Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 133 (2007)
Heft: 33-34: Letzigrund

Artikel: Grosse Auskragung
Autor: Ulaga, Tomaž
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-108152

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

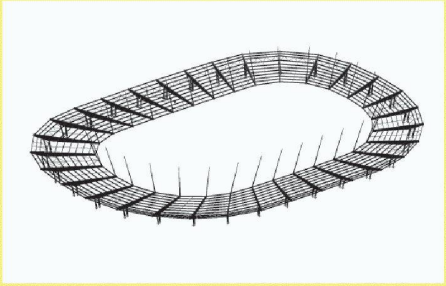
Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

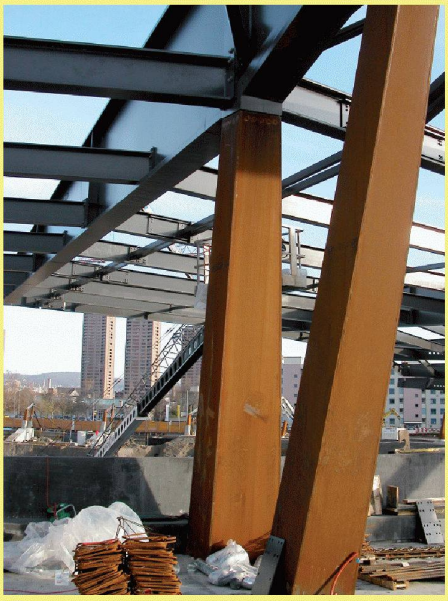
Download PDF: 14.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

GROSSE AUSKRAGUNG



01



02

Das neue Letzigrundstadion ist ein Austragungsort für Publikumsanlässe unterschiedlichster Art. In der Agenda erscheinen das Leichtathletikmeeting, zahlreiche Fussballspiele sowie diverse Konzertveranstaltungen. Architekten und Fachplaner führten die unterschiedlichen funktionellen, gestalterischen und technischen Anforderungen in einer ergiebigen Teamarbeit zusammen. Es entstand dabei ein mächtiges und doch ruhiges Gebilde mit komplexem und doch einfachem Tragwerk.

Die Anlage enthält viele beeindruckende Einzelheiten, für die spezialisierte Tragwerkslösungen erarbeitet wurden. Einige davon sind offensichtlich und werden vom Besucher erkannt: das schwebende Dach, die filigranen Hauptstützen, die mächtige und doch dünne Betonumgangsrampe. Daneben gibt es aber auch Spezialkonstruktionen, die kaum als solche oder gar nicht erkannt werden. Sie sind versteckt oder wurden nur für die Optimierung des Baubetriebs genutzt. Im Folgenden sind sowohl offensichtliche als auch versteckte Tragwerksbesonderheiten erläutert.

DAS KRAGDACH AUS STAHL

Die Haupttragelemente der Dachkonstruktion sind die 31 Binder, die im Abstand von 20 m angeordnet sind (Bild 1). Vom jeweiligen Stützenpaar aus ragen sie bis 32 m ins Stadioninnere (Bild 2). Der Querschnitt ist über der Druckstütze maximal 3.40 m hoch und verjüngt sich, entsprechend der statischen Beanspruchung, zu den Dachrändern auf eine Höhe von 1.10 m. Die Flansche des Blechträgers haben eine konstante Breite von 600 mm, die Stärke dagegen variiert zwischen 20 mm und 100 mm. Die Wahl dieser Geometrie liefert einen Querschnitt mit einer ausgeprägten starken Achse für die Aufnahme der Kragarmbiegung. Den Unterflanschen folgend sind die Felder zwischen den Bindern durch ein multifunktionales System von Pfetten aus HE- und PE-Profilen und Verbänden aus Rohrprofilen ausgefacht. Dieser Rost dient als Lager für das Dachblech, definiert die Abflussrichtung des Regenwassers, verhindert das seitliche Kippen der Binder und ermöglicht eine Scheibenwirkung für die Aufnahme von horizontalen Einwirkungen. In jedem dritten Feld gibt es eine Dilatationsfuge, die parallel zur Binderachse verläuft. Zwängungen infolge Temperaturdehnung der Pfetten werden dadurch verträglich gehalten.

Die Stahlkonstruktion des Dachs, aus Stahl der Qualität S355 erstellt, ist Einwirkungen ausgesetzt, die stets ändernde Deformationen verursachen. Schnee oder Oberflanscherwärmung führen zu einer Senkung des Dachinnenrandes. Windböen bewirken je nach Windrichtung eine Senkung oder sogar eine Hebung. Diese Erscheinungen müssen bei der Dachunterseite, die mit einem Holzrost verkleidet ist, berücksichtigt werden. Direkter Windangriff und die Übertragung der Deformationen aus der Stahlkonstruktion könnten zu unerwünschten Verzerrungen des Erscheinungsbilds bis hin zum Ausknicken einzelner Latten oder zum Versagen von Verbindungsmitteln führen. Der vierlagige Holzaufbau ist daher so konzipiert, dass eine Entkopplung der Verformungen entsteht. Im Wesentlichen wird dies mit Lager- und Schiftbalken erreicht. Erstere liegen gleitend auf den Unterflan-

03

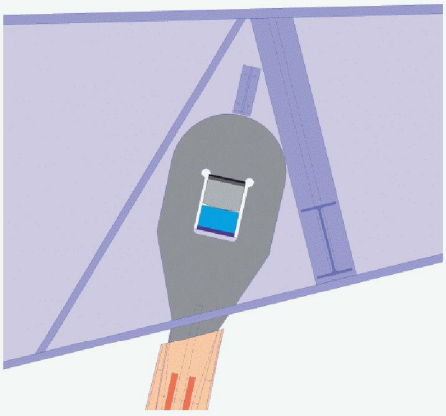
schen der Stahlpfetten. An diesen hängen die Schiftbalken, die über lange, teilweise fachwerkartig angeordnete Schrauben gerade genügend nachgiebig an den Lagerbalken befestigt sind.

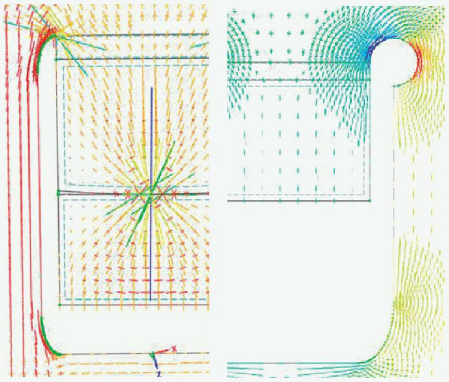
DIE STÜTZEN ALS KRÄFTEPAAR

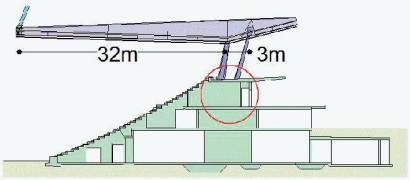
Die Grundrissform der Dachkonstruktion erfüllt eine Vielzahl von Randbedingungen. Der darunter liegende Publikumsbereich wird vollständig bedeckt, die auf den Binderspitzen stehenden Lichtmasten sowie die tragenden Stützenpaare haben konstante Zwischenabstände, und der gesamte Tribünenraum ist stützenfrei. Die Grundrissform der Tribüne schmiegt sich eng an die Leichtathletikarena und erhält von der 400- und der 100-m-Bahn ihre Form. Alle anderen Bauteile fügen sich dieser Struktur, indem sie tangential oder orthogonal zu den Tribünenreihen stehen. Die aus diesen Anforderungen resultierenden Konstruktionsregeln liefern Stützenpunkte in Dach- und Publikumsgrundriss, die nicht deckungsgleich sein können. Die Kompatibilität dieser Unverträglichkeit wird hergestellt durch das Schiefstellen und Verdrillen der Stützen. Auf diese Weise wird eine Entkopplung von Zwängen erreicht, und es entsteht ein gestalterisches Spiel, das den Eindruck von tanzenden Paaren vermittelt (Bild 2). Jedes Stützenpaar mit variablem Zwischenabstand trägt jeweils einen einseitig auskragenden Binder. Es funktioniert daher vorwiegend als Kräftepaar. Die kragarmseitige Stütze erhält Druck mit einer Kraft bis 19000 kN und die kragarmabgewandte Stütze Zug mit einer Kraft bis 14000 kN (Bild 6). Der Druckstützenkopf ist oben mit einer Zylinderkalotte aus Stahl abgeschlossen. Der Binder wird einfach aufgelegt und ist dadurch einseitig zwängungsfrei gelagert. Für den Fall einer Lastumkehr (z. B. im Fall von Sturmböen) dienen zwei Gewindestangen als Abhebesicherung. Der Zugstützenkopf ist als Augenstab ausgebildet und überträgt die Zugkraft des Binders über einen Gelenkbolzen in die Stütze (Bild 4). Die Lochecken sind mit Bohrungen ausgerundet, damit der Kraftfluss einen «grossen Bogen» um die Ecken macht und so keine Kerbspannungen verursacht (Bild 5). Die genaue Geometrie dieser Zone wurde mit Hilfe einer dreidimensionalen FE-Analyse optimiert.

Die Verbindung zwischen dem Binder und den Stützen muss statischen und dynamischen Anforderungen genügen. Zusätzlich ist die Knotenausbildung so konzipiert, dass ein äusserst effizienter Bauvorgang möglich war. Jeder vollständig in der Werkstatt gefertigte Binder wurde vom Kran direkt auf die Stützen abgesetzt und durch das Einschieben des Gelenkbolzens arretiert. Der Vorgang dauerte weniger als eine Stunde, und es waren keine weiteren Hilfskonstruktionen notwendig (Bild 3).

01 Struktur der Dachkonstruktion im statischen Modell: Das aussen ca.250 x 177 m messende Oval des Daches schwebt gleichsam in leichter Schieflage rund 17 m über den Strassen
02 Tanzende Stützen (im Dezember 2006) bilden das Auflager des Stahlträgers. Eine Stütze übernimmt Zug, die andere Druck, sie stellen somit ein Kräftepaar dar
03 Bindermontage im Oktober 2007
04 Die Zugstütze ist als Augenstab ausgebildet. Über einen Gelenkbolzen wird die Zugkraft aus dem Binder in die Stütze geleitet
05 Ausbohrungen der Lochecken im Anschlussblech der Zugstütze optimieren die Spannungen. Die Bilder zeigen die Spannungstrajektorien im Anschlussblech, links ohne und rechts mit Eckbohrungen

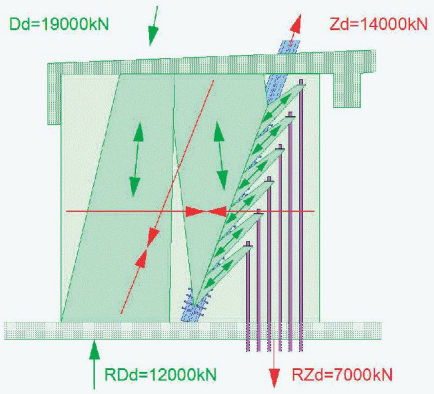

04


05



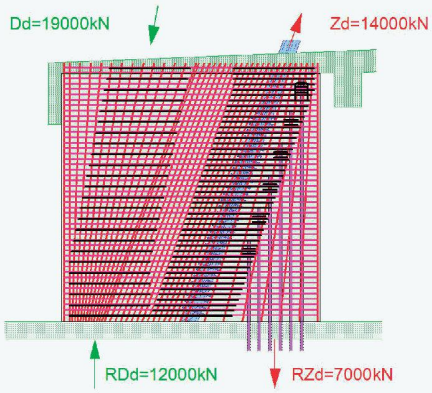
Die Achsgeometrie und die hohe Druck- bzw. Zugkraft aus Binderlagerung sowie Wind- und Erdbebeneinwirkungen führen zu einer Kombination von hoher Normalkraft- und Biegebeanspruchung der Stützen. Mit Verbundquerschnitten wird der nötige Widerstand erreicht. Das Stützeninnere besteht aus einem Stahlbetonkörper mit integriertem Vollstahlkern, dessen Durchmesser von Stützentyp zu Stützentyp ändert und bis zu 220 mm beträgt. Der Mantel ist aus wetterfesten Stahlblechen mit Stärken zwischen 15 und 20 mm zusammengesetzt. Nach innen gerichtete Kopfbolzendübel ermöglichen das Zusammenwirken mit dem Stützenkern.

DIE VERANKERUNG VON STAHL IN BETON



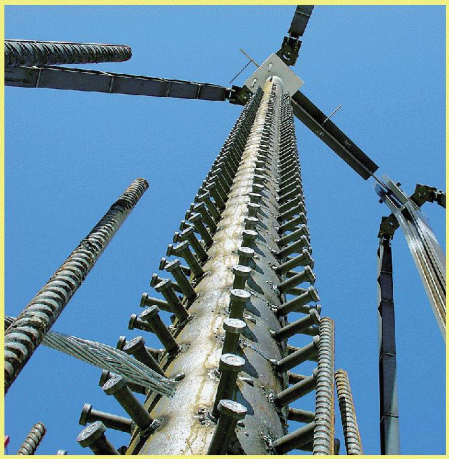
Jedes Stützenpaar ist in einer Auflagerwand eingespannt. Infolge der grossen Kräfte, die eingeleitet werden müssen, ist eine aufwändige Detailkonstruktion notwendig (Bild 6). Jede Auflagerwand, die ein Stützenpaar einspannt, ist etwa 5 m lang und bis 1.8 m stark. Die Druckkraft wird vorwiegend über den Beton weitergeführt und die Zugkraft von einem Paket von Gewindestangen mit Endplatten übernommen. Die Übergabe der Beanspruchung verursacht hohe Spreizkräfte, die eine intensive Umschnürung dieser Zone mit Bewehrung erfordert.
Der Stahlkern der Zugstütze verlängert diese um etwa 4 m nach unten. Rundherum sind ca. 200 Kopfbolzendübel angeordnet, die den Verbund zum Beton der Auflagerwand sicherstellen. Der Stützenmantel ist mit Bewehrungsstäben verbunden, die diesen besenartig fortsetzen und ebenfalls eine 4-m-Verankerung im Beton ermöglichen. Die Druckstütze hat einen analogen Verankerungskörper (Bild 7). Der Stahlkern gibt über eine Fussplatte seine Kraft ab, und die Biegekräfte im Mantel werden mit Bewehrungsstäben in den Beton eingeleitet.

KONSTRUKTIONEN AUS BETON



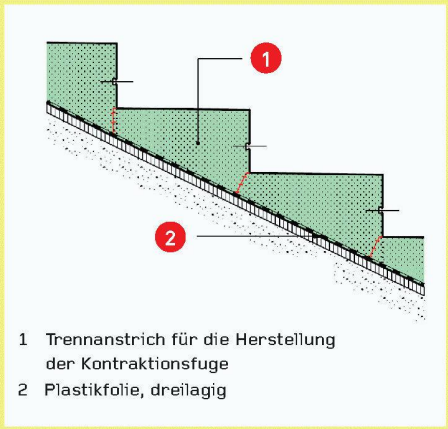
Zu den Spezialitäten des Stahlbetonbaus auf der Baustelle Letzigrund gehören die Umgangsrampe und die Tribünenstufen. Die Rampe ist eine Kragplatte, in der die Mitte der Südkurve auf Terrainhöhe beginnt und mit moderater Steigung über die westliche Stadionseite den Restauranteingang erreicht, bevor sie wieder symmetrisch zur Mitte der Nordkurve abfällt (Bild 8). Die Kragweite verändert sich stetig von 4.5 m in den Kurvenmitten bis zu 7.5 m beim Restauranteingang. Trotzdem beträgt die Höhe des Einspannquerschnitts jeweils weniger als 10 % der Kragweite. Für die Bemessung massgebend waren die Last infolge Personenansammlung, das durchfahrende Rettungsfahrzeug sowie eine sich rhythmisch bewegende Menschenmasse. Mit einer Schar von 1000-kN-Spannkabeln (Abstand 1.8 m in den Kurven bzw. 1.2 m in der Geraden) wird sowohl ein ausreichender Tragwiderstand als auch eine genügende Steifigkeit erreicht. Die Rampe bildet über die gesamte Länge von 350 m eine monolithische Einheit. Wegen der Erscheinung und des Unterhaltsbedarfs wurde auf die Ausbildung von Fugen verzichtet. Es wird akzeptiert, dass das Schwinden des Betons und die jahreszeitlichen Temperaturdehnungen Risse quer zur Abwicklungsrichtung verursachen. Mit einfachen Modellen zur Abschätzung der Rissbildung wurde die Bewehrung so bemessen, dass die Rissabstände klein und die Rissweiten damit unter 0.2 mm liegen. Diese Rissweitenänderung muss sowohl vom Flüssigfolienbelag auf der Rampe als auch vom Verputz an der Untersicht überbrückt werden.
Bei den Tribünenstufen wurden, im Gegensatz zur Rampe, explizit Fugen gesetzt. Zur Vermeidung von Zwängungen wurden nur Einzelstufen mit einer Maximallänge von 3.5 m betoniert (Bild 10). Mit einem bituminösen Anstrich wird die Verbindung zweier benachbarter Stufen verhindert. Diese Fuge ist sehr diskret in der Erscheinung und öffnet sich infolge des Betonschwindens nur gerade um den Betrag, den es für die zwängungslose Tribünendehnung im Sommer braucht. Mehr als 50 % der Tribüne besteht aus Betonstufen, die direkt auf der Erdböschung stehen (Bild 9). Wegen der direkten Lastabtragung konnte die Konstruktion so konzipiert werden, dass das System keine Bewehrung benötigt.

06



07

08



1 Trennanstrich für die Herstellung der Kontraktionsfuge
2 Plastikfolie, dreilagig

09

10

06 Die Auflagerwände für die Stützenpaare sind aufwändige Detailkonstruktionen aus Stahlbeton und Stahl-Beton-Verbundkonstruktionen; von oben nach unten: Spannungsfelder in der Auflagerwand; Bewehrungsangaben für die Auflagerwand; schematischer Gebäudequerschnitt mit markierter Auflagerwand; Auflagerwandbewehrung vor dem Zuschalen
07 Kopfbolzen am Druckstützenkern
08 Übergang Westseite zu Nordkurve im Dezember 2006. Oben die Dachkonstruktion, darunter die Umgangsrampe
09 Die Tribünenstufen sind direkt auf der Erdböschung gelagert; Ausschnitt aus dem Schalungsplan
10 Bau der unbewehrten Ortbetontribüne im Januar 2007 (Bilder: Walt+Galmarini AG)

ORTBETON IM ENGEREN SINN

Der Letzigrund liegt in den eiszeitlichen Schotterablagerungen des Limmattals. Das Bodenmaterial besteht grösstenteils aus mittel und dicht gelagertem Rundkies und ermöglicht daher Flachfundationen mit hoher Sohlpressung. Das ausgehobene Material kann ohne weiteres für Hinterfüllungszwecke verwendet werden. Es kann aber auch als Zuschlagstoff für die Herstellung von Beton dienen. Beim Bau des Stadions wurde diese Nutzung an Ort und Stelle realisiert. Mit einer mobilen Brech- und Sortieranlage wurde der Kies in seine Fraktionen getrennt. Die Dosieranlage fügte diese entsprechend der gewünschten Siebkurve zusammen und führte das Material zur Betonieranlage, die durch die Vermischung mit Zement und Wasser den Beton produzierte. Mit diesem Vorgehen, den Ortbeton wirklich im Sinne des Wortes herzustellen, konnte die Anzahl der Lastwagenfahrten für den Abtransport von Aushub bzw. für die Anlieferung von Beton erheblich vermindert werden (siehe dazu auch S.26–27).

Dr. Tomaž Ulaga, Projektleiter im Ingenieurbüro Walt+Galmarini AG