erbrachten die beiden Werke eine Stundenleistung von 90 Kubikmetern (60 m³ an der Zollstrasse, 30 m³ an der Kasernenstrasse). Damit konnten an einem Tag Betonieretappen von bis zu 500 Kubikmetern realisiert werden. Betonbauteile dieser Grössenordnung ergaben sich vor allem

monitoring measures were necessary in order to prevent the undesirable penetration of grouted material into the neighbouring rooms, ducts and building services equipment. In addition, a minimum compressive strength of the grouted body had to be achieved in order that in the course of the excavation work grouted bodies exposed on one side – besides their function in underpinning – could also be used as excavation support.

Concreting Concrete logistics

One of the logistic problems that had to be solved was the handling of the concrete. Some 150,000 cubic metres were placed in this section. In view of the dense traffic around the Central Station it is obvious that such a quantity could not be transported to the site by concrete mixing lorries from external concrete production factories.

To carry out the requirement that 80% of the material should be brought in by rail, use was made of a large installation and material handling site that was available in the Zollstrasse on the north-east side of the SBB track field. It was there that one of the two provisional concrete production plants was installed. The second one was on the opposite side of the Central Station adjacent to the river Sihl on Kasernenstrasse.

im Bereich der 2 Meter starken Bodenplatten im Perrongeschoss. Die weitgehend fix installierten Pumpleitungen konnten Längen von bis zu 450 Metern überwinden. Ihre grösste Anfälligkeit war das Verstopfen, insbesondere bei gebogenen Übergängen mit einer Gummi-Innenwand: Diese konnte dem Beton Wasser entziehen und damit dessen Fließfähigkeit verringern. Grundsätzlich hat sich jedoch das Konzept, bei dem sowohl konventioneller Beton als auch SCC gepumpt wurden, bewährt.

Abdichtungskonzept

Die vier Geschosse des Bahnhofs Löwenstrasse liegen beinahe vollständig im Grundwasser und sind einem hohen Wasserdruck ausgesetzt. Als Abdichtungskonzept wurde eine sogenannte «Braune Wanne» mit aussenliegenden Bentonit-Dichtungsbahnen vorgesehen. Die Abdichtung liegt unter der Bodenplatte auf einer betonierten und abtalschierten Ausgleichsschicht. Im Wandbereich wird die Abdichtung zwischen der aussenliegenden Schlitzwand und der Innenwand hochgezogen. Die dazu erforderliche Ebenheit der Schlitzwand wurde durch abtalschierten Spritzbeton geschaffen. Die gesamte Konstruktion des über 500 Meter langen Tiefbahnhofs wurde ohne Dilatationsfugen gebaut. Bei den Arbeitsfugen wurden Injektions-

Bauherrschaft

SBB Infrastruktur, I-PJ-DML, Zürich
SBB Immobilien, IM-DV, Zürich

Projektierung, Bauleitung (Rohbau, Brandlüftung)

IG Zalo bestehend aus: Basler & Hofmann AG, Zürich/Esslingen, und Pöyry Schweiz AG, Zürich

Generalplanung

Uas ag, bestehend aus: Dürig AG (Architektur), Zürich, Amstein und Walthert (Gebäudetechnik), Zürich, Caretta & Weidmann (Baumanagement), Zürich

Ausführung Rohbau, Spezialtiefbau

Arge 2.1 bestehend aus: Marti AG, Zürich, Implenia Bau AG, Zürich, Strabag AG (Brunner Erben AG, Astrada AG), Glattbrugg, Toneatti AG, Bilten

Client

SBB Infrastruktur, I-PJ-DML, Zurich
SBB Immobilien, IM-DV, Zurich

Planning, Site management (basic structural shell, fire ventilation)

IG Zalo consisting of: Basler & Hofmann AG, Zurich/Esslingen, and Pöyry Schweiz AG, Zurich

General planning

Uas ag, consisting of: Dürig AG (architecture), Zürich, Amstein and Walthert (building technology), Zurich, Caretta & Weidmann (construction management), Zurich

Basic structural shell, special civil engineering works

Consortium 2.1 consisting of: Marti AG, Zurich, Implenia Bau AG, Zurich, Strabag AG (Brunner Erben AG, Astrada AG), Glattbrugg, Toneatti AG, Bilten



Fig. 8
Sichtbetonbauteile mit anspruchsvollen Formen bilden die Abgänge aus der Perronhalle.
Fair-faced components with demanding shapes form the exits from the platform hall.

Together the two plants could produce 90 cubic metres of concrete per hour (60 m³ on Zollstrasse and 30 m³ on Kasernenstrasse). Consequently in one day concreting stages of up to 500 cubic metres could be achieved. Concrete components of this size are used mainly in the area of the 2 metre thick floor slabs of the platform storey.

The concrete pumping pipes used, which were mainly fixed in position, could manage lengths of up to 450 metres. Their main weakness was blocking up, especially with curved transitions with a rubber inner wall. This could remove water from the concrete and consequently reduce its ability to flow. Basically, however, the concept by which both conventional and self-compacting concrete (SCC) could be pumped was successful.

Sealing design

The four storeys of Löwenstrasse Station lie almost entirely within the groundwater and are exposed to high water pressure. The design of the sealing system is based on a so-called "brown sag"

kanäle eingelegt. Mit der Vorgabe, die Bodenplatten, die Schlitzwände und die Innenwände als WD-Beton auszuführen, wurde nebst der «Braunen Wanne» gleichzeitig eine «Weisse Wanne» realisiert. Besondere Aufmerksamkeit verlangten dabei die Anschlussstellen an die bestehenden, «schwarz» abgedichteten Bauwerke.

Betonqualitäten

Die wichtigsten, nicht statischen Anforderungen an den Beton ergaben sich aus dem Abdichtungskonzept, das im Bereich der Weissen Wanne einen wasserundurchlässigen Beton vorsah, sowie durch den hohen Anteil an Sichtbetonflächen und Sichtbetonkanten, deren Qualität mitsamt der erforderlichen Kosmetik in der Ausschreibung festgehalten war (Fig. 8).

Für die Schlitzwände, die als WD-Beton ausgeführt wurden, kam ein C25/30 XC1 mit einem Mehlkorngelalt von 400 kg/m³ zum Einsatz. Für den Konstruktionsbeton wurde weitgehend C30/37 verwendet, wobei mit zwei Rezepten (konventioneller Pump-

with external bentonite sealing strips. The sealing lies under the floor slab on a concreted and power trowelled levelling layer. In the wall area the seal is raised between the external diaphragm wall and the inner wall. The flatness of the diaphragm wall was obtained by power trowelled sprayed concrete. The walls of the complete underground station, which is over 500 m long, were built without expansion joints. Grouting channels are introduced for the construction joints.

With the requirement that the floor slabs, the diaphragm walls and the inner walls should be made in impervious concrete in addition to the "brown sag" at the same time a "white sag" was constructed. Special attention was given to the connection places to the existing bitumen-sealed structure.

Quality of concrete

The most important, non static requirements placed on the concrete came firstly from the design of the sealing, which specified a concrete that was impervious to water in the area of the white

und selbstverdichtender Beton, SCC), die unterschiedlichen Anforderungen der meisten Bauteile abgedeckt waren. Nur bei Lastverteilbalken und anderen hochbelasteten Bauteilen kam ein C40/50 zum Einsatz.

SCC wurde einerseits bei Anschlüssen an den Bestand (dünne Bauteilstärken, eingeschränkte Verdichtungsmöglichkeiten), bei Bauteilen mit komplizierten geometrischen Formen (z.B. Treppenaufgänge und Liftschächte in Sichtbeton) sowie bei Bauteilen mit aussergewöhnlich hohem Bewehrungsanteil verwendet. Andererseits wurden auch die als Unterfangung funktionierenden Bauteile mit SCC gebaut. Solche ergaben sich im Zusammenhang mit der Deckelbauweise insbesondere bei den obersten Wandetappen unter dem Deckel.

Sichtbeton

Zahlreiche Bauteile, wie Treppenaufgänge, Liftschächte, Abluftkamin und Rampenwände, wurden in Sichtbeton ausgeführt und hatten sehr hohe gestalterische Anforderungen zu erfüllen. Insbesondere die geometrischen Formen der Treppenaufgänge im Perrongeschoss und die Rahmenkonstruktionen bei den Treppen in der Perronhalle (Fig. 8), die zugleich als Abfangung der Hallendachstützen dienen, waren planerisch und ausführungstechnisch äusserst anspruchsvoll. Die intensive Zusammenarbeit zwischen Architekt, Projektverfasser und Bauunternehmung – insbesondere zu Beginn der Ausführungsphase – sowie ein Muster auf dem Installationsplatz waren für die erfolgreiche Umsetzung unabdingbar.

sag, and secondly from a high proportion of fair-faced concrete surfaces and edges, the quality of which together with the required cosmetic appearance had been laid down in the specification (Fig. 8).

For the diaphragm walls, which were made of impervious concrete, a C25/30 XC1 with a fines content of 400 kg/m³ was used. C30/37 concrete was widely used for the construction and two concrete mix designs (conventional pumped concrete and self-compacting concrete, SCC) covered the different requirements of most of the components. C40/50 was only used for the load distribution beams and other highly loaded components.

SCC was used firstly for connections to the existing building (thin component thicknesses, restricted compaction possibilities) for components with complicated geometric shapes (e.g. staircases and lift shafts in fair-faced concrete) as well as components with a very high reinforcement content. On the other hand, components that provided the underpinning were also made with SCC. These were required in connection with the top-down construction of the floor slabs, especially for the uppermost wall stages under the roof slab.

Fair-faced concrete

Many components such as staircases, lift shafts, exhaust air chimneys and ramp walls were executed in fair-faced concrete and had to meet very high aesthetical requirements. In particular, the geometric shapes of the staircase exits in the platform storey and the frame structures for the steps in the platform hall (Fig. 8), which serve at the same time as underpinning for the hall roof columns were technically extremely demanding in both planning and execution. Close cooperation between architect, design engineer and contractor – especially at the start of the construction phase – as well as a sample on the site were essential for the successful completion of the project.

Autoren/Authors

Martin O. Bachmann
dipl. Ing. ETH/SIA
martin.o.bachmann@poyry.com

Valentin Rabitsch
dipl. Ing. FH
valentin.rabitsch@poyry.com

Pöyry Schweiz AG
CH-8037 Zürich

Hauptbahnhof Zürich – Unterquerung Südtrakt

Zurich main station – undercrossing of the southern wing

Fabian Persch, Roland Schmed

Einleitung

Mit dem Projekt «Durchmesserlinie» entsteht in Zürich derzeit eine neue Bahnstrecke, die den Westen der Stadt mit dem Hauptbahnhof und dem im Norden gelegenen Bahnhof Oerlikon verbindet. Ein zentraler Teil dieser Neubaustrecke ist der 4,8 km lange Weinbergtunnel, der von Oerlikon zum neuen Durchgangsbahnhof Löwenstrasse führt, der direkt unter dem Zürcher Hauptbahnhof entsteht (vgl. Seite 132).

Introduction

With the project Cross-City Line a new railway line is currently under construction in Zurich, which will link the western part of the city with Zurich main station and Oerlikon station in the north. A significant part of the project is the 4.8 km long Weinberg Tunnel, connecting Oerlikon to the newly built Löwenstrasse station, which is situated directly underneath the main station (cf. page 132). Here, the tunnel runs a

Der Tunnel muss dabei auf einer Länge von 110 m den historischen Südtrakt des Hauptbahnhofs unterqueren. Dieses 150 Jahre alte Gebäude steht unter Denkmalschutz und darf durch die Tunnelbauarbeiten keinerlei Schaden erleiden. Die unmittelbare Nähe zum Gebäude und die logistischen Schwierigkeiten, die sich beim Bauen unter dem intensiv genutzten Hauptbahnhof ergeben, erfordern innovative Lösungen beim Erstellen des Tunnels.

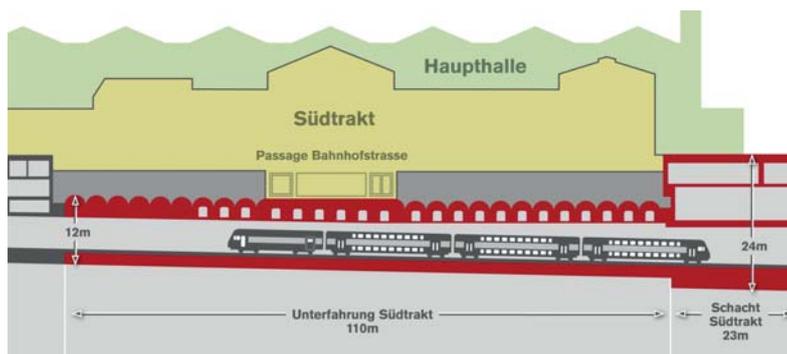


Fig. 1
Längsschnitt Unterquerung Südtrakt.
Longitudinal section of south wing.

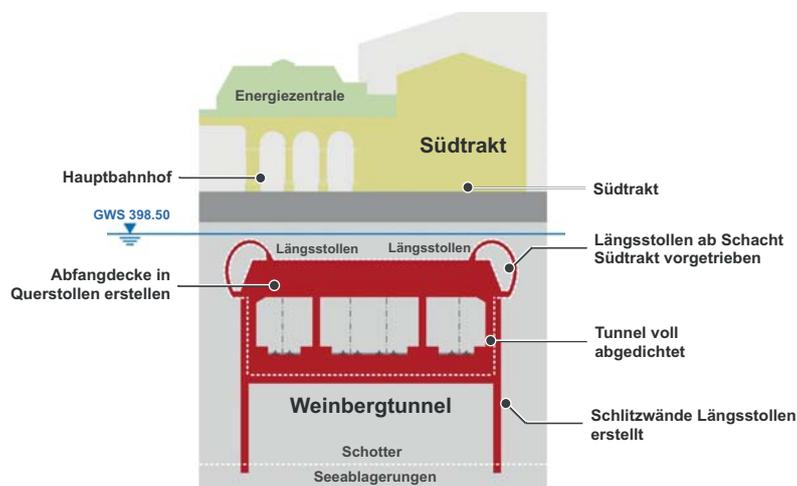


Fig. 2
Querschnitt Unterquerung Südtrakt.
Cross section of south wing.

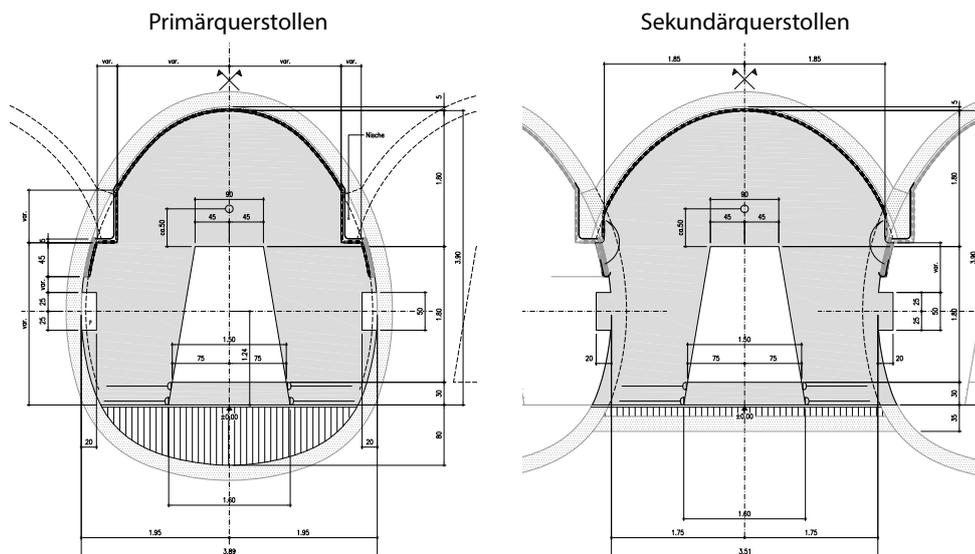


Fig. 3
Querschnitt Primär- und Sekundärstollen (mit eingebautem Abfangträger).
Cross section of primary and secondary tunnels (with transverse beams).

length of 110 metres below the station's historical southern wing. This 150-year old listed building is heritage-protected, and the tunnel has to be constructed without causing any structural damage to the building. Construction in close proximity to the southern wing, as well as the logistical difficulties involved with tunnelling beneath an intensively used railway hub requires innovative solutions.

Construction method

The construction method chosen for the undercrossing was a variation of the top-down solution. Top-down construction consists of a basement roof slab supported on diaphragm walls that provides lateral support as the basement is excavated. In the present case, however, due to the lack of access aboveground, the post-tensioned slab and the diaphragm walls were, in contrast to the usual top-down method, constructed using a conventionally driven system of longitudinal and transverse tunnels. The tunnel roof slab is designed as a structural element that transfers the loads acting on the diaphragm walls at the sides of the excavation. A total of 29 support beams, which were cast inside the transverse tunnels,

Bauverfahren

Als Baumethode für die Unterquerung wurde die bergmännische Deckelbauweise gewählt. Die Deckelbauweise besteht aus einer Abfangdecke, die auf Schlitzwänden aufliegt. Wegen des fehlenden oberirdischen Zugangs mussten im vorliegenden Fall aber die vorgespannte Abfangdecke und die Schlitzwände über ein System von Längs- und Querstollen «bergmännisch» erstellt werden. Die Tunneldecke ist als Abfangkonstruktion ausgebildet, um die Lasten an die seitlichen Schlitzwände abtragen zu können. Insgesamt 29 Abfangträger, die in die Querstollen betoniert wurden, bilden eine auf den Schlitzwänden aufliegende Decke. Unter dem Schutz dieser Betonkonstruktion konnte dann der eigentliche Tunnelquerschnitt ausgehoben und konnten Boden und Wände betoniert werden. Die Längsstollen über den Schlitzwänden werden im Endzustand als begehbare Gänge ausgebildet, aus denen die Vorspannung der Abfangträger kontrolliert und gegebenenfalls ausgewechselt werden kann.

Bauausführung

Die zwei 110 m langen Längsstollen wurden so ausgelegt, dass aus

form a slab supported by the diaphragm walls. Protected by this structure the actual tunnel works could be carried out. Once completed the longitudinal tunnels over the diaphragm walls will function as accessible passages, from which the post-tensioning of the support beams can be checked and replaced if necessary.

Execution

The size of the two 110 m long longitudinal tunnels was designed to enable the construction of the diaphragm walls and the driving of the transverse tunnels.

The size of the 29 transverse tunnels was given by the driving requirements and the static analysis for the support beams that had to be installed. The driving of the transverse tunnels and the concreting of the beams was carried out using a step-back process, i.e. starting with the primary tunnels and followed by secondary tunnels between them.

The transverse tunnels were driven from the southern longitudinal tunnel. The northern longitudinal tunnel was used as access to construct the transverse beams.

Once the transverse tunnels had been excavated, the concrete fill material and the lost formwork were installed in the floor. The



Fig. 4
Bewehrung eines Abfangträgers mit Hüllrohren für die Vorspannung.
Reinforcement of a transverse girder with post-tensioning ducts.

diesen heraus mit Seilbaggern die Schlitzwandelemente abgeteufelt werden konnten. Die Grösse der 29 Querstollen ergab sich aus den Anforderungen aus dem Vortrieb und den statischen Berechnungen für die einzubauenden Abfangträger.

Der Vortrieb der Querstollen und das Betonieren der Abfangträger erfolgten alternierend, indem zuerst jeder zweite Stollen (Primärstollen) erstellt und die entsprechenden Abfangträger betoniert wurden. Anschliessend wurden die zwischen den fertiggestellten Abfangträgern liegenden Querstollen (Sekundärstollen) und Abfangträger ausgeführt.

Der Ausbruch der Querstollen erfolgte aus dem südlichen Längsstollen heraus mit einem kleinen Tunnelbagger. Der nördliche Längsstollen wurde als Zugang zur Erstellung der Abfangträger genutzt.

In den Sohlen der fertig ausgebrochenen Querstollen erfolgte der Einbau des Negativbetons und der verlorenen Schalung. Anschliessend wurden die Trägerbewehrung und die Hüllrohre für die Vorspannkabel verlegt. Durchschnittlich konnte alle 8 Arbeitstage ein Abfangträger mit bis zu 380 m³ selbstverdichtendem Beton verfüllt werden.



Fig. 5
Bewehrung und Schalung des Endträgers.
Reinforcement and formwork of the end beam.

reinforcement and the casing for post-tensioning were laid, the formwork for the box beam placed in position and the faces shuttered. On average every 8 working days a bracing beam could be filled with up to 380 m³ of self-compacting concrete (SCC).

Subsequently, the end beams were concreted, which transfer the loads to the diaphragm walls. The end beams also contained the anchorages of the post-tensioning tendons.

Post-tensioning

For the design of the slab post-tensioning, a multitude of boundary conditions had to be considered – for instance logistical and regulatory issues. Therefore, coordination between the project engineers, the contractor and the post-tensioning company had to start at an early stage. According to the guidelines of the Swiss Federal Railways, all tendons had to be electrically insulated. Furthermore, a potential replacement at a later stage had to be ensured. The main difficulty, however, was the extremely limited working space in the tunnels. After concreting of the end beam, the clear distance to the tunnel walls was very narrow with a maximum width of 1.50 m.

Anschliessend wurden an die Abfangträger die Endträger anbetoniert, die die Auflasten an die Schlitzwände abtragen. Im Endträger befinden sich auch die Verankerungen für die Vorspannkabel.

Vorspannung

Bei der Konzeption der Vorspannung der Abfangdecke mussten sämtliche logistischen und regulatorischen Randbedingungen in Betracht gezogen werden. Schon frühzeitig in der Planungsphase war daher eine gute Koordination zwischen den Projektverfassern, der ausführenden Bauunternehmung und der Vorspannfirma notwendig. Gemäss den SBB-Richtlinien waren alle Spannglieder elektrisch isoliert auszuführen. Zudem sollte ein späterer Ersatz der Kabel gewährleistet sein. Die Hauptschwierigkeit stellten bei allen Arbeiten aber die extrem beengten Platzverhältnisse in den Stollen dar. Nach dem Betonieren der Endträger betrug der lichte Abstand zur Stollenwand lediglich noch maximal 1,50 m. Ein Litzenüberstand, der normalerweise zum Vorspannen respektive zum späteren Kabelausbau nötig ist, war hier nicht möglich – ebenso wenig wie herkömmliches Hebegerät zum Ansetzen einer Spann-



Fig. 6
Einstossen der Monolitzen mit spezieller Umlenkvorrichtung.
Installation of monostrands with deviation device.

A strand overlength that is normally required for tensioning tendons or detensioning them for later replacement, was not available. Neither could conventional lifting equipment for the stressing jack be used in the narrow tunnel.

The post-tensioning system that was finally designed can certainly be considered unique. The tendons consisted of sheathed monostrands, which were pushed into cast-in-place plastic pipes in the transverse beams. To make sure that they withstand the concrete pressure the pipes were filled with water during concreting. The strand coils had to be placed outside the tunnel, and the monostrands had to be pushed through by means of a long guide tube and a special deviation device. In total, 3,600 m of post-tensioning tendons (i.e. 80 t of prestressing steel) were installed in the supporting load transfer slab. The stressing of the tendons was carried out by means of a bell-shaped grip, which was screwed onto the threaded anchor-heads and pulled by a stressing jack that was specially manufactured for the project. Between the pulled

prese eingesetzt werden konnte. Unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen wurde ein Vorspannsystem entworfen, das in

heads and the bearing plates, shims were placed to maintain the elongation. Detensioning of the cables at a later stage is possi-



Fig. 7
Hebewagen für Spannprese.
Trolley with stressing jack.

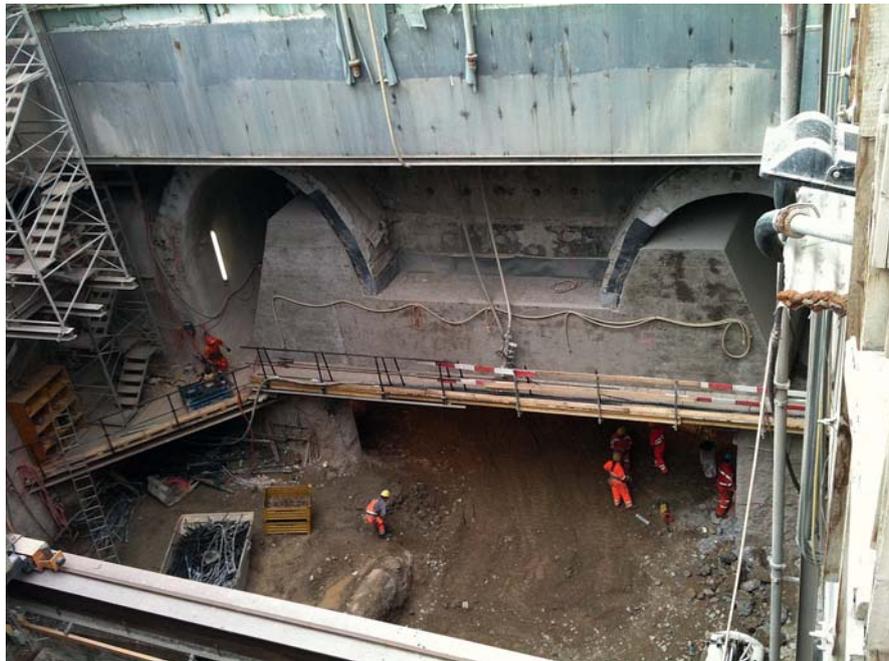


Fig. 8
Aushub unter fertiger Abfangdecke.
Excavation work under completed transfer slab.

dieser Form einmalig sein dürfte. Die Spannglieder bestanden aus gefetteten Monolitzen, die nach dem Betonieren der Abfangdecke in Sammelhüllrohre aus Kunststoff eingestossen wurden. Um dem Betondruck garantiert standzuhalten, wurden die Hüllrohre vor dem Betoniervorgang mit Wasser gefüllt und verschlossen.

Beim Einführen der Monolitzen stand der Litzenabrollkäfig ausserhalb des Stollens, und die Litzen mussten über ein langes Führungsrohr und mit einer speziell konstruierten Umlenkvorrichtung in die Abfangträger eingestossen werden. Insgesamt wurden etwa 3600 m Vorspannkabel respektive 80 Tonnen Spannstahl in der Abfangdecke verbaut.

Das Spannen der Kabel erfolgte über eine Zugglocke, die auf die mit einem Gewinde versehenen Ankerköpfe geschraubt und von einer eigens für das Projekt gefertigten Spannpresse gezogen wurde. Zwischen die gezogenen Köpfe und die Verankerungskörper wurden dem Dehnweg entsprechende Stützschalen eingelegt. Für ein allfälliges Entspannen der Kabel müsste man später lediglich die Ankerköpfe mit der

ble by simply removing the shims. Thus a strand overlength was not needed for stressing or for replacement.

For placing the approx. 1,000 kg heavy stressing jack, the post-tensioning company designed and manufactured a suitable lifting trolley that could be moved along the end girder.

After tendon stressing, the anchorages were sealed and the tendons were electrically insulated from the structure.

After completion of the post-tensioning the bracing loads from the slab were transferred actively to both diaphragm walls with 140 jacks (DN 750/6000 kN), and the tunnel excavation works under the completed transfer slab could be started.

Zugglocke anheben und die Stützschalen wieder entfernen. Auf einen Litzenüberstand für Spannen und Ausbau konnte so verzichtet werden.

Zum Ansetzen der ca. eine Tonne schweren Spannpresse konstruierte die Vorspannfirma einen passenden Hebewagen, der auf Rollen gelagert am Endträger entlang verschoben werden konnte. Nach dem Spannen wurden die Verankerungen abgedichtet und die elektrische Isolierung der Spannglieder gegenüber dem Bauwerk gewährleistet.

Nach Beendigung der Vorspannarbeiten wurden die Abfanglasten der Decke mit 140 Flachpressen (DN 750/6000 kN) aktiv auf die beiden Schlitzwände übertragen. Danach wurde mit den Aushubarbeiten unter der Abfangdecke begonnen.

Autoren/Authors

Fabian Persch
dipl. Bauing. FH
Stahlton AG
CH-8340 Hinwil
fabian.persch@stahlton.ch

Roland Schmed
dipl. Bauing. ETH
Pöyry Schweiz AG
CH-8005 Zürich
roland.schmed@poyry.com

Neue Treppenaufgänge auf die Hardbrücke in Zürich

New staircases at Hardbrücke in Zurich

Wolfram Kübler

Einleitung

Die Stadtentwicklung mit einer neuen Tramlinie bedingte eine neue Erschliessung der Bushaltestellen auf der sanierten Hardbrücke. Architekten und Ingenieure formten dazu skulpturale Treppenspiralen, die den öffentlichen Raum unter der Brücke mit dem eigentlichen Brückenbauwerk verbinden. Bei der filigranen Struktur besonders zu berücksichtigen waren die konstruktive Detaillierung, um eine an dieser exponierten Lage ausreichende Dauerhaftigkeit zu erzielen, sowie die Aufnahme der Brückenverformungen. Zwei der Aufgänge überbrücken 7 m mit einer auskragenden vorgespannten Passelle.

Anlass und Aufgabenstellung

Die Hardbrücke in Zürich wurde ursprünglich als provisorisches Infrastrukturbauwerk erstellt und

Introduction

The urban development in the city with a new tram line necessitated renewed accessibility to the bus stops on the renovated Hardbrücke (a flyover bridge). For this purpose, the architects and engineers designed sculptural spiral staircases that connect the public space under the bridge with the actual bridge structure. Particular attention was given to the structural detail, to achieve a sufficient durability in this exposed position, as well as the deformations of the bridge. Two of the staircases have a 7 m span with a pre-stressed cantilevered pedestrian footbridge.

Motivation and assignment of tasks

The Hardbrücke in Zurich was originally erected as a temporary infrastructure and was once on the border between the city and an industrial area. Today it is located

lag damals an der Grenze zwischen Stadt und Industriegebiet. Heute befindet sie sich mitten im In-Quartier Zürich-West. Aus Sicherheitsgründen wurde die Brücke für die zukünftige Nutzung ertüchtigt und saniert (vgl. S. 165). Im Abschnitt zwischen Bahnhof Hardbrücke und Escher-Wyss-Platz haben sich unter der Brücke öffentliche Räume gebildet. Die neuen Treppenaufgänge dienen als Naht und verbinden diese Räume mit dem öffentlichen Verkehr auf der Hardbrücke in beide Fahrtrichtungen (Fig. 1).

Architektur und Funktion

Die geschwungene Form verleiht den Treppen eine plastische, zeichnerische Wirkung. Die Treppengeometrie, aufgebaut auf den Gesetzmässigkeiten einer logarithmischen Spirale, vereint oberseitig die Anforderungen an Sicherheit und Komfort der Benutzer und unterseitig die Festlegung einer einfachen Wendelgeometrie zum Bau der Schalung.

Die Untersicht der Treppenspiralen und der Passerellen zeichnen Höhenlinien in der Stärke der Schalungsbretter ab, wobei jede Treppenstufe in sechs Höhenstufen unterteilt wurde. Die Aufgänge weichen das harte Betonbrückenbauwerk durch ihre geschwungene Form auf, was die Handläufe aus Holz mit ihrer unerwarteten haptischen Qualität betonen (Fig. 2).

Die Passerellen bei den Aufgängen zur neuen Haltestelle Schiffbau/Abaton sind die Verbindung zur Buswartehalle auf der Hardbrücke. Sie spannen als weit auskragende Platte vom Liftturm zum Brückenrand, ohne jedoch auf diesen Lasten abzugeben. Diese Passerellen sind notwendig, weil im Bereich der Hardstrasse wegen eines Industrieleises und

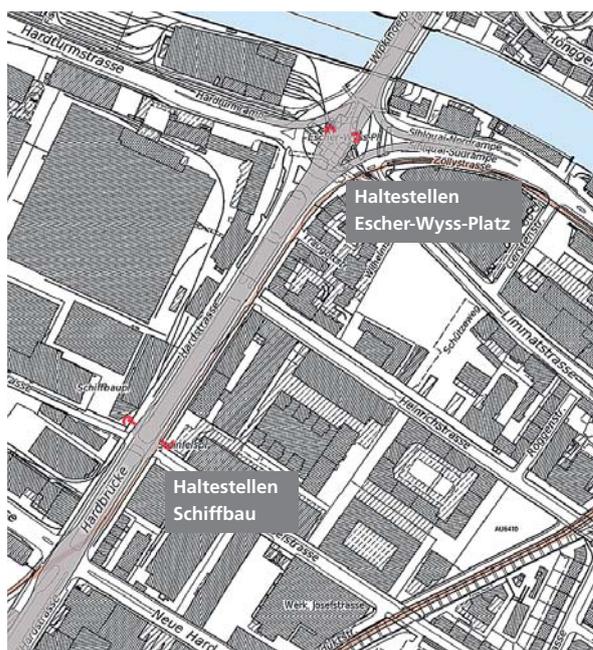


Fig. 1
Situation und Standorte der Aufgänge.
Location and position of the staircases.

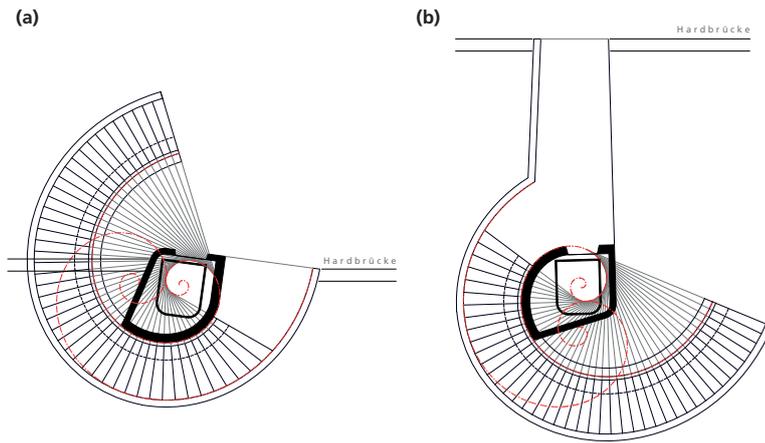


Fig. 2
Geometrieschema bei a) Escher-Wyss-Platz und b) Schiffbau.
Geometrical diagram at a) Escher-Wyss-Platz and b) Schiffbau.

in the heart of the trendy district of Zurich-West. For safety reasons the bridge was strengthened and renovated for future use (cf. p. 165). Due to the urban development, public spaces have been developed in the area between the Hardbrücke railway station and the Escher-Wyss-Platz. The new staircases serve as an interface connecting these public spaces and in particular, the public transport system, i.e. the existing trams and the new tram line No. 4 on the lower level with the bus stops on the Hardbrücke bridge in both directions (Fig. 1).

Architecture and function

The curved form of the staircases gives a vivid, stylish appearance. The geometry of the staircases, which are based upon the principles of a logarithmic spiral, combines the requirements of safety and comfort of the users at the top and the definition of spiral geometry to construct the formwork at the bottom.

The views from underneath the spiral staircase and the footbridge produce contour lines in the thickness of the formwork, with each step divided into six height intervals. The staircases soften the appearance of the rigid concrete bridge structure through their curved form, also accentuated by the timber handrail with the unexpected haptic quality (Fig. 2).

des Freihaltebereichs für Spezialtransporte die Aufgänge nicht direkt an der Brücke anliegen können.

Am Escher-Wyss-Platz verbleibt der Ausgangspunkt der Treppen unter der Brücke. Sie schwingen sich in einem Bogen nach aussen und hinauf auf die Brücke, einmal im Uhrzeiger- und einmal im Gegenuhrzeigersinn. In der Hardstrasse hingegen verlaufen beide Treppen im Uhrzeigersinn und verhalten sich somit punktsym-

The footbridges from the staircases to the new stop Schiffbau/ Abaton connect to the bus shelter on the Hardbrücke. They are in the form of a wide cantilevered slab from the lift tower to the edge of the bridge but without transferring load to it. These footbridges are necessary as the staircases cannot abut directly on the bridge due to the presence of an industrial railway line and a holding area for special transports.

At the Escher-Wyss-Platz the exit point of the stairs remains under the bridge. It curves outwards in an arc and up onto the bridge, once clockwise and once anticlockwise. In the Hardstrasse however, both staircases run in a clockwise direction and thus relate to each other point-symmetrically. The staircase is also in a close spatial relation to the lift, which is also utilised structurally, as the load-bearing inner wall evolves out from the core of the lift (Fig. 3).

Boundary conditions and interfaces

The space is very confined at all four locations: bridge ramps, adjacent buildings and basements, as well as multiple layers of utility



Fig. 3
Aufnahme der Treppenuntersicht (Boesch Architekten).
Photo from below the stairs (Boesch Architekten).

metrisch zueinander. Die Treppe steht indes auch mit dem Lift in einer engen räumlichen Beziehung, die auch konstruktiv genutzt wird, indem sich die tragende Innenwange aus dem Liftkern heraus entwickelt (Fig. 3).

Randbedingungen und Schnittstellen

Die Platzverhältnisse sind an allen vier Standorten sehr beengt: Brückenrampen, angrenzende Gebäude und Untergeschosse sowie mehrlagig in alle Richtungen verlaufende Werkleitungen inklusive Gasleitungen. Bahn- und Tramgleise waren beim Bau der Aufgänge in Betrieb und mussten teilweise für das Gewicht einer Güterzuglokomotive unter- und abgefangen werden. Für die geometrische Entwicklung der Spiralen waren die Lichtraumprofile von Güterzügen und S-Bahn, Fahrleitungen, Freihaltebereiche für die Spezialtransporte und selbstverständlich die Blinden- und Behindertengerechtigkeit zu berücksichtigen.

Es sollen nahezu keine Lasten auf die verbreiterte Auskragung der Brücke abgegeben werden. Große Verformungen in alle Richtungen des Fugenübergangs von der Brücke zu den Passerellen erforderten die Entwicklung einer Spezialfugenkonstruktion.

Tragwerksbeschreibung

Die Treppenaufgänge, deren L-Querschnitt mit einseitiger Betonbrüstung sich in Form einer helixartigen logarithmischen Spirale hochschraubt, sind jeweils in einen Liftkern eingespannt. Die Foundation besteht beim Standort Schiffbau wegen enger Platzverhältnisse aus Pfahlwänden, die den Turmschaft verlängern und gleichzeitig als Baugrubenabschlüsse dienen. Beim Escher-Wyss-Platz verhindern tatenförmig exzentrisch angeordnete Flachfundamentplatten das Kippen des Liftturms, der durch die angehängten Treppenspiralen stark exzentrisch belastet wird.

Speziell sind die vorgegebenen Deformationen der Hardbrücke als Einwirkungen/Randbedingungen:

ducts running in all directions including gas pipes. Train and tram rails were in operation during the construction of the staircases and partially underpinning and bracing was necessary to carry the weight of the engine of a freight train. For the geometrical development of the spirals, the structural clearance for freight and commuter trains, overhead contact lines, free holding areas for special transports and of course accessibility for the handicapped and blind had to be taken into account .

Almost no loads could be transferred to the extended cantilever part of the bridge. Large deformations in all directions from the joint transition from the bridge to the footbridge required the development of a special joint construction.

Description of the structure

The staircases, whose L-cross-section is a one-sided concrete parapet-like wall, rotate upwards in the form of a helical logarithmic spiral, are each fixed to one lift core. At the location Schiffbau, due to the limited space available, the foundation consists of pile walls that extend the tower shaft and at the same time served as an excavation support. At Escher-Wyss-Platz the tilting of the lift tower is prevented by eccentrically arranged flat pawl-like foundation slabs. The lift tower is subjected to high eccentric loads due to the suspended staircases.

Worthy of mention are the specified deformations of the Hardbrücke as actions/boundary conditions:

- the joint transition must be designed to allow movement in horizontal directions.
- due to the risk of stumbling relative vertical displacements are undesirable, but at the same time if possible only small forces or none at all should be transferred.

The following actions were considered for the joint transition:

- Horizontal displacements of the bridge of parallel ± 41 mm and of transverse ± 57 mm

- der Fugenübergang muss in horizontalen Richtungen verschieblich ausgeführt werden
- vertikal sind wegen der Stolpergefahr keine Relativverschiebungen erwünscht, es sollen aber gleichzeitig nur möglichst kleine Kräfte übertragen werden

Es wurden folgende Einwirkungen für den Fugenübergang berücksichtigt:

- Horizontale Verschiebungen der Brücke von parallel ± 41 mm und quer ± 57 mm
- Endzustand Brücke hoch = unbelastet: Hebung Kragarmspitze um +21 mm sowie volle Nutzlast Passerelle, was die Brücke mit max. 50 kN belastet
- Endzustand Brücke tief = belastet: Senkung Kragarmspitze um – 41 mm sowie keine Nutzlast Passerelle, was die Brücke um max. 100 kN entlastet (für Dimensionierung der Fugenübergangskonstruktion)

Daraus ergab sich das Ziel: Eine möglichst schlanke Konstruktion führt zu kleinen Zwängungskräften aus Schwinden und Temperatur sowie damit zu kleinen Rissbreiten und einer hohen Dauerhaftigkeit und Robustheit bei verhältnismässig geringem Bewehrungsverbrauch.

Vorspannung

Um diese Ziele auch für die stark exponierte und aus der Torsionswirkung auf der Innenseite gezogenen Treppenbrüstung zu erreichen, ist diese durch eine oben liegende Monolitze vorgespannt. Das Vorspannkabel in der Passerelle teilt sich von einem Spannkopf im Lift auf zwei Stränge, um die Spanndrähte in der weniger als 20 cm dünnen Kragplatte auf sehr niedrige feste Verankerungen verteilen zu können.

Entwicklung Fugenübergang

Aufgrund der aufzunehmenden Verschiebungen in horizontaler Richtung bei gleichzeitig vertikaler Fixierung konnten keine handelsüblichen Lager und Fugenübergänge verwendet werden. Es war eine dauerhafte Fugenkonstruktion mit niedrigem Unter-

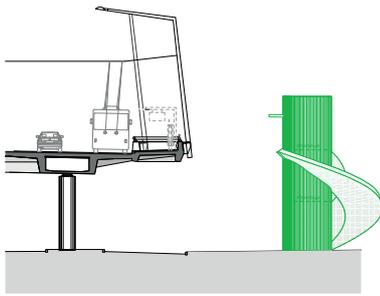


Fig. 4
Bauzustand I.
Construction stage I.

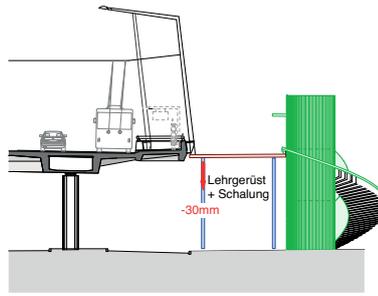


Fig. 5
Bauzustand II.
Construction stage II.

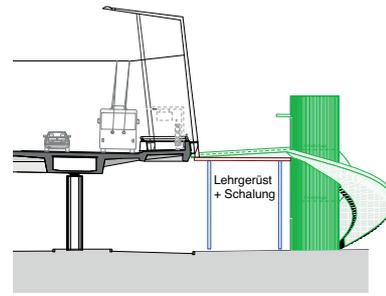


Fig. 6
Bauzustand III.
Construction stage III.

- Final state bridge high = unloaded: Heave of the tip of the cantilever of +21 mm as well as the full live load from the footbridge: the bridge is loaded by max. 50 kN
- Final state bridge low = loaded: Sagging of the tip of the cantilever of –41 mm as well as no live load of the footbridge: the bridge is unloaded by max. 100 kN (for dimensioning of the joint transition construction)

This led to the following aim: As slender a construction as possible leads to small constraining forces due to shrinkage and temperature and thus to small crack widths and high durability and robustness, with comparatively low use of reinforcement.

Prestress

To achieve these results also for the very exposed areas and due to the torsional action on the inside parapet-like wall of the staircase an external prestressed monostrand was required.

The prestressing cable in the footbridge splits from one prestressing head in the lift to two strands, to distribute the prestressing wires in the less than 20 cm thin cantilever slab to very low fixed anchorages.

Development of joint transition

Due to the displacements to be accommodated in the horizontal direction while fixed at the same time in the vertical direction, commercially available bearings and joint transitions could not be used. A durable joint construction

haltsaufwand zu entwickeln, die nach Möglichkeit die Nutzer nicht beeinträchtigt und k(l)eine Kräfte auf die Brücke abgibt.

Bau- und Endzustände

Passerellen

Die Grundidee bestand darin, die ausragenden neuen Brückenverbreiterungen für die Bushaltebuchten im belasteten Zustand durch die Passerellen nicht zusätzlich zu belasten, sondern tendenziell sogar zu entlasten.

– Ausgangslage:

Liffturm ist betonierte, die vorbereitete Treppenspirale wird zusammen mit der Passerelle in einem Arbeitsgang betonierte

– Bauzustand I (Fig. 4):

Die Schalung für die Passerelle wird auf der tiefsten zu erwartenden Höhenlage der Brücke erstellt.

– Bauzustand II (Fig. 5):

Die Passerellen werden bereits nach wenigen Tagen bei einer für das Vorspannen ausreichenden Festigkeit des Betons mitsamt der Schalung mithilfe von Pressen auf die eigentliche Null-Lage angehoben, womit sich ein positives Moment im Passerellenquerschnitt einstellt.

– Bauzustand III (Fig. 6):

Nun erfolgt der Fugenschluss mit der Brücke, indem die Lagerelemente in die bereits beidseitig in Brücke und Passerelle eingebetteten Stahlelemente mithilfe einer Presse eingebaut und auf ihren Gebrauchszustand vorgespannt werden. In diesem quasi-ständigen Zustand ist das erforderliche Gefälle für die Entwässerung in Längsrichtung zum Lift

with low maintenance effort had to be developed, which as far as possible does not affect the user and which transfers no or just small stresses to the bridge.

Construction and final states of the footbridges

The basic idea consisted in the loaded state of reducing rather than increasing the load applied by the footbridges to the cantilevered new bridge extensions for the bus stop bays.

– Initial position:

Lift tower is concreted, the prepared spiral staircase is cast together with the footbridge in one operation.

– Construction stage I (Fig. 4):

The shuttering for the footbridge is mounted on the lowest expected level of the bridge.

– Construction stage II (Fig. 5):

After a few days at a sufficient strength for prestressing the concrete, the footbridges, along with the shuttering, are raised by means of jacks to the actual zero position, which creates a positive moment in the cross-section of the footbridges.

– Construction stage III (Fig. 6):

The joint sealing with the bridge is now carried out, the bearing elements are already built into the concreted steel elements on both sides in the bridge and the footbridge with the aid of a jack and are prestressed to the serviceability state. In this quasi-permanent state, the required slope for the drainage in the longitudinal direction towards the lift is assured and the sealing in the form of



Fig. 7
Treppenaufgang am Escher-Wyss-Platz (Boesch Architekten).
Staircase at Escher-Wyss-Platz (Boesch Architekten).

hin sichergestellt und wird die Abdichtung in Form einer Flüssigkunststofffolie unter dem Asphaltbelag aufgebracht.

– Endzustand:

Stellt sich die Brücke höher als im Nullzustand ein, bewirkt dies für die Einspannung der Passerelle im Turm ein zusätzliches positives Moment. Dieser kurzzeitige Zustand ist für den Querschnitt unkritisch, selbst wenn die Unterseite aufreißt. Stellt sich die Brücke tiefer als im Nullzustand ein, erfährt die Passerelle ein negatives Moment und das im Bauvorgang eingepreiste positive Moment. Infolge der exzentrisch eingelegten Vorspannung bleibt der Querschnitt ungerissen und die Abdichtung unbeschädigt.

Materialisierung

Die Aufgänge wurden aus frosttausalzbeständigem Beton (XC4, XD3, XF4, $Cl < 0,1$, $D_{max} = 16mm$) erstellt. Der Betonlieferant wählte dieselbe Betonrezeptur wie für jene der Brückenergänzungen, um eine möglichst optimale farb-

a synthetic liquid membrane sealant is installed under the asphalt layer.

– Final state:

If the bridge is higher than the zero state, this results in an additional positive moment in the fixed end connection of the footbridge to the tower. This short-term state is not critical for the cross section, even if the soffit exhibits cracking. If the bridge comes to rest lower than zero position the footbridge experiences a negative moment superimposed on the positive moment resulting from the construction process. As a consequence of the eccentric prestressing the cross section remains intact and the sealing undamaged.

Special materials choices

The staircases were constructed with frost and de-icing salt resistant concrete (XC4, XD3, XF4, $Cl < 0,1$, $D_{max} = 16mm$). The concrete supplier chose the same concrete mix design as that used for the bridge extensions to achieve an

liche Übereinstimmung der Bauwerke zu erreichen.

Geländer und nicht zerstörungsfrei austauschbare Verankerungen sind aus rostfreiem Stahl ausgebildet, die Fugenkonstruktion wurden entweder im Duplexverfahren (Feuerverzinkung + 2x Anstrich) beschichtet oder bestehen aus rostfreiem Stahl, für die Kunststoffteile wurde Teflon gewählt.

Planung und Schalungsbau

Für die Ausführung in Sichtbeton wurden erhöhte Anforderungen an die Schalungseigenschaften definiert und ausgeschrieben. Ausserdem wurde ein Muster im Massstab 1:1 erstellt, das von den Architekten und der Bauherrschafft genehmigt wurde.

Als Grundlage für die Werkplanung diente dem Schalungsbauer ein vollständiges 3D-CAD-Modell des Betonvolumens inklusive sämtlicher Schraubbewehrungen für Lift und Geländerverankerungen sowie der Vorspannung. Auch die Fugenkonstruktion wurde zur Klä-



Fig. 8
Treppenaufgang mit Passerelle bei der Haltestelle Schiffbau
(Boesch Architekten).
Staircase with footbridge at Escher-Wyss-Platz (Boesch Architekten).

Projektdaten/Project data

Bauherr/Owner

Stadt Zürich/City of Zurich

Architekt/Architect

Elisabeth & Martin Boesch

Architekten ETH SIA BSA, Zürich

Bauingenieur/Civil engineer

Walt+Galmarini AG, Zürich

Geometrie Treppen/Geometry stairs

Urs Beat Roth, Zürich

Betonbau/Concrete works

Implenia Bau AG

CH-8050 Zürich

optimum colour match between the structures.

The railings and non-indestructible replaceable anchors are made of stainless steel, while the joint construction was coated either with the duplex process (hot-dip galvanising + two coatings) or made from stainless steel, for the plastic parts Teflon was chosen.

Planning and formwork

For a finish in fair-face concrete, increased requirements were defined and included in the call for tenders for the formwork properties. In addition, a 1:1 scale model was built, which was approved by the architect and the client.

As a basis for the detailed execution, a complete 3D CAD model of the concrete volumes, including all reinforcement screws, inserts for lift and handrail anchorages and prestressing was provided for the formwork firm.

Durability and maintenance

Joint planning of the architects and the client resulted in a very careful detailing and selection of materials, to create durable and low maintenance staircases that are heavily stressed the surroundings (traffic) and also the users:

- Partial reinforcement and anchors made of stainless steel

– reinforcement to optimize the cover to the reinforcement.

– Prestressing, so that the seal to the upper side of the footbridge remains in a crack-free condition.

– Graffiti protection and hydrophobic treatment (water-repellent) for easy maintenance and cleaning

– Natural stone facing on the steps resulting in less damage to the edges

– Synthetic liquid membrane as sealing under the facing is elastic, crack-bridging and impervious to underflow beneath the sealing

– Joint construction with a higher working life using high quality corrosion protection and facing materials.

Dauerhaftigkeit und Unterhalt

Resultat der gemeinsamen Planung mit Architekten und der Bauherrschaft waren eine sehr sorgfältige Detaillierung und Auswahl der Materialien, um die sehr stark durch die (Verkehrs-) Umgebung und auch die Nutzer beanspruchten Aufgänge dauerhaft und mit minimiertem Unterhalt auszugestalten:

- Teilweise Bewehrung und Verankerungen aus rostfreiem Bewehrungsstahl zur Optimierung der Bewehrungsüberdeckung
- Vorspannung, damit Passerellenoberseite mit Abdichtung in ungerissenem Zustand bleiben
- Graffitischutz und Hydrophobierung erleichtern den Unterhalt und die Reinigung
- Natursteinbelag auf Tritten führt zu weniger Kantenbeschädigungen
- Flüssigkunststoffolie als Abdichtung unter den Belägen ist elastisch, rissüberbrückend und unterlaufsicher
- Fugenkonstruktion mit hoher Lebensdauer durch hochwertigen Korrosionsschutz und Lagermaterialien.

Autor/Author

Wolfram Kübler

dipl. Bauing. FH

Walt+Galmarini AG

CH-8008 Zürich

kuwo@waltgalmarini.ch