

02
2017

Konstruktiver Ingenieurbau

Mauerwerksbau

Umbau einer
denkmalgeschützten
Sandstein-Gewölbebrücke

Stahlbau

Tragwerk St. Pauli
Stadiondach

Beurteilung von
bestehenden Stahltragwerken
aus alten Baustählen

Grundbau

Brückenwiderlager aus
Kunststoff-Bewehrter
Erde (KBE) – Grundlagen
und Anwendungsbeispiele

Holzbau

aquabasilea –
Holz und Stahl im Stresstest

Erdbebensichere
Passivhaus-Residenz

Baurecht

Baukostenobergrenzen –
ein Risiko auch für Ingenieure



Matthias Pfeifer

Unscheinbar innovativ

Der „antimetrische Torsionsträger“ beim Dach des Millerntor-Stadions St. Pauli in Hamburg

Jeder kennt die großen Stadien, die für Olympische Spiele oder Weltmeisterschaften in den letzten Jahren auf der ganzen Welt errichtet worden sind, – in vielen Fällen spektakuläre Konstruktionen, Speichenräder verschiedenster Ausprägung, weit auskragende, gewaltige Tragstrukturen, über ganze Stadionlängen spannende Fachwerkkonstruktionen, Abspannungen an riesigen Pylonen und dergleichen mehr. Weniger bekannt sind dagegen die vielen kleineren Beispiele für Stadien der 2. Bundesliga. Eines davon wird in diesem Beitrag vorgestellt, weil es kein alltägliches Tragwerk hat, sondern weil ein innovativer Gedanke eine verblüffende, schlichte und sehr effektive Konstruktion hervorgebracht hat.

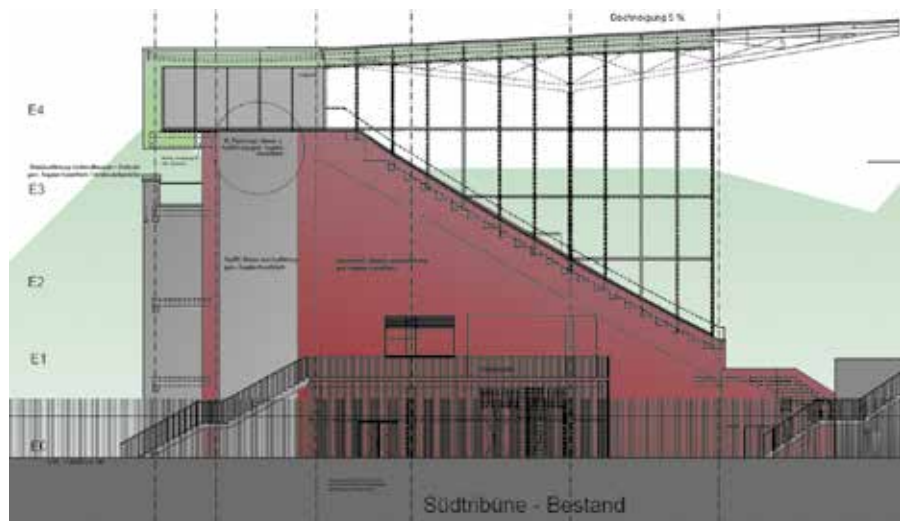


Bild 1a und 1b: Überdachung der Südtribüne

Die Aufgabe

Anders als bei den o.g. Stadion der „ersten Kategorie“, die in der Regel als Gesamtbauwerk neu errichtet werden, ging es hier um die „Rekonstruktion des Stadions am Millerntor“, so die offizielle Bezeichnung des Projektes, d.h. um den Umbau und die Erweiterung des bestehenden Stadions aufgrund wachsender Anforderungen. Der Verfasser kam auf Anfrage der Stahlbaufirma, die die neue Süd-Tribüne zu errichten hatte, zu dem Projekt, lange nachdem die West-Tribüne als einfache Stahl-Fachwerkkonstruktion errichtet worden war. Aufgabe war die Optimierung

der Dachkonstruktion hinsichtlich des Stahlverbrauchs, was ohne Veränderung des statischen Systems durch Reduzierung um gut 30 % gelang. Ambitionierte Bearbeitung des Tragwerks mit „realitätsnaher“ Modellierung der dreidimensionalen Struktur und die Nutzung plastischer Tragreserven zeigten schnell erhebliches Optimierungspotenzial.

Das Dach der Südtribüne hat eine Länge von ca. 80 m und ist 30,5 m tief. Es wurde an einen neu errichteten Massivbau angeschlossen und durch diesen auch stabilisiert.

Es handelt sich um einen einfachen Haupt-Fachwerkträger parallel zum Spielfeldrand, der auf zwei Innenstützen ruht. Das lange Innenfeld spannt sich in die kurzen Seitenfelder ein, die in den stirnseitigen Fassaden in je einer Stütze auf Zug verankert sind. Das Dach selbst besteht aus spitz nach vorn zulaufenden auskragenden Fachwerkträgern, die in die auch zum Massivbau hin spitz zulaufenden kürzeren Felder übergehen und dort gegen Abheben gehalten sind.

Nach erfolgreicher Abwicklung dieses Projektes kam die Ost-Tribüne als neue Aufgabe, mit 120 m Länge und 34,5 m Tiefe deutlich größer als die Süd-Tribüne und – auf ausdrücklichen Wunsch der Fans – ohne Stützen im Zuschauerbereich.

Der Entwurf

Nicht nur die Anforderungen, sondern auch die Randbedingungen unterschieden sich grundlegend von denen bei der Südtribüne. Zum einen musste eine um 50 % größere Spannweite parallel zum Spielfeldrand bewältigt werden, zum zweiten waren Zwischenstützen „streng verboten“, zum dritten gab es kein Massivgebäude, das als einspannendes Bauteil hätte fungieren können, und schließlich war das zur Verfügung stehende Grundstück unmittelbar hinter der letzten Sitzreihe zu Ende, sodass große um die Ecke gehende Fachwerkstrukturen, Abspannmaste oder dergleichen von vornherein nicht möglich waren.

Zunächst schien ein gewaltiger Träger mit über 120 m Spannweite, vielleicht auch ein großer Bogen, am vorderen Rand des Daches die einzige Lösung zu sein. Erste Berechnungen zeigten aber, dass bei der genannten Spannweite 6 m Bauhöhe die untere Grenze darstellen würde und damit ein Bauwerk entstehen müsste, das architektonisch dem Erscheinungsbild und der Größe des Stadions nicht gerecht würde, obgleich sich der Architekt bereits mit dieser Variante aufgrund seiner Erfahrung beschäftigt oder gar arrangiert hatte.

Die Ingenieure von Professor Pfeifer und Partner stellten sich nun selbst die Aufgabe, ein Tragwerk zu entwickeln, das nicht nur die Grundaufgabe jeder Tragkonstruktion, nämlich zu halten, erfüllt, sondern gleichzeitig architektonisch ein Erscheinungsbild hat, das sich der bereits existierenden Dachlandschaft mit spitz zulaufenden, filigranen



Bild 2: Grundriss der Ost-Tribüne mit Auflagerlinien in Rot

Fachwerkträgern wie selbstverständlich anpasst. Dies zudem mit gleicher Höhe der Dacheindeckung, leicht nach hinten geneigt, und mit dem Ziel, am Ende auch die seinerzeit noch fehlende Nordtribüne in ähnlicher Weise integrieren zu können, sodass schließlich eine geschlossene Dachfläche „wie aus einem Guss“ entstehen könnte.

Randbedingungen

Auf Bild 2 ist in rot die für die Auflagerung des Daches zur Verfügung stehende Linie markiert. Schnell erkennt man, dass mangels Einspannmöglichkeiten auch an auskragende Träger senkrecht zum Spielfeldrand nicht zu denken war.

Leider denkt man beim Tragwerksentwurf traditionell in Achsensystemen und in Trägerhierarchien, die vornehmlich parallel zu den Rändern einer zu überdachenden Fläche verlaufen, ohne dass dies jemand wirklich vorgegeben hätte. Man denkt sich einen großen Hauptträger (1. Lage) parallel zum Spielfeldrand, senkrecht dazu laufende Nebenträger in gleichen Abständen mit Auskragung zum Spielfeld (2. Lage), darauf wieder senkrecht angeordnete Pfetten (3. Lage) und schließlich darauf die Dacheindeckung aus Trapezblech, Polycarbonatplatten o.ä. (4. Lage). Die Lösung, die hier schließlich gebaut worden ist, entstand durch das Ausbrechen aus diesem eingeübten Denkmuster.

Die Idee

Während im Stahlbau vielfach mit stabförmigen, einachsigen gespannten Elementen gearbeitet wird, sind die flächigen Elemente eher im Massivbau angesiedelt.

Fragt man sich, wie man aus Beton eine rechteckige Fläche mit einem freien Rand und drei liniengelagerten Rändern überdecken soll, würde man sicher „in erster Näherung“ an ein orthogonales Stabtragwerk denken. Ein solches, bestehend aus parallel zu den Rändern verlaufenden „Tragstreifen“, mit kräftiger Biegebewehrung am freien Rand, senkrecht dazu über die kurze Spannweite eine einfache einachsige gespannte Platte mit unterer Bewehrung wäre sicherlich ein tragfähiges System. Mit dem realen Tragverhalten dieser so genannten „dreiseitig gelagerten Platte“ hätte das aber nicht viel zu tun. Man müsste große, diagonal verlaufende Risse in den Ecken zwischen den gelagerten Rändern auf der Ober- und Unterseite, senkrecht zueinander verlaufend, in Kauf nehmen. Sie würden das wahre Tragverhalten des Flächentragwerks zeigen und gaben die Idee für das hier realisierte Tragwerk. Bild 3 zeigt oben die Wirkungsweise einer Platte mit Punktlagern in allen vier Ecken sowie den Viertelpunkten am hinteren Rand.

Die Wirkungsweise

In Bild 3 unten ist die zu überdachende Fläche, in vier Rechtecke aufgeteilt, zu sehen. Die Lasten der vorderen Hälfte des Daches werden in drei Einzellasten zusammengefasst, die in den Verbindungsknoten dieser vier Rechtecke angreifen. Beobachtet man nun die Verformung eines der äußeren Rechtecke so fällt auf, dass eigentlich trivial, drei der vier Eckpunkte, hier rot markiert, unverändert auf ihrer Höhe bleiben, während sich der vierte Punkt am vorderen Rand nach unten absenkt. Einfache Gleichgewichtsbedingungen zeigen, dass die an der freien

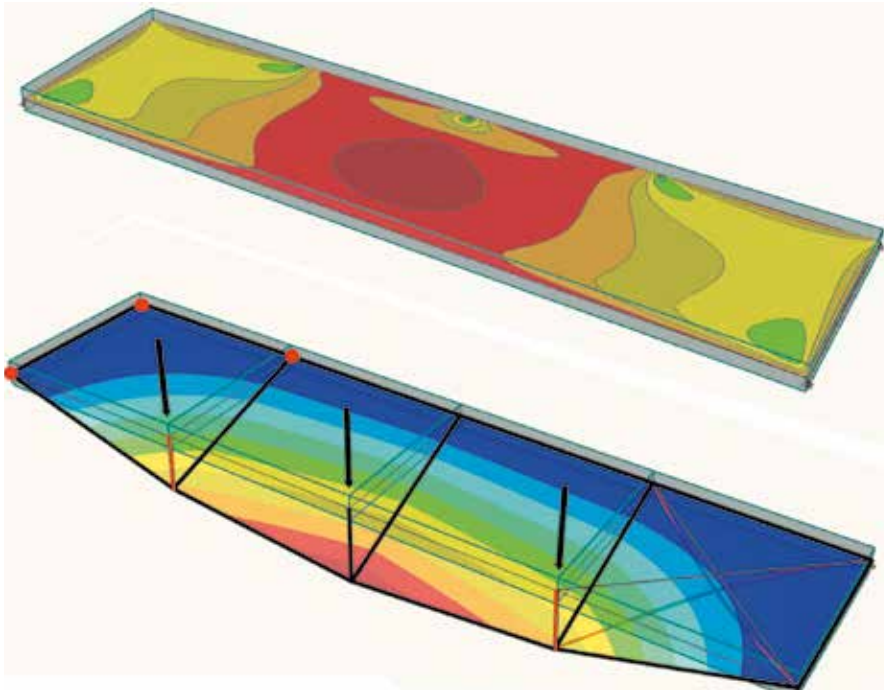


Bild 3: Wirkungsweise der Platte mit Aufteilung in 4 Rechtecke

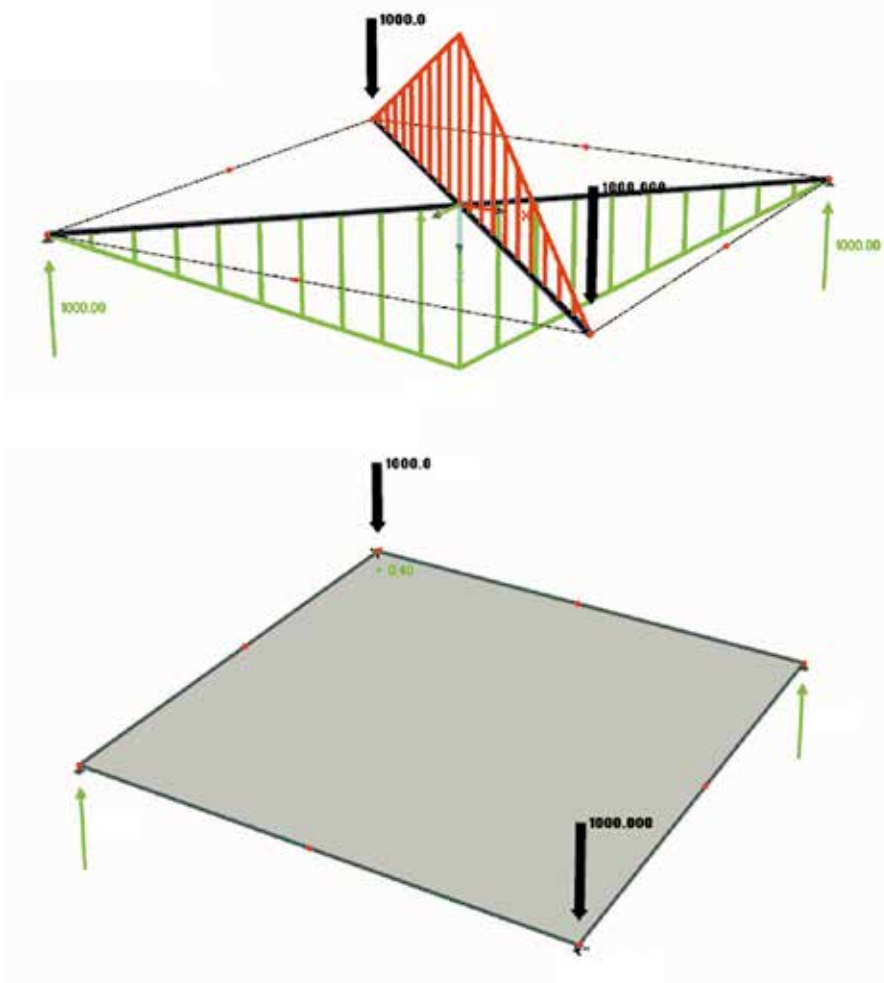


Bild 4: Antimetrische Schnittgrößen der sich kreuzenden Träger

Ecke angreifende Einzellast eine abhebende Kraft gleicher Größe in der gegenüberliegenden Ecke erzeugt, während die beiden anderen Auflagerpunkte die ebenso gleich großen Kräfte auf Druck nach unten ableiten müssen. Hier stehen Stützen! Es handelt sich offensichtlich um ein antimetrisches System, das nach der Plattentheorie allein über Drillmomente funktioniert, die in zueinander senkrechte positive und negative Biegemomente über die Diagonalen umgewandelt werden können. Bekanntlich ist nach der Plattentheorie die Eckkraft gleich $2m_{xy}$, genau darum handelt es sich hier. Aus Gründen der Antimetrie ist – zumindest bei einer isotropen Platte – die Vertikalverformung im Mittelpunkt der rechteckigen Fläche genau $\frac{1}{4}$ der Vertikalverschiebung des Lastangriffspunktes. Folglich ist die Krümmung dieser hyperbolisch-paraboloiden Fläche in den beiden Diagonalrichtungen entgegengesetzt gleich groß, was nach der Plattentheorie auch für die Drillmomente m_{xy} und m_{yx} gilt. Diese antiklastisch gekrümmte Fläche zwischen windschiefen Geraden lässt sich durch gerade Stäbe parallel zu den Rändern belegen, die auch nach der Verformung gerade bleiben, somit also keinerlei Tragfähigkeit entwickeln würden. Allein die Drehung in die Diagonale erzeugt hier die Tragfähigkeit.

Der entwurfliche Weg zu einem sinngemäß funktionierenden Stabtragwerk, das der Verfasser „antimetrisches Torsionstragwerk“ getauft hat, ist jetzt nicht mehr weit.

Legt man einen Träger von der vorderen äußeren Ecke zum ersten Viertelpunkt des hinteren gelagerten Randes, so hat dieser lediglich eine Spannweite von etwa einem Drittel des gesamten freien Randes. Legt man einen weiteren gleich langen Träger diagonal darüber und befestigt ihn in der hinteren äußeren Ecke, so kragt dieser um die Hälfte seiner Länge zum ersten Viertelpunkt des freien Randes hin aus. Aus Gleichgewichtsbedingungen hat der erste Träger die doppelte Last in der Mitte zu tragen. Es bedarf in diesem Heft keiner weiteren Erläuterung, dass damit der dreieckige Momentenverlauf der beiden Träger bis auf das Vorzeichen gleich ist. Die zweckmäßigste Art einen Träger mit dreieckigem Momentenverlauf effektiv zu gestalten ist ein Fachwerk aus zwei Dreieckszellen. Insgesamt ergibt dies eine Stab-Pyramide, bei der sich antimetrisch sowohl im Untergurt als auch im Obergurt jeweils Zug- und Druckkräfte kreuzen. Dies ist in Bild 4 zu sehen.

Die Spitze der Auskragung steht nunmehr als neuer „Auflagerpunkt“ zur Verfügung, der in gleicher Weise wie zuvor beschrieben zusammen mit dem ersten und zweiten Viertelpunkt des Lagerrandes eine weitere Ebene aufspannt, die erneut mit einer solchen Stab-Pyramide belegt werden kann. Das Gesamtsystem besteht schließlich aus vier Stab-Pyramiden, die mit vergleichsweise geringen Querschnitten drei neue „Aufhängpunkte“ am freien Rand schaffen, die einen über vier Felder laufenden Fachwerkträger mit jeweils nur 30 Metern Spannweite halten können. Letzterer kann mit den geringen Stützweiten aus filigranen Querschnitten hergestellt werden. Er dient zurückgehend in die Struktur orthogonaler Trägerlagen in der weiteren Folge als Auflager für sehr filigrane Fachwerkträger in regelmäßigen Abständen, die zum Spielfeldrand hin 11 m weit auskragen und ebenso spitz nach vorn zulaufen wie die in der Süd- und inzwischen auch in der Nord-Tribüne eingebauten Träger. Deren Gurte sind bis auf wenige Ausnahmen aus HEA 140, Pfosten aus HEA 100 und Diagonale aus 108er Rundrohren hergestellt. Auch die durchlaufenden Pfetten haben nach plastisch-plastischer Bemessung lediglich HEA-140 Querschnitte. In Bild 5 ist die gesamte Konstruktion nach der Fertigstellung zu sehen. Die Untersicht des Daches in Bild 6 zeigt die extreme Filigranität und Leichtigkeit.

Die Bemessung

Stabdimensionierung

Mit dem Ziel größtmöglicher Transparenz und Filigranität wurden auch bei der Bemessung der Stahlquerschnitte alle positiven Effekte der dreidimensionalen Tragwirkung ausgenutzt. Normalerweise hat man es bei einem druckbeanspruchten Stab mit den Kriterien „Knicklänge“ und „Trägheitsradius“ des Querschnitts zu tun. Beide zusammen ergeben in Form ihres Quotienten sk/i bekanntlich die Schlankheit, die zu einem Abminderungsfaktor für die ausnutzbaren Spannungen führt. Koppelt man hier die sich stets wechselseitig gegenüber liegenden Druck- und Zugstäbe des Systems, also jeweils Ober- und Untergurt, miteinander, so steht dem Druckstab praktisch die doppelte Biegesteifigkeit als „Widerstand“ gegen das Ausweichen beim Erreichen seiner eigentlichen Stabilitätsgrenze zur Verfügung. Mehr noch, der Rückstellereffekt des Zugstabes, also der Zuwachs der „geometrischen Steifigkeit“ nach Theorie 2. Ordnung steht der



Bild 5: Stab-Pyramiden oberhalb des Daches als Hauptkonstruktion



Bild 6: Dachuntersicht mit filigranen Fachwerkträgern

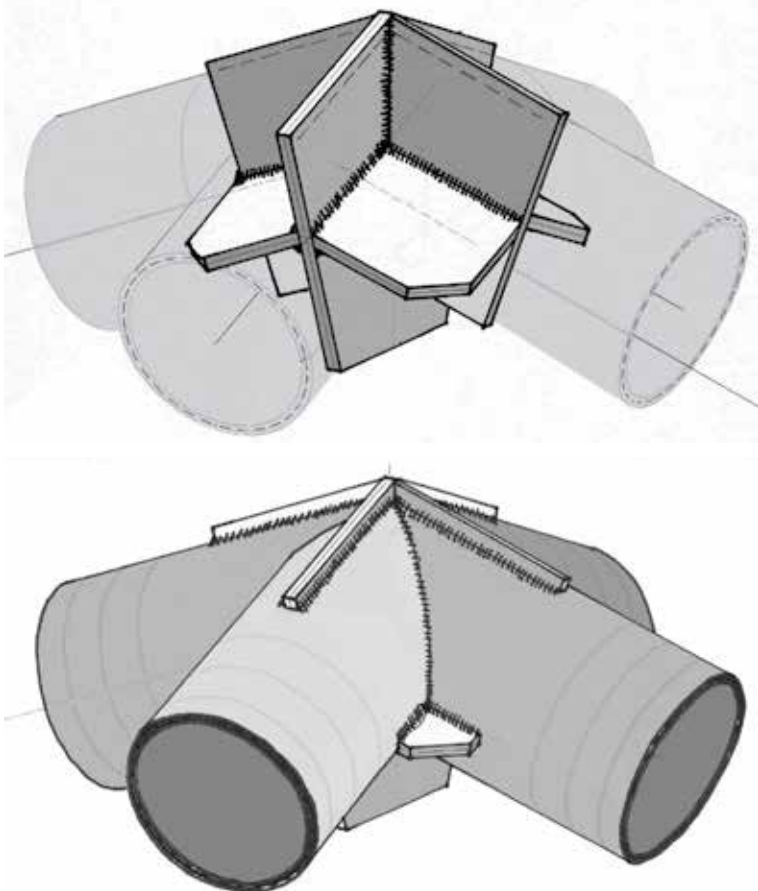


Bild 7a und 7b: Zentraler Knoten im Obergurt der Pyramiden



Bild 8: Zentraler Knoten im Obergurt in der Ausführung

Reduzierung derselben beim Druckstab stabilisierend gegenüber. Dies alles gilt natürlich nur in vertikaler Richtung. Der Druckstab könnte aber auch in horizontaler Richtung ausknicken. Da die Stäbe hier als Rundrohre (508/30 mm bei den Außen- und 508/10 mm bei den Innenpyramiden) ausgebildet sind und damit hohe Torsionssteifigkeit besitzen, wurde der Verbindungsstab biegesteif an die Gurtstäbe angeschlossen, sodass eine horizontale Verschiebung des gedrückten Obergurtes zu einer Verdrehung der Rohre um die Längsachse führen müsste, die deren Torsionssteifigkeit als „Drehfedern“ aktiviert. Zusätzliche Reduzierungen wurden durch die biegesteifen Verbindungen in den Knoten erreicht. Die vertikalen Verbindungsstäbe sind in Bild 5 zu erkennen.

Detailierung

Eine besondere Herausforderung stellten die Knotenpunkte der Pyramidenkonstruktion dar, die durch sich kreuzende Druck- und Zugkräfte von rund 9.000 kN beansprucht werden. Die Bilder 7a und 7b zeigen den oberen Pyramidenknoten als Skizzen aus der statischen Berechnung mit einem zentralen 40 mm dicken Knotenblech zur Durchleitung eines Großteils der Zugkraft des Obergurtes.

Quer dazu sind zwei 40 mm dicke Knotenbleche für die Übertragung der Druckkräfte angeschweißt. Um die Länge der Bleche in Rohrrichtung möglichst gering zu halten, und für eine bessere Lasteinleitung in die Rohre wurden weitere, flach liegende Knotenbleche addiert, sodass ein kreuzförmiger Flachstahl-Querschnitt entstand. Die Rohre wurden mit jeweils vier Schlitzen in den Kreuzquerschnitt eingeschoben und mit 8 Längsschweißnähten angeschlossen. Die Rohre sind zusätzlich in ihren Verschneidungslinien mit den Knotenblechen verschweißt, was allerdings nur gering zur Lastübertragung beiträgt. Für elastisch ermittelte Spannungen im Knoten oberhalb der Fließgrenze, ermittelt zu einem Zeitpunkt, als die Konstruktion bereits gefertigt war, konnte durch genauere Untersuchungen unter Berücksichtigung des Fließens gezeigt werden, dass alle Kräfte sicher aufgenommen werden können. Den fertig hergestellten Knoten zeigt Bild 8.

Für die Befestigung der Rohre an den Knoten wurde eine Rohr-in-Rohr-Konstruktion gewählt. Bei maximal möglichen Zugkräften von ca. 400 kN für eine Schraube M30-10.9 sind 25 Schrauben erforderlich, die bei einer

Flanschkonstruktion nicht in einem Kranz untergebracht werden konnten. Bei der gewählten Konstruktion waren dagegen mehrere Reihen Schrauben hintereinander möglich. Die gewählten Rohrquerschnitte ergaben rechnerisch einen Spalt von ringsum 1 mm. Neben den Normalkräften waren auch Biegemomente zu übertragen. Da auch hier die Fertigung parallel zu der endgültigen Nachweisführung verlief, konnten Forderungen des Prüfenieurs nur unter Ausnutzung der plastischen Reserven der Konstruktion nachgewiesen werden. Der ursprünglich vom Verfasser gewählte Imperfektionsansatz für die Druckstäbe ging von einer Konstruktion im elastischen Bereich aus. Danach dürfen die Imperfektionen bei Knickspannungslinie b von $l/250$ auf $l/375$ abgemindert werden. Damit ergab sich allerdings eine Ausnutzung von 101,4 % nach dem Verfahren el-el. Aufgrund der geschraubten Knotenkonstruktionen wurde vom Prüfenieur eine zusätzliche Imperfektion aus Schraubenschlupf verlangt, obwohl nach Auffassung des Verfassers eine „zufällige“ Falschbohrung von 33 Schrauben je Anschluss, allesamt in die gleiche Richtung, mit der Folge eines ungewollten Knickwinkels, äußerst unwahrscheinlich ist. Ein zusätzlicher Knotendrehwinkel führte erwartungsgemäß zu einer weiteren Überschreitung der Fließspannung, somit zu einem Sprung in das Verfahren el-pl und damit zu einer Erhöhung der ungewollten Ausmitte von $l/375$ auf $l/250$, was die Spannungserhöhung weiter aufschauelt. Bei den Rohren der inneren Pyramiden mit 10 mm Wandstärke kam noch eine Verschlimmerung des Abgrenzungskriteriums für das Beulen hinzu, was in einen Austausch der bereits vorhandenen Rohre hätte münden können. Hier handelt es sich jedoch nicht wirklich um ein Stabilitätsproblem des Tragwerks, sondern um ein Problem des schlagartigen Übergangs von Kriterien in der zu Grunde gelegten Norm. Zu einem Austausch der Rohre kam es jedoch nicht. Die „Verstärkung“ wurde im Bereich der Spannungsüberschreitung um 1,4 % durch zwei Stahl-Lamellen 20/30 mm über eine gewisse Länge des Stabes bewerkstelligt, womit die Spannungsausnutzung auf 99,9 % in das Nachweisformat el-el gebracht werden konnte, wodurch auch die vermeintliche Beulgefahr beseitigt war.

Aufgrund einer geringfügigen Passungenauigkeit bei der Rohr-in-Rohr-Konstruktion mussten die Schrauben unter Berücksichtigung eines Spaltes nachgewiesen werden.

Nachweis einer Schraube auf Biegung und Abscheren mit Spalt

System und Belastung

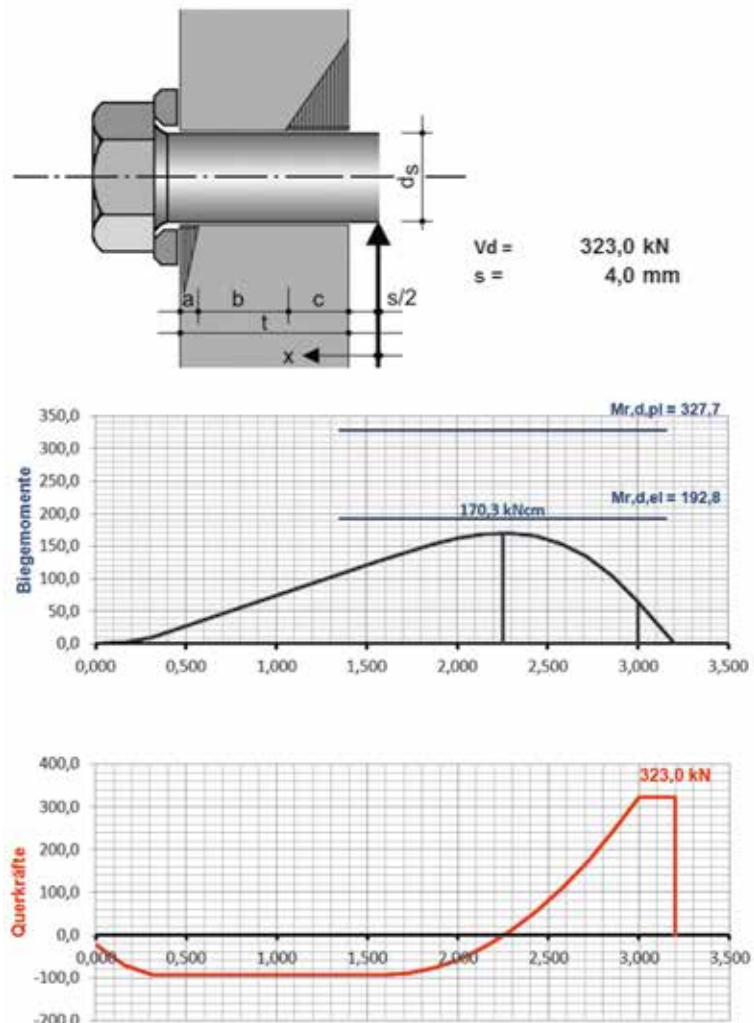


Bild 9: Detailuntersuchungen zur Beanspruchung der Schrauben mit Spalt

Dieser konnte rein theoretisch nur 2 mm betragen, sofern das Innenrohr an einer Seite am Außenrohr anliegt, 4 mm wurden für den Nachweis verlangt. Erschwerend erforderten auch die Nachweise mit Schlupf gesonderte Überlegungen zur Wirkungsweise eines SL-Anschlusses. Die normkonforme Nachweisführung mit konstanten Spannungen im Loch und über den Lochdurchmesser lässt Lochleibungsspannungen von der Größe der dreifachen Fließspannung zu. Diese einfache Vorgehensweise beruht auf Versuchen und wurde in eine einfach handhabbare empirische Formel umgesetzt. Jede dem Verfasser bekannte Stahlbauliteratur weist aber darauf hin, dass die wahren Spannungen im Loch deutlich größer sind.

Dies wird allein aus Gleichgewichtsbedingungen klar, wenn bei einer einschnittigen Verbindung nach dem Verbleib des Versatzmomentes zwischen den Längsachsen der beiden Bleche gefragt wird. Die Spannungen an den Lasteinleitungsstellen der Schraubenquerkraft müssten dafür unendlich groß sein.

Durch genauere Vergleichsberechnungen (beispielhaft Bild 9) zwischen normkonformen SL-Anschlüssen und solchen mit Spalt konnten die zulässigen Schraubenkräfte am Ende so festgelegt werden, dass die Sicherheit der Anschlüsse unter Berücksichtigung plastischer Schraubenkraftverteilung zweifelsfrei nachgewiesen werden konnte.

Fazit

Manchmal müssen gewohnte Denkmuster durchbrochen werden, um gute Lösungen zu finden.

Nach Auffassung des Verfassers ist es bei der Ost-Tribüne des Stadions am Millerntor gelungen, durch ein schlichtes, effektives Tragwerk eine Dachkonstruktion mit großen Spannweiten einfühlbar in eine Dachlandschaft aus flachen Dächern zu integrieren und gleichzeitig dem Wunsch der Fans nach Stützenfreiheit im Zuschauerbereich Rechnung zu tragen.

Hier ist es der neuartige „antimetrische Torsionsträger“, der diese Aufgabe unpräzise erfüllt.

Am Bau Beteiligte

Bauherr:

Millerntor-Betriebs-GmbH & Co. KG
Auf dem Heiligengeistfeld
D-20359 Hamburg

Architekt:

ar.te.plan GmbH
Baroper Straße 237
D-44227 Dortmund

Tragwerksplanung Massivbau:

Volmer Ingenieure
Gartenstraße 2
D-48712 Gescher

Tragwerksplanung Stahlbau:

ProfessorPfeiferundPartner PartGmbB
Ingenieurbüro für Tragwerksplanung
Heidelberger Straße 14
D-64283 Darmstadt

Ausführung Massivbau:

Baugesellschaft Walter Hellmich GmbH
Lanterstraße 20
D-46539 Dinslaken

Ausführung Stahlbau:

Peters Stahlbau GmbH
Wilsumer Straße 20
D-49847 Itterbeck



Prof. Dipl.-Ing. Matthias Pfeifer

ProfessorPfeiferundPartner PartGmbB
Ingenieurbüro für Tragwerksplanung
Heidelberger Straße 14
64283 Darmstadt

Telefon: 06151/3627-0
email@pfeifer-tragwerk.de
www.pfeifer-tragwerk.de

Geschäftsführender Direktor des
Instituts Entwerfen und Bautechnik
Fakultät Architektur
KIT – Karlsruher Institut für
Technologie
Englerstraße 7
D-76131 Karlsruhe

Telefon: 0721/60842183
matthias.pfeifer@kit.edu

Das „Must-Have“ zur Vordimensionierung



Rybicki · Prietz

**Faustformeln und Faustwerte
für Tragwerke im Hochbau**
Geschossbauten, Konstruktionen, Hallen
5., aktualisierte Auflage 2011, 301 Seiten,
14,8 x 21,0 cm, Buch (Softcover)
ISBN 978-3-8462-0358-3

Das Buch bietet die Möglichkeit, Baustoffbedarf und Bemessung von Bauteilen ohne größere Hilfsmittel zu ermitteln.

Hier sind für alle Konstruktionsteile im Hochbau Faustformeln und Näherungsverfahren zusammengetragen und aufgeführt, die es erlauben, mit geringem Rechenaufwand einfachster Art, Beanspruchungen, Abmessungen und meistens auch den Baustoffverbrauch der Konstruktion unter Berücksichtigung der aktuellen Normen abzuschätzen und darüber hinaus das geeignete System auszuwählen. Die Ergebnisse sind schnell zu ermitteln und genau genug, um Abmessungen und Möglichkeiten beim Entwerfen und Planen festzulegen bzw. grob vorauszusagen.

Jetzt versandkostenfrei (deutschlandweit) bestellen:

shop.bundesanzeiger-verlag.de/0358-3

Telefonisch: 0221/9 76 68-306 · Fax: 0221/9 76 68-236 · in jeder Fachbuchhandlung

www.bundesanzeiger-verlag.de

 **Bundesanzeiger
Verlag**

Professor **Pfeifer** und Partner Part GmbH Ingenieurbüro für Tragwerksplanung



Wir erbringen Planungsleistungen für alle Gebäudetypen und sind sicher im Umgang mit allen Baustoffen.
Projektauswahl (Fotos v. l. n. r.): Isenburg Karree, Mainz / Kulturpalast Dresden / U-Turm - Zentrum für Kunst und Kreativität, Dortmund / Otto-Stern-Zentrum der Goethe-Universität, Frankfurt/M. / Institut für Mathematik des Karlsruher Instituts für Technologie, Karlsruhe / Millerntor-Stadion, Hamburg / Highrise Building, Abu Dhabi (UAE) / Forschungsgebäude der Fraunhofer Gesellschaft, Stuttgart / Hallenbad Griesheim / Familien- und Wohlfühlbad „De Baalje“, Aurich

Unsere Philosophie

Mit unserem breit angelegten Leistungsspektrum bieten wir unseren Auftraggebern fundierte und umfassende Antworten auf viele maßgebliche Fragen in der Bauplanung.

Die individuellen Anforderungen einer Bauaufgabe, die Visionen und Wünsche unserer Auftraggeber sind richtungsweisend für unsere Leistungen.

Jedes neue Projekt sehen wir als neue Herausforderung, wobei unsere Bauherren und Planungspartner vertrauensvoll auf unsere langjährige Erfahrung und die fachliche Kompetenz unserer Mitarbeiter bauen können.

Engagiert erarbeiten wir exzellente Bauwerkslösungen und tragen Verantwortung für eine hochwertige Ausführung.

Unsere wirtschaftlichen Konstruktionen sind ein wertvoller Beitrag zur Nachhaltigkeit.

Der kontinuierliche, kooperative Dialog und der persönliche Kontakt mit unseren Auftraggebern und Planungspartnern sind uns wichtig.

Unsere Leistungen

- Tragwerksplanung
vom Tragwerksentwurf bis zur Objektüberwachung und Fachbauleitung
- Umfassende Begleitung von Sanierungsmaßnahmen
- Sondergebiete der Tragwerksplanung
Hochhauskonstruktionen, Erdbeben-Engineering, Membran- und Fassadenkonstruktionen, Anlagenbau, Ingenieurbau, Bauen mit Kunststoffen
- Schweißtechnische Überwachung, Sichtprüfungen
- Tragwerksoptimierung
- Gutachterliche Stellungnahmen
- Betoninstandsetzung
- Baugrubensicherung
- Bauwerksüberwachung (Monitoring)
- Bauphysik
Wärmeschutz, Energiebilanzierung, Schallschutz, Feuchteschutz
- Konstruktiver Brandschutz
- Brandschutzkonzepte
- Sicherheits- und Gesundheitsschutzkoordination

Ausführliche Informationen finden Sie auf unserer Homepage:
www.pfeifer-tragwerk.de