

Publikationen

1. Verbundbau

Deutsches Technikmuseum Berlin

Pichler Gerhard, Guggisberg Roland

“Deutsches Technikmuseum Berlin - Technik der Zukunft verbindet sich mit Geschichte der Technik “

Stahlbau 67 (1998), Heft 7, Seite 580 - 591

Verlag Ernst & Sohn, Berlin



Deutsches Technikmuseum Berlin – Technik der Zukunft verbindet sich mit Geschichte der Technik

Im aufgelassenen Gelände des ehemaligen Anhalter Güterbahnhofes wurde aufgrund einer umfassenden Standortstudie 1983 das Deutsche Technikmuseum Berlin angesiedelt. Der Standort bietet dem Museum den Bezug zu einem in der Berliner Stadtgeschichte gewachsenen Verkehrs- und Funktionsraum. Ehrgeizige Erweiterungspläne führen zum einzigen größeren Neubau für die Abteilungen Luftfahrt und Schifffahrt. Der Neubau wird als kompakter Geschoßbau auf flächenmäßig beschränktem Gelände direkt angrenzend an die „Keimzelle“ des Museums – der ehemalige Verwaltungsbau einer Kühllhallengesellschaft – erstellt. Dadurch wird städtebaulich das Raumvolumen der ehemaligen Wohnbebauung wiederhergestellt, ohne sich an die noch vorhandene Bebauung anzubiedern. Das architektonische Konzept ordnet den stadträumlich orientierungslosen Ort durch Planung in einem streng Nord-Süd ausgerichteten Raster. Aus dem Planungsprozeß resultiert ein Skelettbau mit Vorhangsfassade, ausgeführt als Stahlverbundbau mit Trapezblech-Verbunddecken. Damit wird eine Idee aufgegriffen, die die Architektur der Moderne seit deren Entstehen mit der Avantgarde der zwanziger Jahre und dem Bauhaus beschäftigt. Diese verbindet sich mit dem Gedanken des industriellen Bauens, welcher mit dem schraubenlosen Montagebau konsequent nachgelebt werden kann. Es entsteht ein Tragwerk in Sichtausführung mit hohem gestalterischem Anspruch, welches den adäquaten Rahmen für die Ausstellung der technikgeschichtlichen Sammlung des Museums bildet und dadurch gleichsam selbst zum Exponat wird.

German museum of technology, Berlin – Modern construction technology combined with history of technology. *Based on an extensive site study the museum was established in 1983 in an abandoned area of the freight yard of the old transport “Anhalter” railway. Thus the museum is surrounded by an industrial area grown during historic development of Berlin. Ambitious plans for a extension gave impetus for a larger new building for the departments of aviation and navigation. The compact multi-storey building is erected on a rather small site directly adjacent to the main building of the museum, a former office building of a cold storage facility. The urban planning goal is to complete the former block of houses destroyed during the second world war. The architectural concept attempts to repair the loss of orientation by introducing a grid reference strictly adjusted north – south. The planning process results in an exposed skeleton construction with a curtain wall facade, a composite steel structure with composite slabs. Thus, a subject of architecture since the avantgarde of the 1920s and the Bauhaus is reexamined. It is linked with the idea of industrial methods of construction, which can be executed perfectly by using new erection technology without connectors. The structure meets high architectural standards and lends an appropriate background for the exhibition of history of technology in the museum, thereby becoming part of the exhibit itself.*

1 Standort und historischer Hintergrund

Nach einer umfassenden städtebaulich-historischen Standortstudie [1] wurde das Deutsche Technikmuseum Berlin 1983 im Gelände des ehemaligen Anhalter Güterbahnhofes angesiedelt. Für ein modernes Museum, das nicht nur die geschichtliche Entwicklung technischer Geräte, sondern die allgemeine technische Entwicklung in ihrem kulturellen Kontext darstellen möchte, stellt die Einbettung in einen in der Berliner Stadtgeschichte gewachsenen Verkehrs- und Funktionsraum den realen Bezug zum Thema her. Hier findet die Auseinandersetzung mit den gesellschaftlichen Umständen und Folgen technischer Entwicklungen nicht nur im Museum, als Diskussionsforum, sondern auch in der unmittelbaren Umgebung des Museums statt. An diesem Ort kreuzten sich in den zwanziger Jahren fünf Verkehrsträger auf verschiedenen Ebenen: die unterirdische Nord-Süd-S-Bahn, der Landwehrkanal, die begleitenden Uferstraßen, die Gleise der Anhalter-Eisenbahn und die Hochbahntrasse der U-Bahn (Bild 1). In der Nähe wurde Technikgeschichte geschrieben, als 1838 mit der Inbetriebnahme der Strecke Berlin-Potsdam die erste Eisenbahn in Preußen rollte und ein neues Verkehrszeitalter einleitete, das für die Entwicklung Berlins bestimmend war. 1841 folgte bereits der Bau der Berlin-Anhaltischen Eisenbahn. Berlin erhielt damals, wie viele größere Städte, kein durchgehendes Eisenbahnnetz. Die Gleise endeten vielmehr in Kopfbahnhöfen außerhalb der Stadtmauer. Bald waren zehn Bahnhöfe rund um die Stadt verteilt, die der Ausgangspunkt von Gleisen in alle Himmelsrichtungen waren. Hier in



Bild 1. Vier Verkehrsebenen kreuzen sich auf engstem Raum (Foto: Architekturwerkstatt Pitz & Hoh)

Fig. 1. Four levels of transport meet at one point



Bild 2. Anhalter Bahnhof um 1933 (erbaut 1875–80 von *Schwechten*) (Foto: Landesbildstelle Berlin)

Fig. 2. Anhalter Railway-station about 1933 (built 1875–80 by *Schwechten*)

diesem Bereich lagen zwei Bahnhöfe in unmittelbarer Nähe: der Potsdamer und der Anhalter Bahnhof. Infolge der starken wirtschaftlichen Entwicklung nach dem Deutsch-Französischen Krieg 1871, mit Berlin als rasch wachsender Hauptstadt des neugegründeten Kaiserreichs, entwickelte sich hier ein riesiges Gelände mit bahntechnischen Anlagen. Die Bevölkerung Berlins nahm zwischen 1820 und 1900 um das Zwanzigfache auf 1,9 Millionen zu.

Auch die Anhalter Bahn wurde 1873 bis 1879 stark ausgebaut, mit einem großen Personenbahnhof nördlich des Landwehrkanals (Bild 2) und einem Güterbahnhof, räumlich getrennt, südlich desselben (beide Bauten durch Architekt *Schwechten*). Die Verbindung führte auf einer viergleisigen Brücke über den Landwehrkanal und auf einem Bahndamm durch das jetzige Gelände des Museums.

In jene Zeitepoche fiel auch der Ausbau des Landwehrkanals. Berlin wurde damals hauptsächlich auf dem Wasserweg mit Kohle und vor allem mit Baumaterial versorgt. Rund um Berlin gab es über hundert Ziegeleien, die die Steine für den Bauboom der Gründerzeit lieferten. Unmittelbar gegenüber dem Museum gab es einen Hafen mit Entladekais, deren Spuren man heute noch findet.

Der große Flächenbedarf der Eisenbahnen und deren bauliche und technische Einrichtungen verhinderten die – in den städtebaulichen Entwürfen von *Lenné* und *Hobrecht* 1851 bis 1891 vorgesehene – Ost-West-Durchgangssachse als Bestandteil einer Ringstraße um den alten Kern von Berlin. Es entstanden räumlich und nutzungsmäßig unterschiedlich geprägte städtische Strukturen: Die in Ost-West-Richtung verlaufende Straßen- und Blockstruktur mit Gewerbe- und Wohnnutzung entlang dem topographischen Element Landwehrkanal wird durch die in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Bahngelände unterbrochen. Die Erschließung des Gebietes durch die Schiene und den Wasserweg sowie das Vorhandensein von Kühlwasser lockte viele Gewerbebetriebe an. Besonders hervorzuheben ist hier der Gebäudekomplex der Gesellschaft für Markt- und Kühlhallen, in deren ehemaligem Verwaltungsbau das Deutsche Technikmuseum eine neue Heimat gefunden hat. Durch die Zerstörungen

des Zweiten Weltkrieges sowie die politischen Folgen der Teilung Berlins verlor das Gebiet nach 1945 seine Bedeutung als Verkehrs- und Funktionsraum. Der Abriss und Verfall der Bauwerke führte zu einer Verödung des Geländes. Das gegenüber dem jetzigen Museum ehemals gestandene Kühlhaus II sowie die Dampfmaschinenhalle wurden 1971 einem falschen Modernismus geopfert, der neue Stadtentwicklungen schaffen sollte.

Die aufgelassenen Bahnanlagen, bis zur Wiedervereinigung im Besitz der Deutschen Reichsbahn, konnten keiner neuen Nutzung zugeführt werden, sie wurden von einer Spontanvegetation überwuchert, die sie in eine urwüchsige Brachenlandschaft verwandelte. Die noch weitgehend vorhandenen, von Bäumen und Büschen überwachsenen Gleisanlagen bilden einen Museumspark mit besonderem Erlebniswert. Die Natur nimmt die Stadt wieder zurück.

Das Museum (vor der Umbenennung in Deutsches Technikmuseum hieß es Museum für Verkehr und Technik) sollte nicht als Konkurrenz zum Deutschen Museum in München verstanden werden, sondern möchte als Schwerpunkt die Geschichte der Industrie- und Verkehrstechnik in Berlin/Brandenburg darstellen. Schon 1906, nur wenige Wochen nach der Grundsteinlegung für das Deutsche Museum in München, wurde durch Kaiser Wilhelm II im seit 1880 außer Dienst stehenden Hamburger Bahnhof in Berlin ein „Verkehrs- und Baumuseum“ eröffnet. 75 Jahre später wird mit dem Gewerbegebäude der ehemaligen Markt- und Kühlhallengesellschaft, mit Eisstangenfabrikation, Pferdestallungen und Transportfuhrwerkremisen die Keimzelle für ein neues Museum für Verkehr und Technik geschaffen (Bild 3). Mit zwei wiederhergestellten Lokomotivdepots mit funktionierender Drehscheibe konnte für die umfangreiche Sammlung von Lokomotiven und Eisenbahnwagen eine originalgetreue Umgebung wiederhergerichtet werden. Im Freigelände erheben sich zwei für die Gegend vor der Erschließung durch die Eisenbahn typische Windmühlen.

Da das Museum in zahlreichen verstreuten Depots unzugängliche Sammlungen aufbewahrt, entstanden ehrgeizige und attraktive Erweiterungspläne (Bild 4). Der Kopfbau des ehemaligen Güterbahnhofs – schon jetzt teilweise vom Museum genutzt – soll zum künftigen Hauptzugang ausgebaut werden. Dazu müßte der beim U-Bahn-Bau abgebrochene symmetrische Bauteil wiederhergestellt werden. Die daran anschließenden noch vorhandenen langgezogenen Güterhallen und die Ladestraße könnten zu weiterer Ausstellungsfläche ausgebaut werden. Mit der gegenwärtig als Rohbau emporwachsenden Ausbautetappe wird der einzige Neubau des gesamten Museumskomplexes realisiert. Einerseits wird damit an die Tradition zweier vor dem Krieg in Berlin existierender großer Sammlungen angeknüpft, die damals weltweit wohl größte Luftfahrtsammlung und das Museum für Meereskunde. Andererseits weisen diese Abteilungen des Museums einen hohen Flächenbedarf aus und warten mit Großexponaten auf, welche adäquate, maßgeschneiderte Räumlichkeiten erforderlich machen. Der Neubau wird auf der verbliebenen freien Fläche zwischen Stammhaus, Trebbiner Straße, Tempelhofer Ufer und Damm der Anhalter Bahn als kompakter viergeschossiger Ausstellungsbau erstellt, welcher den alten Bebauungsblock wieder



Bild 3. Keimzelle des Museums um 1983 (Foto: Deutsches Technikmuseum Berlin)
Fig. 3. The very beginning of the museum about 1983

komplettiert. Städtebaulich wird dadurch die räumliche Gliederung wieder lesbar gemacht und die Freifläche vor dem Güterbahnhof als städtischer Platz hervorgehoben. Für die Gestaltung des Stadtplatzes vor dem zukünftigen Hauptzugang des Museums und eine neue Fußgängerbrücke über den Kanal wurde 1989 vom Senator für Bauen und Wohnen ein Wettbewerb ausgelobt. Der mit dem 1. Preis bedachte Beitrag von *Baller* und *Pichler* sieht u. a. eine Spannbandbrücke vor [2]. Heute sind aber Bestrebungen im Gange, die Brücke der Anhalter Bahn mit übriggebliebenen Bogenteilen des Ersatzbaus der Marschallbrücke wiederherzustellen (s. Stahlbau 66 (1997) Heft 12).

2 Neubau für Luft- und Schifffahrt

Die nördlichste Spitze des Neubaus schiebt sich wie ein Schiffsbug in jenen Ort, wo sich auf verschiedenen Ebenen fünf Verkehrswege kreuzen. Hier wird ein über drei Etagen reichendes Schaufenster tiefen Einblick in das Ausstellungsgebäude gewähren, soll Passanten neugierig machen und wie ein Magnet in das Museum locken. Der Bug wird flankiert von zwei runden Treppentürmen. Nähert man sich von West oder Ost auf dem Tempelhofer Ufer dem Museum, sieht man von weitem die markanten Türme über das Dach aufragen (Bild 5). Über dem Dach befindet sich ein weit ausladendes Tragwerk. An diesem Fachwerk, dem sogenannten Flugzeugträger, wird über dem Bug eine originale C47 hängen, als Symbol für die Luftbrücke, mit der die Alliierten 1947 während der Blockade durch die Sowjetunion Berlin mit Lebensnotwendigem versorgten.

Das hängende Flugzeug ist mehr als eine spektakuläre, extrovertierte Geste. Es ist mit einer architektonischen Idee verbunden. Bild 1 zeigt drei der vier Verkehrs-

träger: Straße, Schiene und Wasserweg. Auf dem Bild fehlt die Luftfahrt! Mit dem Flugzeug wird nun sinnbildlich dieser für das Museum symbolische Ort vervollständigt.

Das Baugrundstück liegt wie bereits erwähnt an einem städtebaulich orientierungslosen Ort. Die Begrenzungen durch den Altbau, die Trebbiner Straße, das Tempelhofer Ufer und den ehemaligen Bahndamm ergeben eine unregelmäßige Grundstücksform. Dies hat seine Ursachen in den dominierenden Bedürfnissen der Bahnanlagen, in der Zerstörung durch den Krieg und der dann folgenden Verwahrlosung. Der architektonische Entwurf reagiert auf diese Situation durch Schaffen von Ordnung. Der Ausstellungsbereich wird gegliedert in aneinandergrenzende, Nord-Süd ausgerichtete längliche Raumzellen, welche sich aus Richtung des Buges in die Tiefe des Geländes erstrecken. Er wird in ein Stützenraster $9,6 \times 6,0$ m gefaßt. An der Trebbiner Straße wird die Fassade im Grundriß gestaffelt, wodurch der Altbau als noch original vorhandene Bebauung freigestellt wird. Das Rastermaß von 9,6 m in Ost-West Richtung ermöglicht die Aufstellung großer Exponate. Dies wird vor allem in der Schifffahrtsabteilung deutlich: Der Kaffenkahn, ein für Berlins Wasserstraßen um 1850 typisches Schiff, füllt mit 33 m Länge praktisch die volle Tiefe und Breite einer solchen Zelle.

In Bild 6 ist der Grundriß des Museumsneubaues dargestellt. Besonders hervorgehoben ist die Achse 6. Auf ihr liegen einer der runden Treppentürme und die Öffnung für die Haupttreppe. Diese Achse ist gleichzeitig die Mittelachse für den quadratischen Versorgungstrakt. Dieser grenzt mit einer Brandwand auf der Achse O an den Ausstellungstrakt. Die Treppenhäuser 1, 2, 3 und 5 bilden mit den Achsen 6 und O ein Kreuz, welches das Rückgrat des Gebäudes bildet. Der Versorgungstrakt beherbergt ergänzende Nutzungen, wie Bibliothek, Kantine, Werkstätte und öffentliches Restaurant. Er wird aber auch der einst die Verbindung zum Haupteingang aufnehmen, welche über eine Brücke in das 1. Obergeschoß führt.

In der Vertikalen gliedert sich der Bau im wesentlichen in vier Geschosse. Um den Bedarf an Ausstellungsfläche von ca. 11.000 m² auf dem begrenzten Grundstück abdecken zu können, wird das Museum als Geschoßbau realisiert. Beide Abteilungen Luft- und Schifffahrt verfügen je über ein 8,7 m hohes und ein 4,4 m hohes Geschoß. Die Schifffahrt als erdverbundene Abteilung mit schweren Exponaten belegt das Erdgeschoß und 1. Obergeschoß. Im Erdgeschoß können große und schwere Exponate aufgestellt werden, wie der Berliner Hafenschlepper „Kurt-Heinz“ mit ca. 60 Tonnen Gewicht. Die Schifffahrtsabteilung hat die neuen Räume mit einigen Großexponaten bereits bezogen. Die Luftfahrt, „dem Himmel nah“, ist im 2. und 3. Obergeschoß untergebracht. Das 3. Obergeschoß

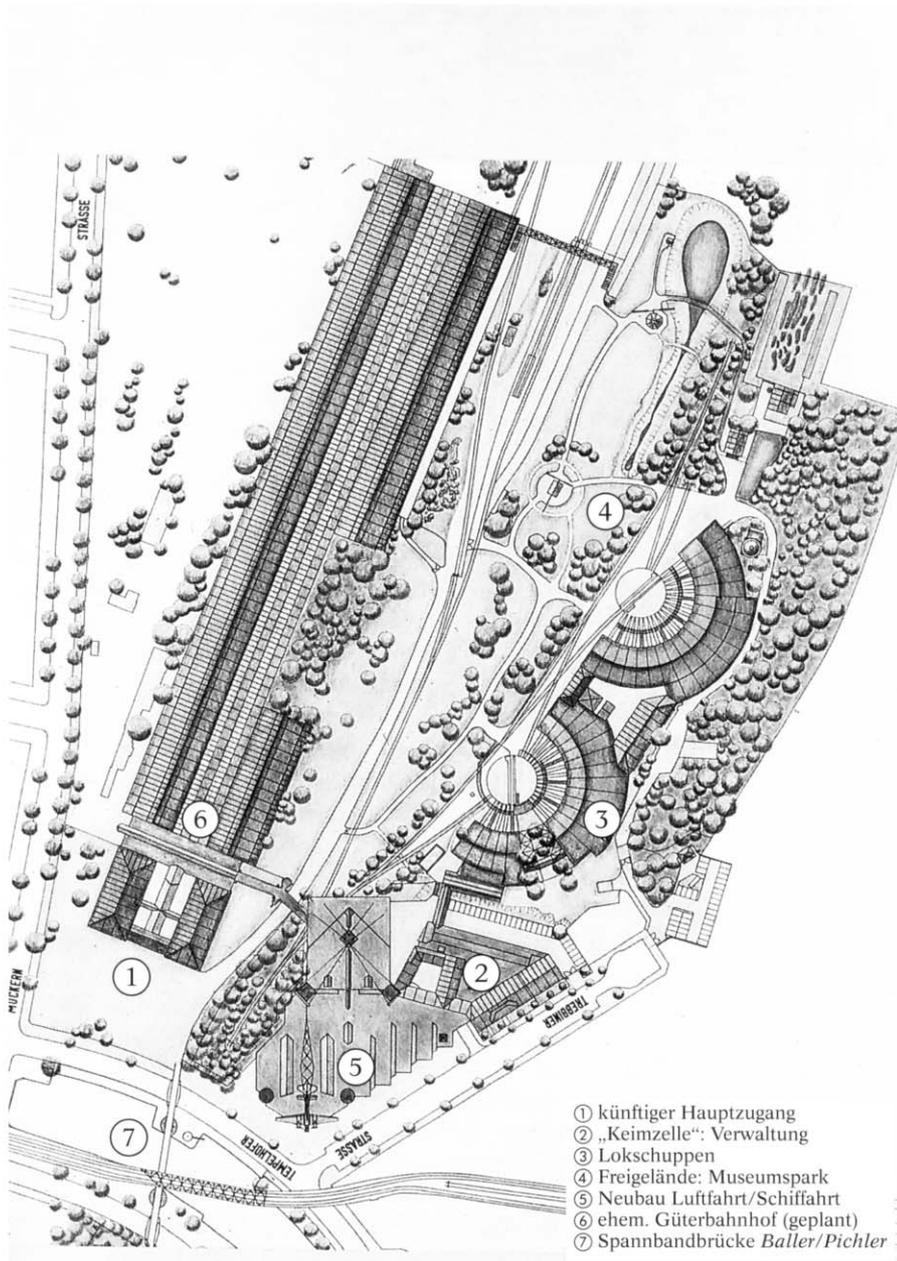


Bild 4. Übersicht über den gesamten Museumspark mit Neubau und geplanten künftigen Erweiterungen (Quelle: Landschaft Planen und Bauen)

Fig. 4. Overview of the whole park of the museum with the new building and future extensions

wird durch die vielen Oberlichter von Tageslicht durchflutet. Durch Abhängung eines Teilbereiches des Daches am Flugzeugträger und mittels zweier in Oberlichter integrierter Fachwerkträger ist ein stützenfreier Raum geschaffen, wo größere Flugzeuge wie die Junkers JU52 gestellt werden können. Die Dimension des Gebäudes wird durch große Exponate mitbestimmt, wie z. B. durch Mast und Takelage des Kaffenkahnes, welche durch Öffnungen in den Decken 20 m hoch bis in das dritte Obergeschoß ragen. Die Deckenöffnungen bilden raumverbindende Elemente, die Tageslicht in die unteren Geschosse führen und vertikale Durchblicke gestatten.

Der Neubau ist als Skelettbau mit einer Vorhangsfassade aus Stahl/Glas und Sichtmauerwerk konzipiert. Das Skelett wird durch wenige Stahlbetonwände und einige Treppenhauskern

- ① künftiger Hauptzugang
- ② „Keimzelle“: Verwaltung
- ③ Lokschuppen
- ④ Freigelände: Museumspark
- ⑤ Neubau Luftfahrt/Schifffahrt
- ⑥ ehem. Güterbahnhof (geplant)
- ⑦ Spannbandbrücke Baller/Pichler

den auch im großen Ausstellungs-trakt vermieden. Im Innern des Ausstellungs-bereiches finden sich keine tragenden Wände, wodurch hohe Flexibilität und Freiheit für die Nutzung gegeben ist. Das Stützenraster wird konsequent durchgehalten, um vollständige, abgeschlossene Skelettstrukturen zu erhalten. Dabei wird in Kauf genommen, daß Stützen nahe an Stahlbetonwänden stehen.

Die Baumaterialien sollen mit ihrer natürlichen Farbe und Textur eingesetzt werden. Sichtbetonflächen werden ohne Betonkosmetik belassen, wie sie die Schalung hergeben. Auch die Oberfläche des Kammerbetons an den Verbundträgern wird ohne Anstrich ausgeführt. Die Zinkoberfläche des Verbundbleches der Decken wird gezeigt. Die Haustechnikinstallationen (Lüftung, Heizung, Elektro, Sprinkler) werden sichtbar geführt, d. h., sie erhalten keine Verkleidungen. Dadurch werden hohe Anforderungen an die Vorplanung und die handwerkliche Ausführung gestellt. Bauphysikalisch wird die Aktivierung der Speicher-masse erreicht.

3 Umsetzung in das Tragwerk

3.1 Tragende Struktur als konstruktives Gerüst

Wer darüber nachdenkt, wodurch ein Tragwerk Schönheit gewinnt, wird u. a. die pragmatische Reduktion auf das Notwendige erkennen. Dabei steht nicht so sehr das Ausdünnen einzelner Tragelemente im Vordergrund. Das „Schaffen von Ordnung“ ist ein wesentliches Prinzip, wie dies auch ein zentrales Anliegen der Architektur der Moderne

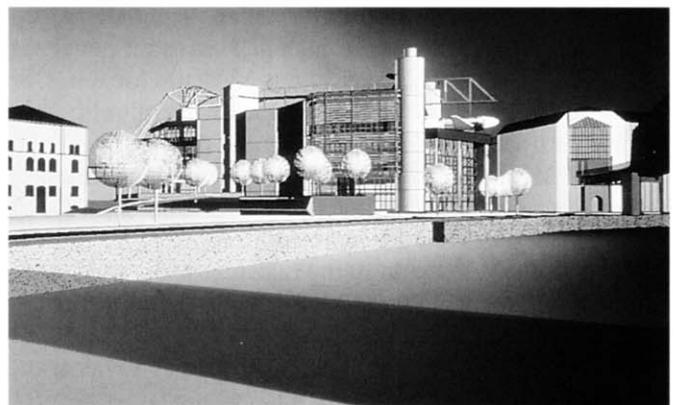


Bild 5. Ansicht des Neubaus von Osten, Stand Bauplanungsunterlage (Computersimulation Artec)

Fig. 5. View of the building looking west

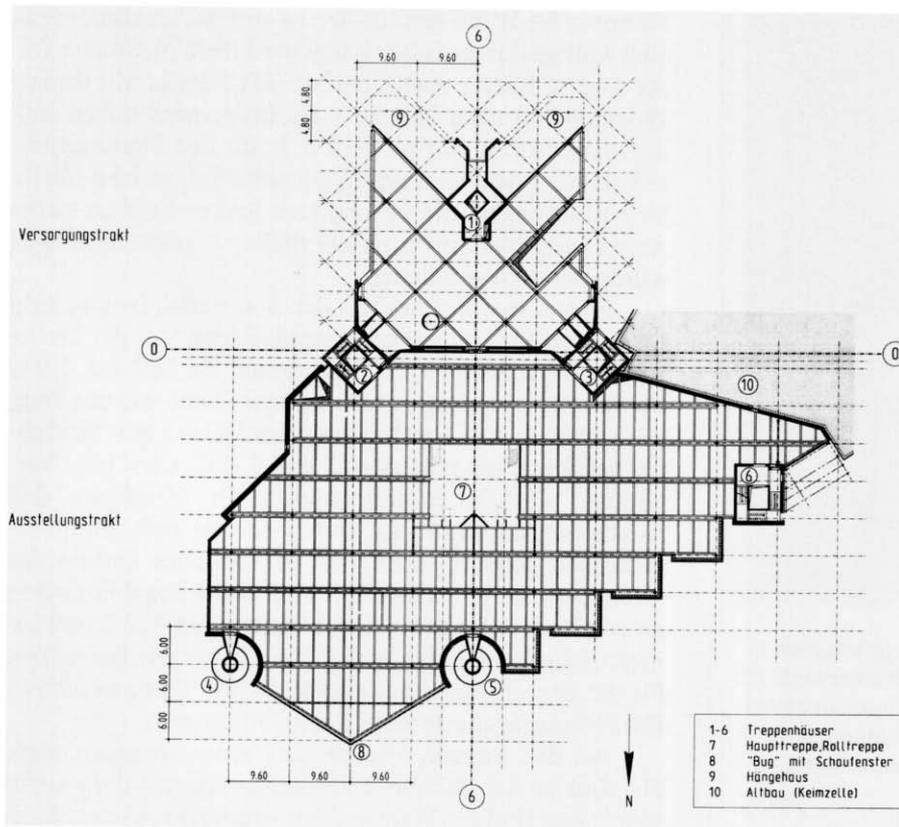


Bild 6. Grundriß des Neubaus für Luftfahrt und Schifffahrt mit Gebäuderaster
Fig. 6. Plan view with grid-reference of the new building for aviation and navigation

ist. Bei den Dachtragwerken alter Bahnhöfe oder Werkhallen ergab sich diese Klarheit aus der Eindeutigkeit der Funktion. Ein gutes Beispiel wäre der von *Franz Schwechten* entworfene Anhalter Bahnhof (Bild 2), welcher ein alle Gleise überspannendes, von Ingenieur *Heinrich Seidel* konstruiertes Dachtragwerk aufwies.

Beim Museumsneubau ergibt sich aus der Reaktion auf die städtebauliche Situation ein komplexer Grundriß. Auch die nutzungsbedingten verschiedenen Deckenöffnungen tragen zu einer Erhöhung der Vielfalt bei. Im dritten Obergeschoß sind es die vielen Dachoberlichter und der stützenfreie Bereich, welche Diversifikation bedingen. Diese Situation verlangt in besonderem Maße nach Disziplin und Klarheit. Das ordnende Raster allein genügt hierzu nicht, vielmehr gilt es im Planungsprozeß eine einheitliche Sprache für das Tragwerk zu entwickeln. Dieses Ziel wird durch Erarbeiten eines Kataloges von Trägergrundtypen als Planungsinstrument angestrebt (Tabelle 1).

Das Rasterfeld von 9,6 × 6,0 m wird in der längeren Richtung (Ost-West) durch Hauptträgerpaare überspannt. Die paarweise Anordnung erlaubt die Träger schlanker zu halten. Bei dem gerichteten Lastabtragungsprinzip im Ausstel-

lungstrakt schien es wichtig, daß die Trägerflucht nicht durch Stützen unterbrochen wird. Durch die Entflechtung von Stützen- und Trägerachsen wird die hierarchische Ordnung im Lastabtrag deutlicher. Die Hauptträger liegen an Konsolen seitlich der Stützen auf (Bild 7). Die 600 mm hohen Träger (Profil IPE 600) verjüngen sich zum Auflager hin auf die Hälfte. Da die Konsolen 300 mm hoch sind, ergibt sich auch am Auflager eine Gesamthöhe Träger plus Konsole von 600 mm. Dadurch wird für die Träger, welche statisch als einfache Balken wirken, das Auflager erkennbar definiert. Die Stützen nehmen durch den kreuzförmigen Querschnitt die Achsrichtungen auf.

Die kürzere Spanne wird durch Nebenträger überbrückt. Diese sind in einem regelmäßigen Abstand von 2,4 m angeordnet, d. h. vier Stück je Feld. Die Nebenträger sind gleich breit wie die Hauptträger, aber nur ca. ein Drittel so hoch (Profile HEA 220 und HEB 220) und wirken gegenüber den schlanken Hauptträgern gedungen. Die Nebenträger sind über sogenannte Knüppelschlüsse in die Hauptträger eingehängt (Bild 7). Die Deckenplatten wiederum spannen als Durchlaufträgersystem parallel zu den Hauptträgern und tragen die Deckenlast in die Nebenträger ab.

Damit ist ein Grundsystem gegeben, mit gleichbleibender Anordnung der Elemente, festgelegtem Fügungsprinzip und klar definiertem Lastfluß: Decke, Nebenträger, Hauptträger, Stütze. Die Randbedingungen machen Anpassungen dieses Grundsystems durch Entwicklung

Tabelle 1. Typisierung der Hauptträger
Table 1. Types of main girders

	9.6											
	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
HT 1												30 30
HT 2												30 30
HT 3												60
HT 4												30 30
HT 5												30 30 30

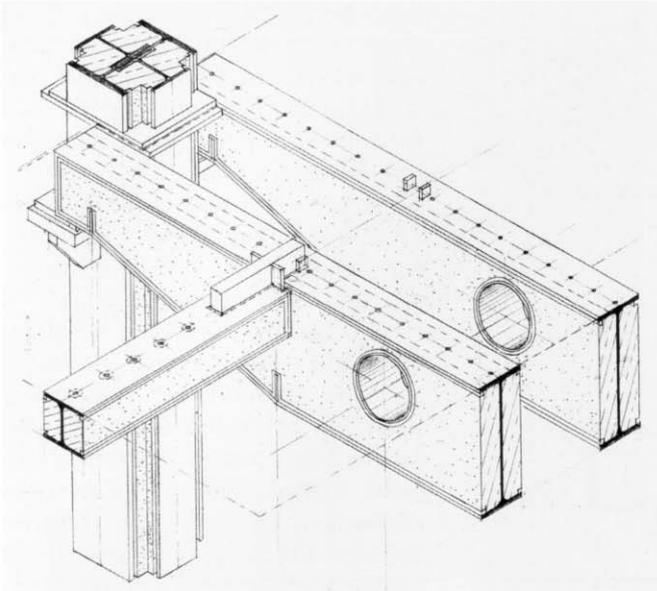


Bild 7. Axonometrische Darstellung des Fügungsprinzips: Stütze mit Konsolen, paarweise Hauptträger, Nebenträger mit Knüppel (Bleistiftzeichnung Architektengemeinschaft MVT)
Fig. 7. Axionometric view of fitting principle: column with support, main girders in pairs, secondary girders with block shear connector

verschiedener Hauptträgertypen erforderlich; diese sind in Tabelle 1 dargestellt. Fünf Grundtypen ergeben sich: der mit 233 Stück und 83 Abwandlungen am häufigsten vorkommende Typ HT1 mit Anvoutungen an beiden Enden, HT2 mit Voute an einem Ende (90 Stck.), HT3 ohne Vouten (40 Stck.), HT4 mit geringer einseitiger Auskragung (40 Stck.) und schließlich HT5 mit großer Auskragung (22 Stck.). Eigentlich existiert noch ein sechster Typus (16 Stck.), welcher in der Tabelle nicht wiedergegeben ist. Diese Trägerpositionen mit Auskragungen beidseitig und abgehängten Trägern sind für das Zwischengeschoß im Erdgeschoß erforderlich, sind aber für das Verständnis des Tragsystems als Sonderpositionen nicht von Bedeutung. Wechsel- und Randträger wurden unter gesonderten Positionen erfaßt.

Die großen Deckenöffnungen werden seitlich begrenzt durch 2,5 m auskragende Deckenbereiche, welche zur Trägerposition HT4 führen. Die Deckenöffnung für die Haupttreppe erfordert teilweise Trägerschwelungen, welche Träger ohne Vouten HT3 und Träger mit einseitiger Voute HT2 bedingen. An der Ostfassade kragen die Träger der Position HT5 3,2 m aus (Bild 8) und tragen am Kragarm die Fassade mit Beschattungsbalkonen. Mit einer zusätzlichen Anvoutung zu 900 mm Trägerhöhe wird der Träger sichtbar für das größere Stützmoment ertüchtigt. Ein weiteres Thema betrifft Anschlüsse an den Massivbau. Dazu wird der Träger mit seiner vollen

Höhe an die Wand geführt, wo er mittels Ausklinkung in eine Auflagerknagge eingehängt wird (Bild 9). Solche Träger sind verkürzte Positionen der HT2-Serie. Mit diesem Typenkatalog nach Tabelle 1 als Instrument haben sich die Planer selbst diszipliniert, d. h. für den Planungsprozeß wurde Entscheidungshilfe geschaffen, welche hin zu Vereinfachungen und Prinziptreue lenkte. Eine zu starke Aufweitung planerischer erforderlicher Unterscheidungen wurde dadurch vermieden.

Integrierter Bestandteil der Tragwerksplanung sind Öffnungen für Haustechnikinstallationen. An der Decke werden verschiedene Leitungstrassen für Lüftung, Elektro und Sprinkler in der gleichen Ebene wie das Tragwerk geführt. Die Erschließung erfolgt von den Schächten bei den Treppenhäusern 2 und 3 her, zuerst über Verteilung West-Ost, dann Süd nach Nord in den Ausstellungsraum hinein. Dabei werden viele Hauptträgerachsen gequert. Auch hier ist logisches System das Grundprinzip. Je Hauptträger sind sechs Regelöffnungen im Abstand von 1,2 m (Ausbauraster) mit 312,7 mm Innendurchmesser vorgesehen. Die Öffnungen lassen den für die Brandbemessung erforderlichen Restquerschnitt. Die Nebenträger erfordern keine Öffnungen.

Bei den Stützen werden fünf Typen unterschieden. Sie sind in der Tabelle 2 zusammenfassend dargestellt. Vier Typen sind aus Walzprofilen zusammengesetzte Stützen mit kreuzförmigem Querschnitt. Im Bugbereich sind vier Stützen für den Ausstellungstrakt untypisch als ausbetonierte Rohrquerschnitte ausgebildet. In diesem Bereich laufen die Hauptträger zentrisch auf die Stützen zu und sind mit geschraubten Blechfahnenanschlüssen versehen. Die Kreuzstützen bestehen aus HEB 400 als Hauptprofil, woran die Konsolen befestigt sind, und je zwei HEA 200, HEB 200 oder HEM 180. Der Typ AT-1 enthält zusätzlich noch zwei Flachstahlstreifen.

3.2 Ökonomie des Verbundprinzips

Durch das Sichtbarmachen der Tragwirkung wird Technikgeschichte lebendig. Das Museum ist das Forum, das auch Zukunft antizipiert. Es wird gezeigt, was heutige

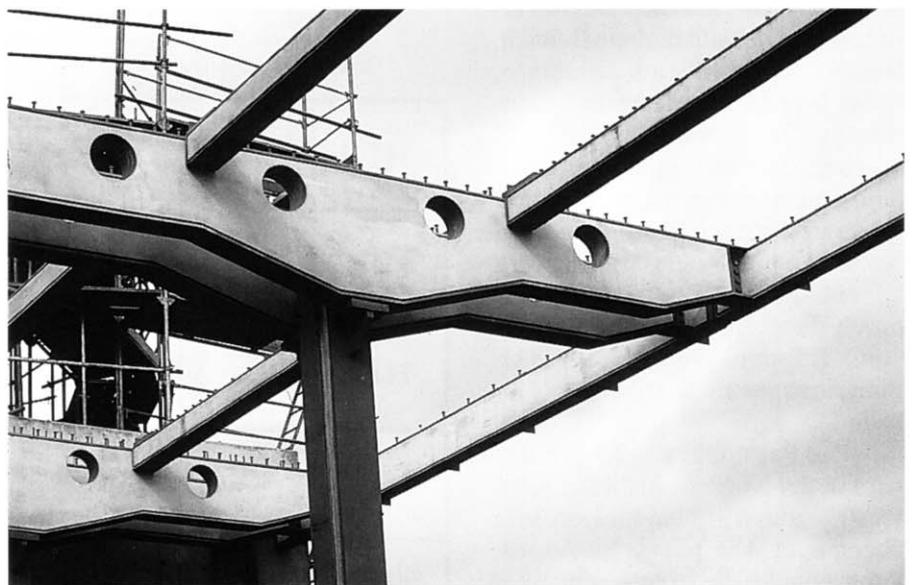
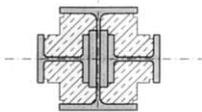
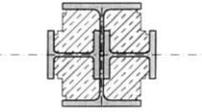
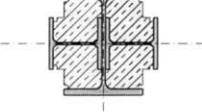
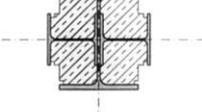


Bild 8. Hauptträger HT5 mit großer Auskragung, 3. Obergeschoß
Fig. 8. Main girder of type HT5 with large cantilever, third level

Tabelle 2. Stützen mit zulässigen Lasten 'kalt' und nach 90 min. ETK-Brand
Table 2. Columns with admitted load at normal service conditions and 90 min. exposed to fire

Pos.	Querschnitt	Profile	Stützenhöhe [m]	zul N kalt [kN]	zul N 90 [kN]
AT-1		HEB 400 +	8,7	5100	5176
		2 HEM 180 + 2 FLB 220/30 St 37 B 45	4,5	6300	7262
AT-2		HEB 400 +	8,7	4000	3063
		2 HEM 180 St 37 B 45	4,5	5000	4645
AT-3		HEB 400 +	8,7	3000	2210
		2 HEB 200 St 37 B 45	4,5	4300	4219
AT-4		HEB 400 +	7,7	2800	2525
		2 HEA 200 St 37 B 45	4,5	3500	3875
AT-5		∅ 406,4/8,8 St 37 B 45, BSt 500 10 ∅ 28	8,7	2900	2485

entstand das Verbundmaterial Stahlbeton. Früh wurden auch Stahlprofile oder Eisenbahnschienen in den Beton gebettet, vor allem zur Herstellung von Decken, ähnlich jenen Ziegeldecken mit schiefechten Kappengewölben. Es brauchte aber die Entwicklung effizienter Verbundmittel und vor allem der Schweißtechnik, um die Übertragbarkeit genügend großer Kräfte über die Kontaktfuge Stahl zu Beton zu ermöglichen. Deshalb ist der Verbundbau eine relativ junge und immer noch in starker Entwicklung befindliche Technologie.

Die hier ausgeführten Verbundträger sind Plattenbalken des Massivbaues ähnlich. Druckkräfte werden der Betonplatte und Zugkräfte dem Stahl zugewiesen, wobei mit dem Stahlträger eine Art 'biegesteife Bewehrung' vorliegt. Dies schlägt sich in größerer Steifigkeit und Tragfähigkeit nieder. Auch der Kammerbeton trägt dazu bei, wird aber rechnerisch nur für den Brandlastfall gewertet. Durch die mit Beton gefüllten Kammern entsteht der Eindruck eines massiven Unterzuges. Die Zuordnung der Tragfunktion wird verwischt. Die Kontaktfuge zwischen Stahl und Beton wird unscharf. Deshalb wird durch eine Schattennut, hergestellt mit einem Schlosserwin-

Bautechnik zu leisten vermag. Stahl ist das geeignete Material dazu, welches als isotropes Material hohe Festigkeit auf Druck und Zug aufweist. Es ist das Material der Industrialisierung, des Maschinenbaues; es ist das Material der Moderne. Die Entwicklung neuer Verarbeitungstechnologien, wie z. B. programmierbarer Schweißroboter oder Schneidbrennanlagen, eröffnen neue Möglichkeiten für präzise durchkonstruierte Tragwerke, welche die Funktion der Lastweiterleitung ablesbar zeigen. Sie gewährleisten aber auch Wirtschaftlichkeit für die Produktion.

Der Verbundbau bringt die schalltechnisch erforderliche, schwere Massivdecke und nutzt sie zur Erhöhung der Tragfähigkeit. Durch die im nachfolgenden Abschnitt erwähnten montagetechnischen Aspekte, trägt der Verbundbau aber auch ganz erheblich zur wirtschaftlichen Erstellung des Bauwerks bei.

Schon im letzten Viertel des 19. Jahrhunderts kam mit der Entwicklung hochwertiger Walzstahlerzeugnisse die Idee auf, die Zugfestigkeit des Stahles mit der Druckfestigkeit des preiswerteren Betons zu verbinden. Beton war als 'Opus Caementitium', als in jede Form gießbarer Kunststein, schon den Römern bekannt, war aber lange in Vergessenheit geraten. Durch Bewehren des Betons – anfänglich mit unprofilierem Rund- oder Bandstahl –



Bild 9. Auflager von Hauptträger an Massivwand, Auflagerwinkel 45°

Fig. 9. Support of main girder on a reinforced concrete wall, supporting angle 45°

kel 15×15 mm, eine absolut scharfe Trennlinie geschaffen und der Stahlträgerflansch freigestellt.

Nachweis des Verbundes

Der Verbund zwischen Stahl und Beton wird mittels Kopfbolzendübel Durchmesser 19 mm hergestellt. Dem entsprechend nutzt der rechnerische Nachweis der erforderlichen Dübelanzahl die Möglichkeiten des Teilverbundes aus. Dabei wird von einem Schlupf in der Verbundfuge ausgegangen. Betondecke und Stahlträger wirken im Grenzzustand der Tragfähigkeit nicht mehr voll zusammen. Dies setzt entsprechend duktile, d. h. zur zäh-plastischen Verformung fähige Verbundmittel voraus. Dies trifft für Kopfbolzen zu. Der Traglastnachweis nutzt insofern die erheblichen Umlagerungsmöglichkeiten der Dübelkräfte von den stärker beanspruchten Dübeln in Aufnahmegrenze hin zu den geringer beanspruchten Dübeln in Feldmitte. Dies führt zu einer Reduktion der notwendigen Anzahl Dübel abhängig von der erforderlichen Tragfähigkeit. Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist im allgemeinen nachzuweisen, wird aber im Hochbau selten maßgebend. Die für den Grenzzustand Tragfähigkeit angenommenen Relativverschiebungen und plastischen Umlagerungen treten erst bei Lasten deutlich über dem Gebrauchslastbereich auf.

Bei der Ermittlung der notwendigen Anzahl Dübel wird von zwei Grenzfällen ausgegangen. Das maximale plastische Moment ergibt sich bei vollem Verbund mit maximaler Anzahl Dübel. Der zweite Grenzfall steht für das plastische Moment des Stahlquerschnittes ohne Verbund mit der Deckenplatte. Im einfachsten Fall kann zwischen diesen Grenzfällen linear interpoliert werden. Genauere Formeln berücksichtigen, daß bei teilweisem Verbund der Stahlquerschnitt durch die Zugkraft nicht mehr voll ausgenutzt wird und folglich noch einen Biegemomentanteil übernehmen kann. Die Lage der Nulllinie kann bei vollem Verbund aus Gleichgewicht der horizontalen Kräfte am Querschnitt ermittelt werden. Bei teilweisem Verbund ergeben sich durch die Relativverschiebungen in der Verbundfuge zwei Nulllinien. Lösungsansätze und weitere Erläuterungen finden sich in [3]. Im vorliegenden Fall wurde meist die untere Begrenzung der Dübelanzahl maßgebend, nach welcher mindestens 50 % der für vollen Verbund erforderlichen Dübel gesetzt werden müssen.

Die Last wirkt aus den Nebenträgerauflägern jeweils in vier Einzellasten auf die Hauptträger. Die Kopfbolzen sind nicht entsprechend dem Querkraftverlauf abgestuft, sondern gleichmäßig über die Trägerlänge verteilt. Dem entsprechend wurde für die jeweiligen Trägerabschnitte der Nachweis geführt, daß über die Verbundfuge die erforderliche Druckkraft in der Decke aufgebaut werden kann. Als mitwirkende Breite wurde bezogen auf das Hauptträgerpaar 1,93 m angenommen.

Die Verbundträger sind als einfache Balken ausgebildet. Der Vorteil höherer Tragfähigkeit bei Nutzung von Durchlaufwirkung wurde gegenüber Erschwernissen durch kraftschlüssige Verbindungen über den Auflagern abgewogen. Die Ermittlung der Schnittgrößen konnte damit per Handrechnung erfolgen. Zur Erbringung der diversen Querschnittsnachweise wurde der vorgängig beschriebene Rechengang mit einem Tabellenkalkulations-

programm ausgewertet. Öffnungen in den Trägern können über Reduktion der plastischen Querschnittsmomente entsprechend berücksichtigt werden.

Verkehrslasten

Die Verkehrslast beträgt im Ausstellungsbereich 10 kN/m^2 und im 2. Obergeschoß wegen abgehängter Flugzeuge sogar 12 kN/m^2 . Auf der Stahlbeton-Kellerdecke waren 20 kN/m^2 , teilweise 30 kN/m^2 zu berücksichtigen. Für die Lastweiterleitung wurde eine Reduktion der Verkehrslast für Hauptträger auf 75 % und für Stützen auf 50 % vorgesehen. Es liegen Erfahrungswerte vergleichbarer Museen vor [4]. Um die einzelnen Ausstellungsexponate sind relativ große Verkehrsflächen notwendig. Aus den Gewichten und Aufstellflächen einiger Exponate wurden für das Ausstellungskonzept repräsentative Werte ermittelt.

Deckenplatte

Die Massivplatte ist als Verbunddeckensystem ausgebildet. Zur Zeit sind vier Systeme auf dem Markt: Haircol, Cofrastra, Holorib und Hoesch. Für alle Systeme wird ein profiliertes Blech als verlorene Schalung verwendet, welches bei der Bemessung der Decke als Bewehrung angesetzt werden kann. Der Verbund zwischen Blech und Beton wird über flächige Haftung, Setzbolzen und Abquetschungen hergestellt. Es sind neuere Systeme in Entwicklung, respektive bereits auf dem Markt, welche durch Schubnocken verbesserten Verbund aufweisen.

Beim Museum setzte sich das System von Holorib durch, welches eine hinterschnittene Profilgeometrie aufweist. In den Sicken des Bleches können Lasten von der Decke abgehängt werden. Dies wird nicht nur für Haustechnikinstallationen, sondern später auch für Exponate wie kleine Flugzeuge genutzt. Das Blech dient als Hauptbewehrung der einachsigen spannenden Decken. Zulagen in die Sicken sind nur in Randfeldern erforderlich. Mattenbewehrung wird quer auf die Sicken als Verteilbewehrung und als durchgehend kreuzweise verlaufende obere Bewehrung verwendet (Bild 10). Der Anschluß der Decken an Massivwände erfolgt mittels Ausklappbewehrung.

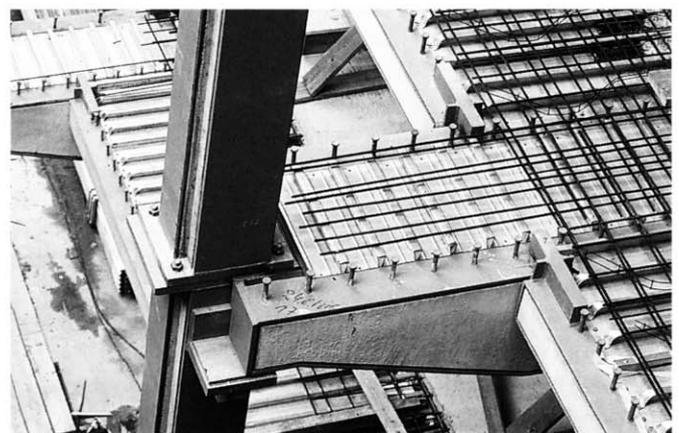


Bild 10. Detailansicht des Konstruktionsaufbaues mit Stütze, Haupt- und Nebenträger, Kopfbolzendübel, Verbundblech, Deckenbewehrung

Fig. 10. Detail of the construction with column, main and secondary girder, stud shear connectors, composite sheet, slab reinforcement

rung. Die Ausbildung des Anschlusses an schräg zum Blech verlaufenden Rändern gestaltet sich schwierig.

Schwierigkeiten mit dem Verbundblech ergaben sich, weil für die Kopfbolzen der Nebenträger Löcher in die ca. 9,5 m langen und 60 cm breiten Blechtafeln gestanzt werden mußten. Obwohl die Bolzenabstände mit 150 mm auf die Sicken abgestimmt sind, mußten bei der Montage Löcher nachgeschnitten werden. Auch die Knüppelanschlüsse erforderten Schneidarbeit an den Blechen auf der Baustelle. Zu diesen Problemen würde es sich lohnen über Verbesserungen nachzudenken.

3.3 Schraubenloser Montagebau

Mit der Vorfertigung in optimal eingerichteten Werkhallen wird die Dauer witterungsabhängiger Fertigung auf der Baustelle verkürzt. Ferner werden durch Straffung der kapitalintensiven Werkphase die auflaufenden Verzinsungskosten minimiert. Der Rohbau wird in eine längere Vorbereitungs- und Vorfertigungsphase, welche den Bauherrn kapitalmäßig nur gering belastet, und in eine kapitalintensive, kurze Montagephase auf der Baustelle aufgeteilt. Diese allgemein bekannten wirtschaftlichen Aspekte des Montagebaues brauchen hier nicht weiter ausgeführt zu werden. In diesem Zusammenhang ist interessant, daß der Montagebau, als Ausdruck industriellen Bauens, schon Inhalt der Architektur der Moderne war. Der hier vorgedachte Rasterbau mit Entwicklung eines Kataloges möglichst weniger Konstruktionselemente als Planungsinstrument macht nur als Montagebau richtig Sinn. Die durch die Vorfertigung implizierte Wiederholung möglichst vieler gleicher oder gleichartiger Bauelemente erzieht zu jener Einfachheit und Klarheit, auf deren Suche die Moderne war. Dies wurde schon in der Bauhauszeit erkannt, konnte damals aber mangels entsprechend entwickelter Techniken weniger praktiziert werden. Der Stahlbau beinhaltet diesen Aspekt natürlich stärker als der Stahlbeton, welcher meist auf der Baustelle in die Form gegossen wird.

Verbundtechnologie im Zusammenhang mit Montagebau wird durch das geringere Gewicht der Elemente interessant. Der Kammerbeton für den Brandschutz macht die Elemente zwar schwerer, trotzdem haben sie nicht das Gewicht vergleichbarer Stahlbetonelemente. Ein typischer Hauptträger Position HT1 wiegt 3600 kg und ein Nebenträger ca. 700 kg. Die schwersten Kreuzstützen im Erdgeschoß mit fast 8 m Höhe wiegen 6100 kg. Die Elemente sind dadurch alle mit entsprechend leistungsfähigen Hochbaukränen montierbar, was den Preis der Montage deutlich senkt.

Beim Museum wird weitgehend schraubenloser Montagebau eingesetzt, d. h. die Elemente werden beim Montieren nur aufeinandergelegt ohne sichernde Schrauben zu verwenden (vgl. dazu z. B. [5]). Die Montage wird dadurch noch schneller. Stabilität wird durch das Vergießen der Knotenbereiche beim Betonieren der Verbunddecken erreicht (Bild 10). Die bewehrte Decke hält die einzelnen Träger über die Kopfbolzen in ihrer Lage, wirkt als aussteifende Scheibe und bewirkt die Anbindung an die aussteifenden Kerne und Stahlbetonwände. Der Zustand momentan beschränkter Stabilität vor dem Betonieren der Decken muß natürlich beim Montagefortschritt berücksichtigt werden. Wo die Decke fehlt, im Be-



Bild 11. Dachöffnung mit Fachwerkträger und anschließenden Hauptträgern

Fig. 11. Opening in the roof with truss-girder and connecting main girders

reich des Anschlusses Träger an Stütze, wie z. B. bei den großen Oberlichtern im 3. Obergeschoß (Bild 11) müssen die Anschlüsse geschraubt werden. Beim Oberlichtträger ist eine Blechfahne durchgesteckt. Diese ist mit einem horizontalen Blech zu einem auf dem Kopf stehenden 'T' verschweißt. Das Trägerprofil ist beim Auflager ebenfalls zu einem 'T' ausgeklinkt. Der verschraubte Anschluß gibt den Eindruck eines H-Querschnitts und erlaubt trotzdem einfache Montage, da nicht eingefädelt werden muß, sondern von oben eingefahren werden kann.

Die Stützen werden mittels vier Schrauben ausgerichtet und gesichert. Zusätzlich wird jede Stütze durch zwei Richtsteifen im Lot kontrolliert. Im Erdgeschoß waren diese Arbeiten sehr zeitintensiv, da in den Massivkeller Klebanker gesetzt werden mußten. Es mußte auch sehr genau gearbeitet werden, da sich Ungenauigkeiten sonst bei der weiteren Montage kumulieren können. In diesem Sinn ist der Beginn der Montage entscheidend für den Erfolg. In zwei Fällen hatten sich kaum merkbare Verdrehungen im Erdgeschoß in den weiteren Geschossen zu einer problematisch werdenden Verdrehung addiert. Ansonsten zeigte sich bei Kontrollmessungen, daß die Equipe äußerst genau arbeitete und im 2. Obergeschoß nur Abweichungen von wenigen Millimetern hatte. In der Höhe wurde mit Toleranzen von praktisch Null gearbeitet. An den Trägerenden waren jeweils 10 mm Spielraum vorgesehen.

Diese Genauigkeit des Stahl-Montagebaues machte indirekt an den Nahtstellen zum Massivbau zu schaffen. Der notwendige Toleranzspielraum mußte entsprechend großzügig eingeräumt werden und reichte trotzdem manchmal fast nicht aus. Es ist dabei verständlich, daß es nicht einfach ist, beim Betonieren einer Wand die Verformung der Schalung zu kontrollieren. Abweichungen von 10 mm waren die Regel. Es kamen aber häufig größere Abweichungen vor, bis zum Extremfall von 50 mm. Wandauflager von Hauptträgern werden mittels Stahleinlageplatten gemacht, welche mit Bewehrungsschlaufen im Beton verankert sind und an die Schalung genagelt werden. An die Platte werden während der Montage Stahlknaggen angeschweißt. Dadurch ist ein genaues Einmessen des Auflagers möglich. Die Knagge ist 70 mm

tief, so daß Abweichungen in Trägerachsrichtung von ± 25 mm aufgenommen werden können. Da viele Auflager schräg unter 45° zur Trägerachse stehen (Bild 9), treten bei Abweichungen längs zum Träger auch gleich große Verschiebungen seitlich auf, was sehr schmerzhaft sein kann.

Für die Wandaufleger von Nebenträgern wurden Aussparungen vorgesehen, in denen der Knüppel aufgelagert wird. Durch Stahlblechstücke wird die Höhenausrichtung genau vorgenommen. In Trägerlängsrichtung muß jedoch eine Mindestauflagertiefe im Beton gewährleistet sein. Auch bei den Nebenträgern sind viele Auflager im Winkel bis 45° zur Trägerachse vorhanden. Beim Betonieren der Decke werden die Aussparungen verfüllt und dadurch die Lage bleibend fixiert.

4 Brandschutz mit besonderen Merkmalen

Der gesamte Ausstellungsbereich stellt über vier Geschosse einen einzigen Brandabschnitt dar. Die Geschosse sind über die Deckenöffnungen für großformatige Ausstellungsstücke und für die Haupttreppe räumlich verbunden. Der übergroße Brandabschnitt von ca. $11\,150\text{ m}^2$ wurde von der Behörde genehmigt. Es wird eine automatische Brandmeldeanlage und eine Sprinkleranlage als vorgesteuerte Trockenanlage eingebaut. Für die ungeschützten Fachwerke in den Oberlichtern des Daches im 3. Obergeschoß sind verdichtete Objektsprinklerungen vorgesehen. Die Fluchtwege führen mit einer Rettungsweglänge von max. 25 m in die Treppenhäuser 2 bis 6 (vgl. Bild 6).

Die von der Behörde an alle tragenden Teile gestellte Anforderung ist F90A, d. h., die einzelnen Teile müssen während 90 Minuten einem normierten ETK-Vollbrand widerstehen. Von der Behörde wird damit als Randbedingung für die Bemessung ein Flucht- und Interventionszeitraum gefordert. Bei der Umsetzung sollen auch Brandlast und Annahmen für den Brandverlauf Berücksichtigung finden. Solche Gefährdungsszenarien hängen von Erfahrungen mit tatsächlichen Bränden ab. Es wurden deshalb Brandversuche an Gebäuden gemacht [6]. Man geht davon aus, daß nicht das gesamte Gebäude gleichzeitig unter Vollbrand steht. Lokal begrenzte Brände bewirken, daß unter Brandeinwirkung befindliche Tragwerksbereiche sich im „kalten“ restlichen Tragwerk verspannen können. Dadurch ergeben sich für die Traglastermittlung 'warm'-plastische Umlagerungsmöglichkeiten. Bei den Trägern wird die sich daraus ergebende Durchlaufwirkung zur Reservebildung vorgehalten. Bei der Brandbemessung der Stützen ist (ausgenommen die Dachdecke) eine Einspan-

nung in die Decken, mit daraus resultierender Verringerung der Knicklänge, berücksichtigt.

Der Brandschutz der Träger und Stützen erfolgt durch Ausbetonieren der Profilkammern. Dadurch werden Teilbereiche der Profile durch den Beton wie eine Ummantelung geschützt. Dem Feuer preisgegebene Bereiche verlieren rasch an Festigkeit. Bei den Trägern fällt der untere Flansch aus. Er wird durch Bewehrungsstäbe im Beton ersetzt. Die Durchwärmung dringt mit zunehmender Branddauer tiefer in den Trägerquerschnitt. Dieser Vorgang kann mit speziellen Rechenprogrammen simuliert werden. Nach 90 Minuten Branddauer wird die Resttragfähigkeit der unterschiedlich durchwärmten Zonen ermittelt und aufintegriert. Für verschiedene Stahlprofile mit Kammerbeton gibt es Tabellen zur Bemessung. Allerdings nicht für Träger mit Öffnungen. Hier wird der Querschnitt auch von der Öffnung her durchwärmt. Es wird angenommen, daß keine Leitungen in den Öffnungen sind. Für diese Fälle ist eine gutachterliche Stellungnahme erforderlich [7]. Dazu wurden alle Trägerpositionen und zugehörige massgebende Beanspruchungskombinationen von Biegemoment und Querkraft für verschiedene Schnitte tabellarisch aufgeführt und durch den Sachverständigen die erforderliche Bewehrung ermittelt. Dieses Verfahren erwies sich als schwerfällig und anfällig für Mißverständnisse. Änderungen im Planungsprozeß, welche oft unter Zeitdruck erfolgten, mußten mühsam nachbegutachtet werden.

Die Suche nach einer andern Vorgehensweise führte leider spät zu dem mit Bild 12 beschriebenen Verfah-

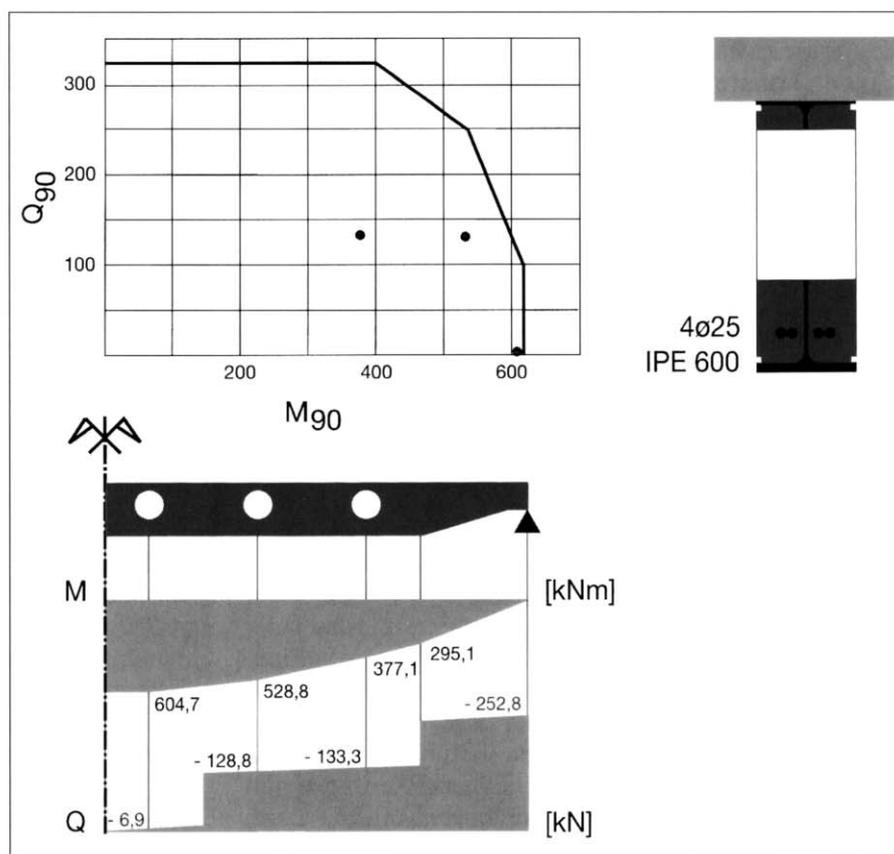


Bild 12. Moment-Querkraft-Interaktionsdiagramm für Brandbemessung: Hauptträger HT 1 mit Öffnungen, 90 Minuten ETK-Brand

Fig. 12. Moment-Shear-Diagram to calculate the fire resistance: main girder HT1 with openings, fire classification F90

ren mittels Moment-Querkraft-Interaktionsdiagrammen, welche für jeweils ein Stahlprofil und eine bestimmte Kammerbewehrung durch den Sachverständigen errechnet wurden. Es wird hier ausdrücklich darauf hingewiesen, daß das abgebildete Diagramm nicht auf andere Bemessungsfälle übertragbar ist. Das Bild zeigt, wie für den abgebildeten Träger mit $4 \text{ } \varnothing 25 \text{ mm}$ als Bewehrung die Beanspruchung in verschiedenen Schnitten als Punkt in das Diagramm übertragen wird. Liegen die Punkte innerhalb der Kurve ist der Nachweis für 90 Minuten Brandwiderstand erbracht.

Im vorliegenden Fall gaben senkrechte Risse im Kammerbeton Anlaß zu einer stichprobenartigen Überprüfung der vorhandenen Brandschutzbewehrung in verschiedenen Trägern. Da Meßverfahren mit üblichen Bewehrungssuchgeräten wegen des Stahlprofils versagten, mußte aufgestemmt werden. Dies ist sehr unbefriedigend wegen den hohen Anforderungen an die Sichtausführung, denn das Spachteln der eröffneten Stellen bleibt immer sichtbar. Die dabei festgestellten Verschiebungen in der Lage der Bewehrung wiesen auf Mängel in der Qualitätssicherung hin. Die derzeitige Praxis der Weitervergabe von Teilarbeiten wie dem Bewehren und Ausbetonieren der Kammern an zu wenig erfahrene Subunternehmer, mangelnde Einweisung in die Arbeiten und fehlende oder zu spät erfolgte Kontrollen führten zu den beschriebenen Unzulänglichkeiten, die jedoch durch Neubemessungen neutralisiert werden konnten.

Zum Verankern des Betons in den Kammern sind am Profilsteg Kopfbolzen aufgeschweißt. Für die konstruktive Kammerbewehrung wurde Stabstahl $\varnothing 8 \text{ mm}$ verwendet. Die daraus gefertigten Bewehrungskörbe haben die Aufgabe, den Beton zusammenzuhalten und das Verücken der kräftigen Längsbewehrung beim Betonieren zu verhindern. Der Korb wurde am Stahlträger nicht durch Anschweißen, sondern durch Distanzhalter fixiert. Die Verbindungen des Stabstahls mit Bindedrähten war zu wenig steif. Es kam deshalb zu Verschiebungen der Körbe beim Betonieren, zum Teil wurde auch Längsbewehrung losgerissen und weggedrückt. Durch die Kopfbolzen wurde ein beliebiges Hochrutschen der Längsbewehrung verhindert, so daß der Verlust am inneren Hebelarm eingegrenzt werden konnte.

Durch Berücksichtigung von Endeinspannmomenten wurden mangelhafte Träger abgedeckt. Solche Endeinspannmomente ergeben sich durch die starke Längsdehnung der unteren Flansche infolge der Hitzeeinwirkung, wodurch die Lücke von ca. 10 mm zwischen den Trägern am Auflager geschlossen wird. Über die vorhandene Bewehrung in der Decke bauen sich Stützmomente auf, welche zu entsprechender Verminderung der Feldmomente führen.

Die Auflagekonsolen für die Träger an den Stützen sind aus 50 mm dickem Blech T-förmig zusammenschweißt. Durch die Sachverständigen wird eine Brandwiderstandsdauer für die ungeschützte Konsole von nahezu 90 Minuten bei 20 % Ausnutzung ermittelt [7]. Dieses erstaunliche Resultat kommt durch die Massivität und in Konsequenz durch die geringe Ausnutzung der Konsole zustande. Anhand des sogenannten Euro-Nomogramms [8] kann die Abhängigkeit von Ausnutzungsgrad und dem Brand exponiertem Umfang von Stahlprofilen

anschaulich nachvollzogen werden. Zur weiteren Sicherung ist an der Stütze, hinter dem Träger verdeckt, eine Knagge angebracht (Bild 10). Die Knagge an der Stütze weist zum entsprechenden Gegenstück am Träger ein Spiel von 5 mm auf, damit der Träger bei der Montage keinesfalls unbeabsichtigt an der Knagge ansteht. Im Brandfall würde sich bei Ausfall der Konsole der Träger über die Bewehrung in der Decke an der Knagge einhängen.

Die kreuzförmigen Stützen sind aus drei Profilen zusammengesetzt (vgl. Tabelle 2). Dadurch weisen die Stützen einen sehr massigen Stahlkern auf, der von Kammerbeton ummantelt ist. Deshalb war keine Kammerbewehrung erforderlich. Der Beton kann nicht herausfallen, wodurch weder Kopfbolzen noch Bügel zur Sicherung notwendig sind. Der Querschnittsverlust durch Abschälen der Betonoberfläche im Brandfall ist unbedeutend.

5 Schluß

Der vorliegende Bericht umfaßt nicht das gesamte Bauvorhaben, da dies zu umfangreich wäre. Er beschränkt sich hier auf den Ausstellungsbereich. Das Tragwerk des Versorgungstrakts unterscheidet sich durch die andere Nutzung auf quadratischem Raster von demjenigen des Ausstellungstraktes. Der Verbundbau des Versorgungstraktes soll in Kürze in einem gesonderten Artikel behandelt werden. Auskragungen von Teilen dieses Baukörpers über vorhandene Bahngleise machen Rückverhängungen über ein Stahlraumfachwerk erforderlich. Besondere Bedingungen führten zur Ausbildung der Knotenbereiche aus Gußstahlteilen von beachtlicher Größe und Gestalt. Auch das Kellergeschoß als massiver Stahlbetonbau mit der fugenlosen weißen Wanne und nicht alltäglichen Deckenkonstruktionen bilden ein eigenes Thema, ebenso wie das vorgespannte Mauerwerk der Fassade.

Es werden durch den Ausstellungscharakter besondere Erwartungen an das Tragwerk gestellt, und der gewollte technische Charakter soll den Exponaten einen entsprechenden Rahmen geben. Dies wird durch das sichtbare Stahlverbundtragwerk und die sichtbar belassenen Haustechnikinstallationen erreicht.

Zum Entwurfskonzept äußert sich Architekt *Helge Pitz* sinngemäß folgendermaßen: „Der entscheidende Ansatz für das architektonische Konzept entwickelte sich aus der Einbindung in einen ungeordneten Stadtraum. Zentraler Gedanke ist das Schaffen eines Ordnungsprinzips am Ort für die neuen Abteilungen für Luftfahrt und Schifffahrt.“

Der Aspekt der Ordnung zog sich wie ein roter Faden durch die Ausgestaltung des Tragwerks. Absicht war, mit möglichst wenigen Bauteilen auszukommen, entsprechend dem Prinzip eines Baukastens. Für die Teile sollte ein klares, möglichst einfaches Fügungsprinzip konsequent über den ganzen Bau durchgehalten werden, und die Teile selbst sollten ihre Funktion im Tragwerk eindeutig erkennen lassen. Hinzu kommen die industrielle Serienfertigung und schnelle Montage, die man sich zunutze machte. Auch in diesem Sinne ergab sich eine Übereinstimmung mit der Zielsetzung des Museums.

Technikentwicklung steht in enger Wechselwirkung mit dem kulturellen und sozialen Umfeld. Es war deshalb

kein Zufall, als sich um die Jahrhundertwende mit der schnellen Technisierung und Industrialisierung die Architektur-Avantgarde für das Prinzip der mathematisch-physikalischen Abstraktion in den Ingenieurwissenschaften zu interessieren begann. Für die dekorreichen, üppigen Stile, welche man in der Gründerzeit in wechselnder Kombination aus den klassischen Epochen kopiert hatte, gab es keine Verwendung mehr. Die Architektur der Moderne suchte die klare Form. Durch den mathematischen Hintergrund, der der disziplinierenden Richtschnur der Moderne innewohnt, ergibt sich eine geistige Nähe zur Technik und eine neue Dimension für den Entwurfsprozeß.

Wobei sich auch die wahrhaftigste Konstruktion nicht verselbständigen darf, um die Balance zwischen konstruktiver Logizität und Raumwirkung zu wahren.

Am Bau Beteiligte:

Bauherr:

Deutsches Technikmuseum Berlin, vertreten durch Senatsverwaltung für Bauen, Wohnen und Verkehr, Abteilung H VII

Architekten:

Architektengemeinschaft MVT Ulrich Wolff und Helge Pitz

Statik und Tragwerksplanung:

Pichler Ingenieure GmbH

Brandschutz:

Hosser, Hass und Partner, Braunschweig

Prüfingenieur:

Hornfeldt & Scheel

Bauausführungen:

Arge MVT Strabag – Ludwig Freytag – Max Bögl

Arge Stahlbau: Bögl – Dillinger

Geotechnik:

ELH Erdbaulabor Hannover Ingenieure GmbH, Hannover, *Michael Soretz*

Literatur

- [1] Architektenwerkstatt Pitz-Brenne-Tomisch, Planungsgruppe IKOS/Hesse-Schophaus: Stadträumliche und bauhistorische Untersuchung des Standortes für das Museum für Verkehr und Technik, Bericht im Auftrag des Senators für Bau- und Wohnungswesen, Berlin, April 1980.
- [2] Senator für Bau- und Wohnungswesen: Bauwettbewerb Stadtplatz und Fußgängerbrücke vor dem Museum für Verkehr und Technik, Berlin, Ergebnisprotokoll, 12.4.1989.
- [3] Stahl-Information-Zentrum, Merkblatt 7, Verbundträger im Hochbau, 4. Aufl. 1991, Nachdruck 1997.
- [4] Landesmuseum für Technik und Arbeit, Mannheim, Architektin Ingeborg Kuhler, Stahl und Form, Stahl-Information-Zentrum, Düsseldorf, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, München, 1991, S. 14.
- [5] *Mascioni, H.-W., Muess, J., Schmitt, H., Seidel, U.*: Schraubenloser Verbundbau beim Neubau des Postamtes 1 in Saarbrücken. *Stahlbau* 59 (1990), H. 3, S. 65–73.
- [6] *Hass, R., Meyer-Ottens, C., Quast, U.*: Verbundbau Brandschutz Handbuch, Berlin: Ernst & Sohn 1989.
- [7] Prof. Dr. Ing. D. Hosser, Bautechnisches Gutachten Nr. 95 BS-124G, IBMB, TU Braunschweig, Juni 1995.
- [8] ECCS-Technical Committee 3 – Fire Safety of Steel Structures, 'Explanatory Document for ECCS No 89 „Euro-Nomogram“ – Fire Resistance of Steel Structures', European Convention for Constructional Steelwork, first Ed. Brussels, 1996.

Autoren dieses Beitrages:

Prof. Dipl.-Ing. Gerhard Pichler, Beratender Ingenieur, VBI, Universitätsprofessor für Tragwerklehre an der Hochschule der Künste Berlin, ist Geschäftsführer der PICHLER Ingenieure GmbH, Giesebrechtstraße 13, 10629 Berlin

Dipl.-Ing. ETH/SIA Roland Martin Guggisberg, Projektleiter bei PICHLER Ingenieure GmbH