

VERSTÄRKTES UNTERWERK



01



02

Das Unterwerk Wasgenring ist ein zentrales Element der Elektrizitätsversorgung Basels, das in Notstandsfällen und insbesondere bei Erdbebeneinwirkung funktionstüchtig bleiben sollte. Bei einer kürzlich ausgeführten umfassenden Anlagenerneuerung mit entsprechenden baulichen Anpassungen wurde auch die Erdbebensicherheit untersucht und verbessert.

Das 1964 erbaute Unterwerk (UW) Wasgenring besteht aus einer oberirdischen Montagehalle (Höhe OK Dach über Boden: 11.68m) und ausgedehnten drei- bis viergeschossigen unterirdischen Räumen, welche die elektrischen Anlagen enthalten (Bilder 1 bis 5). Die massiven Untergeschosse aus Stahlbetonwänden und -decken wiesen schon im ursprünglichen Zustand eine ausreichende Erdbebensicherheit auf. Das Tragwerk der Montagehalle hingegen bestand einzig aus einem schwach bewehrten, mit Mauerwerk ausgefachten Stahlbetonrahmen, der im Erdbebenfall von den Trägheitskräften aus dem massereichen Dach überbeansprucht worden wäre – besonders auf der Höhe des Fensterbandes (Bild 1). Der Erfüllungsfaktor gemäss Merkblatt SIA 2018 betrug etwa $\alpha = 0.3$; die Anforderungen der Norm SIA 261 waren damit bei Weitem nicht erfüllt.

In Anbetracht der Bedeutung der Elektrizitätsversorgung wurde das UW Wasgenring durch den Kanton Basel-Stadt als Lifeline-Bauwerk klassifiziert und muss deshalb die Anforderungen der Norm SIA 261 für die BWK III erfüllen.

ERTÜCHTIGUNG MIT VERTRETBAREN KOSTEN

Seit 2004 wird in der Regel das Merkblatt SIA 2018 zur Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben beigezogen, um zu entscheiden, ob eine Erdbebenertüchtigung bezüglich ihrer Kosten verhältnismässig oder zumutbar ist. Im Wesentlichen ist dabei abzuschätzen, wie viel im Sinne eines statistischen Erwartungswertes mithilfe der Ertüchtigungsmassnahme pro gerettetes Menschenleben ausgegeben wird (vergleiche dazu TEC21 8/2006 S. 14–18). Dieses Kriterium war im vorliegenden Fall gegenstandslos, da es nicht um die Personensicherheit, sondern allein um die Versorgungssicherheit ging – Personen halten sich im ursprünglich gefährdeten Bereich nur sehr selten auf. Die Industriellen Werke Basel sind bestrebt, die Versorgungssicherheit nach Möglichkeit auch bei einem Erdbeben zu gewährleisten. Deshalb wurde beschlossen, im Rahmen von geplanten Umbauten auch eine Erdbebenertüchtigung vorzunehmen. Die budgetierten Kosten von 650 000 Franken, die etwa 5 % des Gebäudewertes entsprechen, wurden dabei als vertretbar eingestuft.

ERTÜCHTIGUNGSKONZEPT

Zur Abtragung der Erdbebenkräfte wurden alle vier Fassadenwände verstärkt. Auf der Westseite wurde ein Stahlfachwerk und auf den übrigen drei Seiten je eine Stahlbetonwand eingebaut (Bilder 3, 4 und 5). Die Stahlbetonwände wurden im Innern hochgezogen, sodass diese von aussen her kaum in Erscheinung treten. Allerdings musste in der Nord- und Ostfassade je ein Fenster zubetoniert werden (Bild 2), denn die ausgeprägteste Schwachstelle des bestehenden Tragwerkes befand sich auf der Höhe des Fensterbandes.

Die Stahlbetonwand hinter der Ostfassade (Bild 6) liegt ausserhalb des unterirdischen Baukörpers und wurde deshalb mithilfe von sechs leicht geneigten Mikropfählen verankert, die die Biegezugkräfte direkt in den Boden einleiten. Der in Bild 6 unten an der Wand sichtbare Fundamentriegel erlaubte eine Erhöhung des Hebelarmes zwischen den Mikropfählen. Die Stahlbetonwände hinter der Nord- (rechts in Bild 7) und der Südfassade wurden mithilfe aufgeklebter kohlenstofffaserverstärkter Kunststofflamellen vollständig im unterirdischen Bauwerk verankert (Kasten S.30). Die in den unterirdischen Wänden vorhandene Beweh-

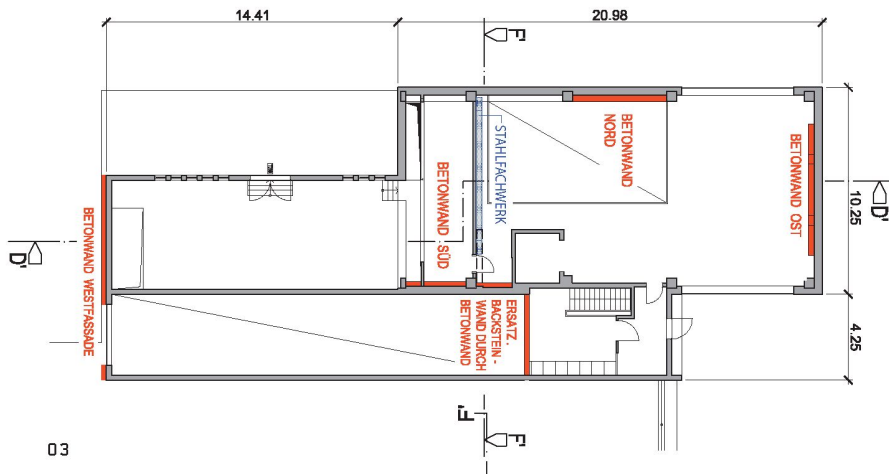
01 Ost- und Südfassaden im ursprünglichen Zustand (Bild: Martin G. Koller)

02 Ost- und Südfassaden nach der Verstärkung (Bild: Thomas Wenk)

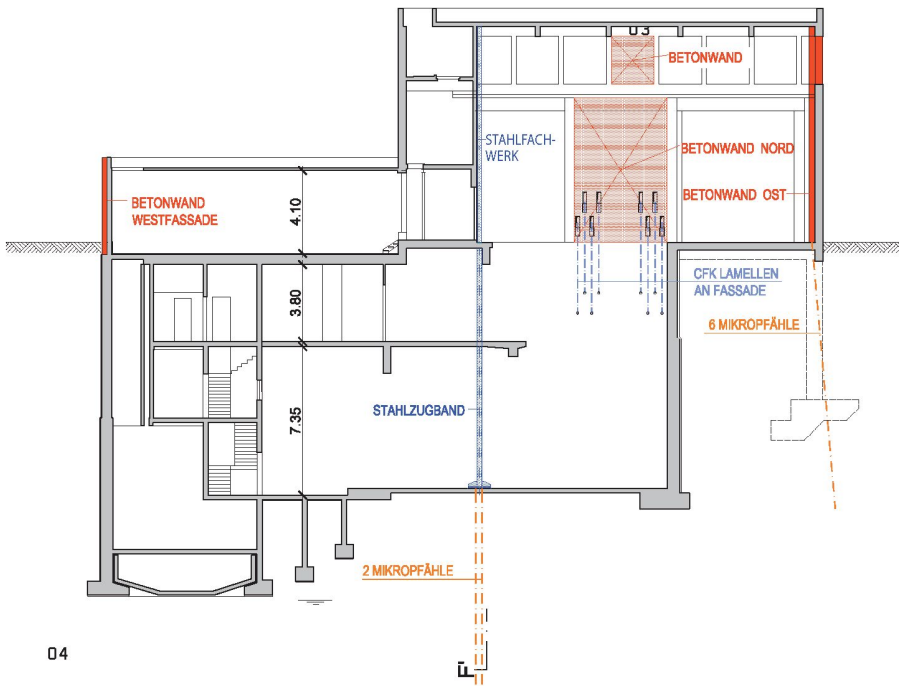
03 Grundriss des Erdgeschosses mit den Ertüchtigungsmassnahmen, Mst. 1:400 (Pläne: Colenco Power Engineering Ltd)

04 Schnitt D'-D' längs (in Ost-West-Richtung) durch die Montagehalle. Die offen gebliebenen Durchgänge in den Untergeschossen sind deutlich sichtbar. Mst. 1:400

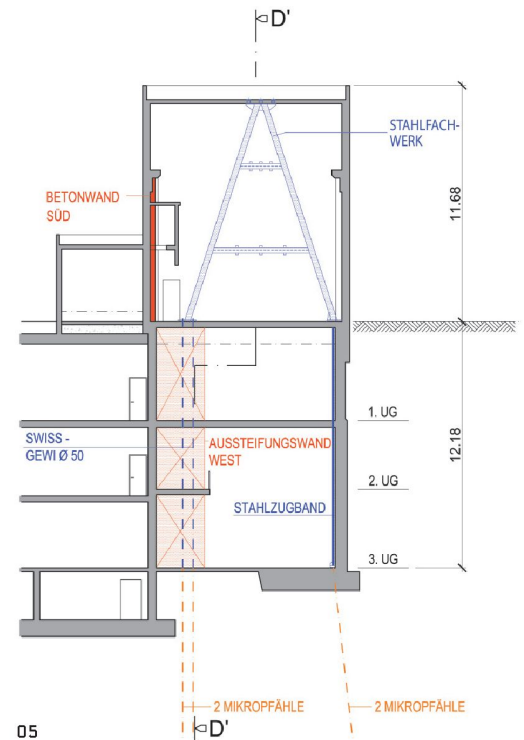
05 Schnitt F'-F' quer (in Nord-Süd-Richtung) durch die Montagehalle, Mst. 1:400



03



04



05

VORGESPANNTE CFK-LAMELLEN

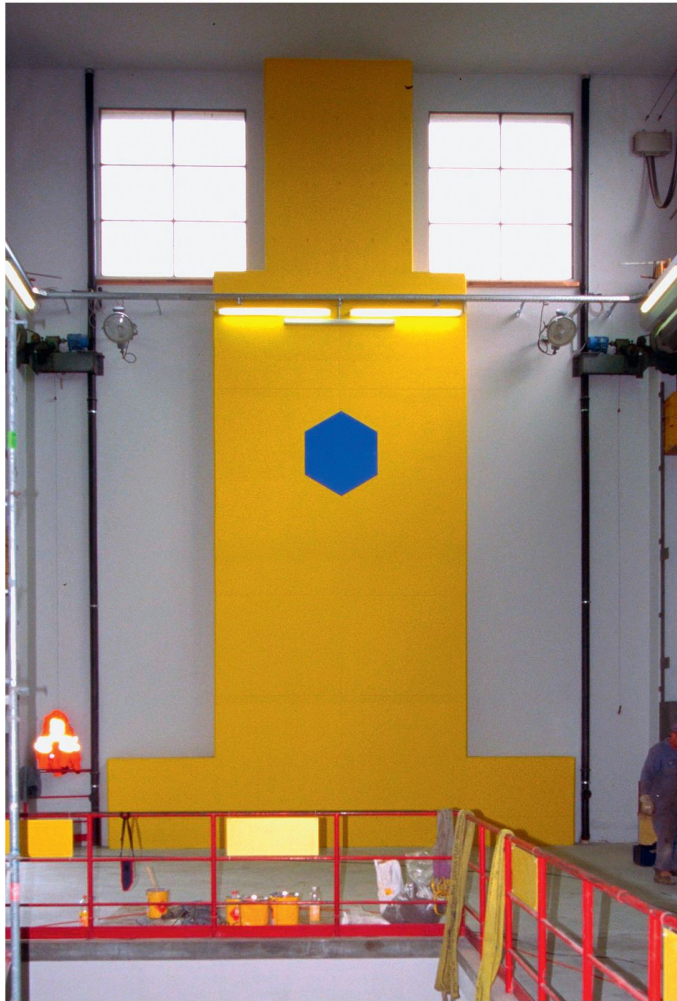
Da CFK-Lamellen im Vergleich zur Stahlbewehrung einen geringeren E-Modul aufweisen, sind bis zu ihrem Bruch grosse elastische Dehnungen erforderlich ($\epsilon_b = 1.7\%$). Bis die notwendigen Kräfte für die Abtragung der Erdbebeeinwirkungen mobilisiert werden können, sind bei schlaffer Armierung somit grosse Durchbiegungen erforderlich. Werden die CFK-Lamellen vorgespannt, kann ein wesentlicher Teil der Bruchdehnung vorweggenommen werden. Im Fall einer Erdbebeebeanspruchung ergeben sich dann nur beschränkte zusätzliche Dehnungen. Das zu verstärkende Tragelement wird durch die Vorspannung überdrückt, wodurch breite Risse sowie übermässige plastische Verformungen der vorhandenen Stahlbewehrung vermieden werden.

Die CFK-Lamellen wurden als reine Zugbänder eingesetzt und an den Enden mittels 110 mm langen CFK-Ankern, die die Vorspannkräfte von $P_{0,max} = 220\text{ kN}$ via Stahlteile in den Beton einleiten, verankert. Die Verankerung erfolgte in den bestehenden Stahlbetonwänden mittels Stahlschubdübeln ($D = 120\text{ mm}$). Im Bereich der neuen Stahlbetonwände im Erdgeschoss wurden Stahlteile als Verankerungen in die Betonkonstruktion eingelegt. Die auf die Oberfläche aufgetragenen CFK-Spannglieder sind zugänglich und können periodisch überprüft werden. Zu vorgespannten CFK-Lamellen siehe auch TEC21 22/2002 S. 27–29. Gregor Schwegler/ Red.

rung hätte nicht ausgereicht, um die Biegezugkräfte der neuen Erdbebeeinwirkungen aufzunehmen. Die Verankerung der vorgespannten CFK-Lamellen erfolgte so tief unten in den Untergeschosswänden, dass über die Druckkraftausbreitung von den Verankerungsstellen aus nach oben genügend Wandfläche bzw. Bewehrung für die volle Abdeckung der Biegezugkräfte aktiviert wird. Eine konventionelle Verankerung der neuen Stahlbetonwände im unterirdischen Bauwerk mithilfe eing Bohrter Anschlussbewehrungen wäre wesentlich aufwendiger gewesen. Infolge der ungenügend vorhandenen Stahlbewehrung wären bis zu 3 m lange Bohrungen erforderlich gewesen.

AUFRECHTERHALTUNG EINES GROSSEN DURCHGANGES

Eine besondere Herausforderung bestand im Bereich der Westfassade der Montagehalle, die in den Untergeschossen nicht weitergeführt ist (Bild 4, bei Schnitt F'-F'). Hier müssen die grossen Transformatoren beim Ein- und Ausbau durch die Ebene der nach unten verlängert gedachten Westfassade verschoben werden. Auf der Nordseite dieses Durchganges liess sich das Lichtraumprofil höchstens um 5 cm bis 10 cm einschränken. Als Verstärkung wurde deshalb längs einer Innenwand, parallel zur Westfassade, über die Höhe des oberirdischen Teils ein A-förmiges Stahlfachwerk (Bild 7) eingebaut. Seine zwei Querbalken sind auf der Höhe der Zwischendecken (die sich in Bild 7 hinter der Innenwand befinden) angeordnet. Die vertikale Kraftkomponente des nördlichen Beins wird über ein Zugband aus Flachstahl längs der unterirdischen Stahlbeton-Nordfassade nach unten geführt und über zwei leicht geneigte Mikropfähle in den Untergrund abgegeben (Bild 5). Die horizontale Kraftkomponente (ein Anteil des «base shear») wird über die Decke auf Terrainhöhe zur Südseite hin abgeführt. Dort übernimmt eine neue Stahlbetonwand, die sich über alle drei Untergeschos-



06



07

06 Gelb hervorgehobene Stahlbetontragwand auf der Innenseite der Ostfassade
(Bilder: Thomas Wenk)

07 A-förmiges Fachwerk parallel zur Westfassade und rechts neue Stahlbetontragwand auf der Innenseite der Nordfassade

AN DER ERTÜCHTIGUNG BETEILIGTE

Bauherrschaft: Industrielle Werke Basel (IWB)

Bauingenieure:

Ertüchtigungskonzept und Bauprojekt:

Résonance Ingénieurs-Conseils SA, Carouge

Bauprojekt und Ausführung: Colenco Power Engineering Ltd, Baden

CFK-Lamellen:

Spannsystem und Projekt: StressHead AG, Luzern

Ausführung: Sika Schweiz AG, Zürich, und

VSL Schweiz AG, Subingen

Bauunternehmer: Wenk AG, Basel

Mikropfähle: Greuter Grundbau AG, Hochfelden

Stahlbau: Preiswerk+ Esser, Pratteln

se erstreckt, die vertikale Kraftkomponente des südlichen Beins sowie die gesamte Horizontalkraft und überträgt diese auf die bestehende unterirdische Struktur sowie auf weitere Mikropfähle. Der Verbund zwischen neuen und bestehenden Elementen erfolgt über konventionell gebohrte und verklebte Bewehrungsanschlüsse sowie aufgedübelte Stahlprofile.

BEMESSUNG DER VERSTÄRKUNGSELEMENTE

Die Abmessungen der meisten Verstärkungselemente ergaben sich nicht aus den Erdbebenkräften, sondern aus den zulässigen Deformationen des vorhandenen Mauerwerks. Insbesondere das oben erwähnte Zugband, das über drei bzw. vier Stockwerke reicht (Bild 3), musste deutlich stärker ausgeführt werden, als vom Widerstand her notwendig gewesen wäre. Ansonsten wären dessen Nachgiebigkeit wegen seiner Länge zu gross und damit letztlich die horizontale Steifigkeit des A-Fachwerks zu gering ausgefallen. Die Auslegung der Verstärkungselemente erfolgte derart, dass die mittlere Stockwerk-Schiefstellung der Mauerwerkswände für die volle Erdbebeneinwirkung entsprechend der BWK III den Wert von 0.5% nicht überschreitet.

Mit der ausgeführten Ertüchtigung wurde die volle Erdbebensicherheit gemäss der Norm SIA 261 für die BWK III erreicht ($\alpha_{int} = 1.0$). Die Baukosten betragen zirka 650000 Franken inklusive Verstärkung der hier nicht beschriebenen eingeschossigen Nebenräume und der apparativen Anpassungen, was recht genau dem Kostenvoranschlag für das Ertüchtigungskonzept entsprach.

Martin G. Koller, Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH/SIA, Résonance Ingénieurs-Conseils SA, Carouge, martin.koller@resonance.ch

Hansjürg Vögthli, dipl. Bauing. ETH, Colenco Power Engineering Ltd, Baden, VOE@colenco.ch

Gregor Schwegler, Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH/SIA, StressHead AG, schwegler@pmpartner.ch