

Zeitschrift: Werk, Bauen + Wohnen
Herausgeber: Bund Schweizer Architekten
Band: 84 (1997)
Heft: 1/2: Glas = Verre = Glass

Artikel: Glas und Statik
Autor: Ritchie, Ian
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-63539>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.02.2025

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

Glas und Statik

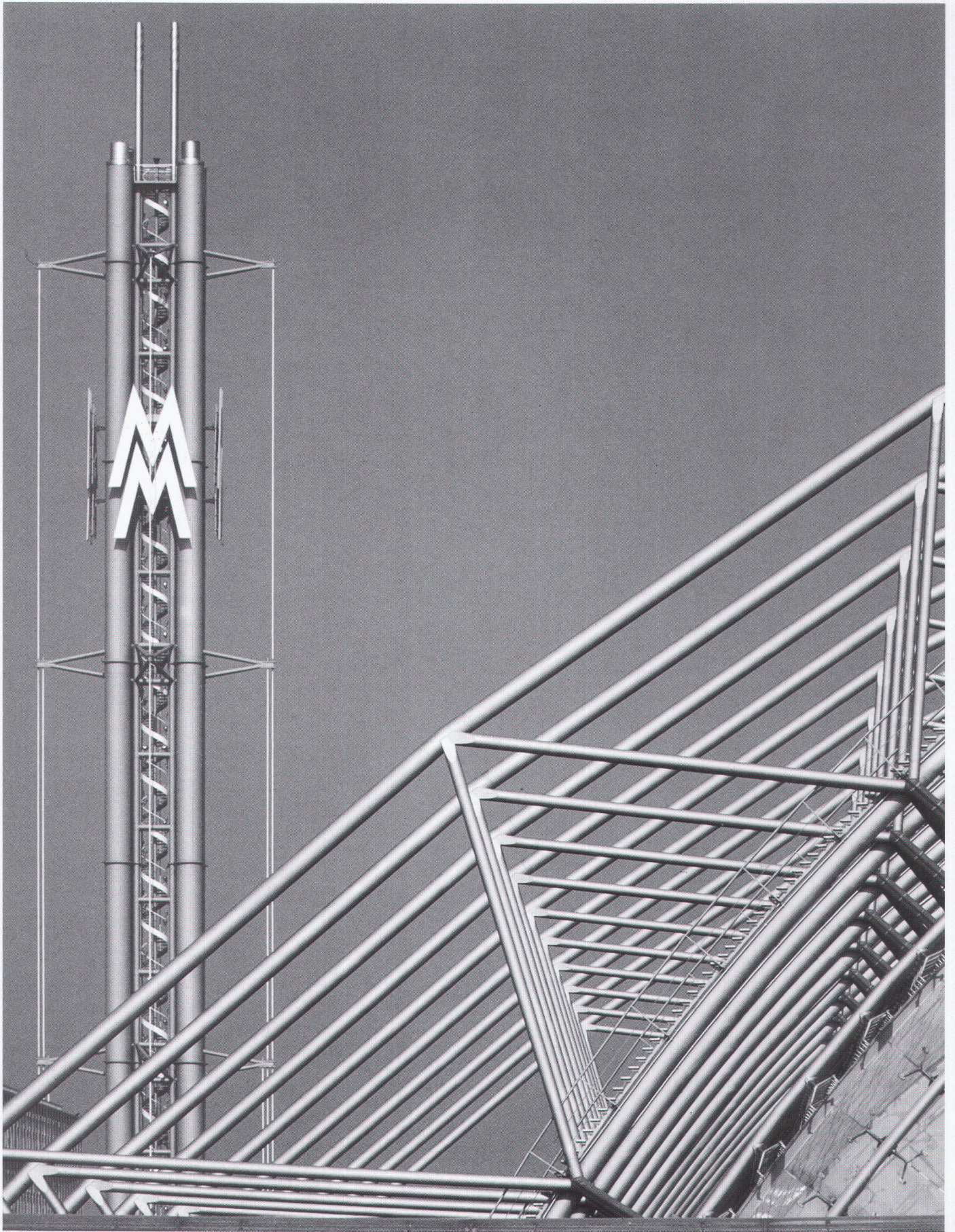
Als wohl bedeutendste bautechnische Erfindung der letzten dreissig, vierzig Jahre gelten neue Glaskonstruktionen, die mit erhöhtem Isolationswert und gleichzeitiger Lichtdurchlässigkeit (passive) Sonnenenergiegewinne ermöglichen. Der bevorstehende Durchbruch von reinen Glashäusern beruht vor allem auf einem verbesserten Kosten-Nutzen-Verhältnis, das konventionelle Wandkonstruktionen konkurrenziert. Doch solche reinen Glaskonstruktionen stellen grosse technische Probleme, die sowohl das Raumklima als auch Befestigungs- und Materialtechniken betreffen. Der folgende Beitrag von Ian Ritchie, der das komplexe Spektrum einer Glasdachkonstruktion auffächert, kann auch als kritische Mahnung verstanden werden, neuste technische Errungenschaften nicht unbedacht einzusetzen. Oft erweisen sich kühne Glaskonstruktionen als unvergleichbares Luxusprodukt ohne architektonische oder technische Innovation. Insofern beschreibt Ritchie mit der neuen Leipziger Messehalle einen Grenzfall, wo Glas experimentell eingesetzt wurde.

■ Les nouvelles constructions en verre présentant un pouvoir isolant accru et permettant parallèlement un captage (passif) de l'énergie solaire par translucidité, constituent sûrement la découverte technique la plus importante des 30, 40 dernières années. La percée prochaine d'architectures totalement en verre s'explique avant tout par un rapport coût/utilité amélioré qui concurrence les constructions de paroi conventionnelles. Cependant, de telles constructions intégralement en verre posent de difficiles problèmes techniques qui concernent autant le climat des locaux que les techniques de fixation et de matériaux. Le présent article de Ian Ritchie qui développe le spectre complexe de la construction d'une toiture en verre, peut aussi être compris comme une mise en garde critique quant à l'emploi inconsidéré des dernières conquêtes techniques. Souvent, des constructions en verre audacieuses se révèlent être des produits d'un luxe exceptionnel sans innovation architecturale ou technique. Avec la halle de la foire Leipzig, Ritchie décrit ici un cas limite où le verre est mis expérimentalement en œuvre.

■ Perhaps one of the most important technical inventions of the past 30 to 40 years was the glass construction with higher insulation capacity and simultaneous transparency which results in a (passive) gain in solar energy. The impending breakthrough of buildings made exclusively of glass is based above all on an improved cost/profit ratio which competes with conventional wall constructions. But such purely glass constructions pose huge technical problems in terms of room climate, fixation and materials. The following article by Ian Ritchie, which discusses the complex spectrum of a glass construction, can also be interpreted as a critical warning against the rash use of the newest technical achievements. Frequently, bold glass constructions turn out to be an indefensible luxury product lacking in architectural and technical innovation. In this context, Ritchie describes a borderline case, the convention hall in Leipzig using glass as an experiment.



Fotos: Jochen Helle, Dortmund;
H.-Chr. Schink, Leipzig (rechte Seite)





Das Entwurfskonzept

Zusammen mit den Architekten entwickelten wir ein Baukonzept in Form einer äusserst transparenten Hülle: ein aus einer einzigen Schicht bestehendes Bauwerk mit einer Rasterhülle in Form eines Tonnengewölbes – ein sich aus der Landschaft erhebender stählerner Filigranbau –, an welchem die Glasummantelung deutlich sichtbar von der Hülle getrennt aufgehängt würde. Das Tonnengewölbe sollte entlang der Gewölbelänge alle 25 m durch Hauptbögen stabilisiert werden und entsprach so dem Wunsch, einen Bezug zum Leipziger Bahnhof herzustellen.

Diese architektonisch einfache Form reduzierte die Oberfläche der äusseren Glasummantelung und des Innenraums im Vergleich zu einem früheren Entwurf, behielt aber dieselbe Bodenfläche und sichtbare Raumhöhe bei. Sie führte aber auch zu einer bedeutenden Kostenersparnis.

Transparenz und Steuerung des Lichteinfalls

Die vom Gebäude beanspruchte Gesamtfläche erfüllt von allen Seiten aus betrachtet unser Kriterium von höchstens 15 Prozent. Diesen Prozentsatz legten wir als Ergebnis einer Analyse zahlreicher von uns entworfener Glasbauwerke fest; er entspricht einer maximalen Bauintervention, die den Gesamtentwurf ausserordentlich leicht wirken lässt. Hinzu kam, dass der Bauraster der Hülle von 3,125 m und die Grösse der Glaspaneele von 6,25 m dem «Modul» der Messearchitektur entsprachen.

Die Wahl von Glas mit niedrigem Eisengehalt (das nicht die charakteristische grünliche Tönung von normalem Floatglas aufweist) und der Verzicht auf innere Tragkonstruktionen erhöhen den Eindruck von Transparenz noch zusätzlich. Aufgrund der Gewölbeform fällt der Blick aus der Halle immer senkrecht auf die Glasfläche. Dies begrenzt die wahrnehmbaren Spiegelungen und unterstreicht den Eindruck von Transparenz.

Ein Teil der südlichen Glasfläche und die Fläche unmittelbar neben dem Dachscheitel bestehen aus Fritteglast mit einem Muster, das der Gebäudegrösse Rechnung trägt und den Blick zum Himmel freigibt. Diese Fritte mindert die Menge der direkten Sonneneinstrahlung; um maximale Transparenz zu gewährleisten, verläuft sie vom Bodenniveau und den

Foto: Jochen Helle, Dortmund

Zwischengeschosson aus gesehen oberhalb der normalen Sichtlinie.

Kontinuität der Glasummantelung

Die architektonische Eleganz des Gebäudes wird teilweise durch die Tonnengewölbeform erzielt. Die separate Glashaut musste deshalb die gewählte Form bis auf Bodenhöhe weiterführen, und auch der Entwurf der erforderlichen Belüftungslamellen und Notausgänge der unteren Ebene musste sich dieser generischen Form anpassen.

Gebäudehierarchie

Das Bauwerk beruht auf einer einfachen Hierarchie von zwei Ebenen – dem primären Bogenfachwerk und der sekundären Rasterhülle. Die primären Fachwerkträger von 25 m weisen ein dreieckiges und im Querschnitt äusserst schmales Profil auf, so dass sie als aussen schwebende, messerscharfe Flächen gelesen werden können, die die Rasterhülle stabilisieren. Die obere Gurtung überspannt die Anliegerstrassen und verankert die Struktur in der Landschaft.

Die Gitterhülle wird so neutral wie möglich gehandhabt: ohne Diagonalverstreibungen und unter Verwendung eines konstanten Rohrdurchmessers in einem viereckigen Raster. Die Wandstärke der Rohre hängt dabei von der jeweiligen Fokalstatik ab.

Baustellenmontage des Modulsystems

Die Gitterhülle und alle Hauptbögen und Fachwerkträger der Seitenwände wurden auf der Baustelle montiert. Die Gitterhülle ist leiterförmig mit Hilfe verdeckter Einzelschraubverbindungen befestigt. Gussquerträger sind mit den Gitterhüllenrohren verschraubt und verbinden diese Konstruktion mit der Verglasung über Punktfixierungen.

Separate Stirnwände

Die Stirnwände sind deutlich als separate Bauteile zu erkennen, die vom Boden aus als gewölbte Fachwerkträger vorkragen. Zwischen Gitterhülle und Stirnwand gibt es keinerlei Verbindung. Wären diese Wände an der Gitterhülle befestigt, würden die entsprechenden Windbelastungen bis auf die Endfelder der Gitterhülle übertragen. Dies hätte die einzelnen Elemente der Gitterhülle lokal verändert und

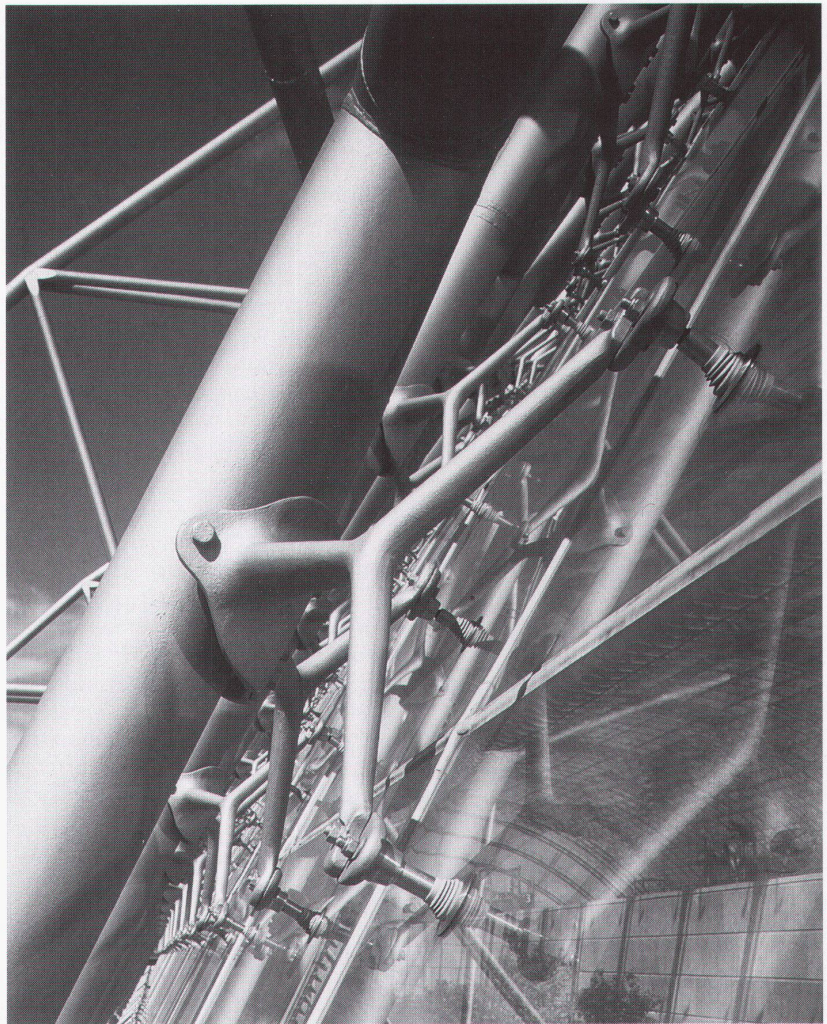


Foto: H.-Chr. Schink, Leipzig

der Einfachheit der Hülle geschadet. Schliesslich wollten wir keine Bausilhouette vom Typ «Sonnen-aufgang» schaffen.

An strategischen Stellen auf den oberen Ebenen des Glasgewölbes sind in regelmässigen Abständen Aufhängevorrichtungen zur Befestigung von Ausstellungsgegenständen usw. angebracht, die jeweils eine Last von 500 kg zu tragen vermögen.

Baubewegungen unter Beanspruchung

Die Analyse einer symmetrischen wie asymmetrischen Beanspruchung, Windkanaltests und eine Untersuchung der Schneelasten sowie der Beziehung zwischen diesen beiden, plus eine nichtlineare Computersimulation erlaubten eine Voraussage in bezug auf mögliche Verformungen unter Belastung. Die Hauptkonstruktion kann in der Ebene Verformungen bis zu ungefähr 15 mm innerhalb eines einzelnen 3,125 m grossen, viereckigen Moduls der Gitterhülle aushalten (das heisst eine Verformung vom Viereck zum Rhombus). Das sind die extremsten Belastungen, denen Rechnung getragen werden musste.

Verformungen in der Ebene werden von Glasbefestigungen aufgefangen, die – je nach Position der einzelnen Glaspaneele – an ihrem Befestigungspunkt ein bis zwei Grad Bewegungsfreiheit haben. Einer der Befestigungspunkte jedes Paneels ist starr. Die Glasbefestigungen selbst weisen in der Glasebene ein Kugellager auf, das die Übertragung lokaler Biegespannungen von der Stützkonstruktion aufs Glas wirksam verhindert.

Andere Bewegungen werden problemlos aufgefangen, da die Glasfläche der Baukonstruktion «folgen» kann; und da alle Silikonverbindungen von Natur aus flexibel sind, können sie auch als Scharniere dienen.

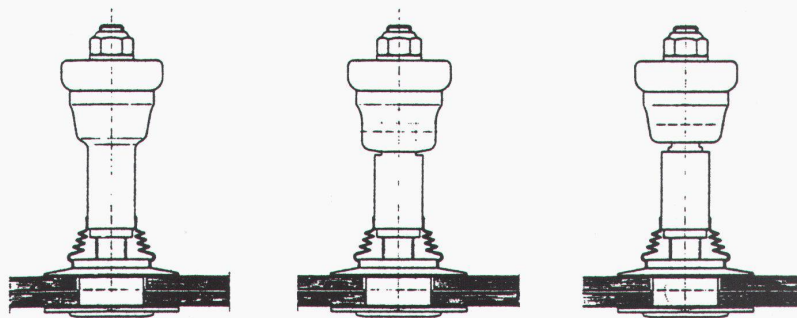
Baubewegungen aufgrund von Temperaturveränderungen

Die Gesamtbaulänge von ungefähr 224 m würde normalerweise bewegliche Gelenke erfordern. Da diese aber optisch auffällig wären und die Klarheit der Bauhierarchie stören würden, suchten wir nach einer Konstruktion ohne derartige Bewegungsgelenke. Die Gitterhülle wird an jedem Verbindungspunkt von dichten Neoprenblöcken gestützt. Diese unterliegen, sobald sich die Konstruktion ausdehnt oder zusammenzieht, einer Schubverformung. Der Grad an Bewegungsfreiheit aufgrund von Sommer- und Wintertemperaturen ergibt ein Stahl-Glas-Differential von ungefähr 120 mm in der Gesamtlänge und 60 mm an jedem Ende.

Berücksichtigt man die Elastizität und die kleine Schwingungsweite der Glasverbindungen, kann diese Bewegung auf die gesamte Länge der Glasummantelung verteilt werden.

Toleranzen

Nach Programm sollte die Verglasung parallel zum Stahlbau vorgefertigt werden. Die Verglasung konnte (wie dies ja selten möglich ist) nicht dem einmal gebauten Stahlgerüst angepasst werden. Die



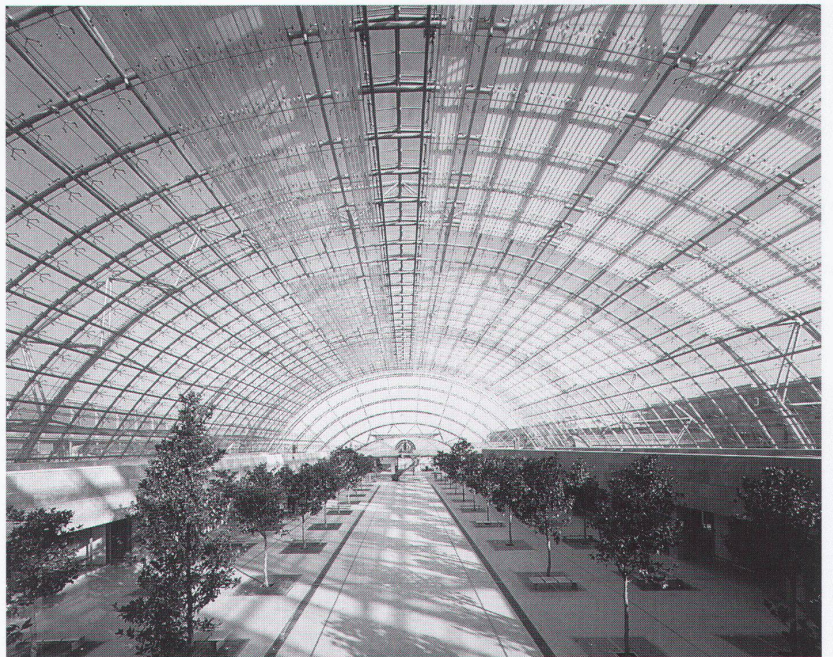
Befestigungsdetail der Schmetterlingsknoten: fest (links), in x-Achse verschiebbar (Mitte), in x- und y-Achse verschiebbar (rechts)

■ Détail de fixation des nœuds cruciformes: fixe (à gauche), mobile sur l'axe x (au milieu), mobile sur les axes x et y (à droite)

■ Detail of the butterfly knot fastening: immovable (left) moveable in the y-axis (centre), and moveable in the y- and x-axes (right)

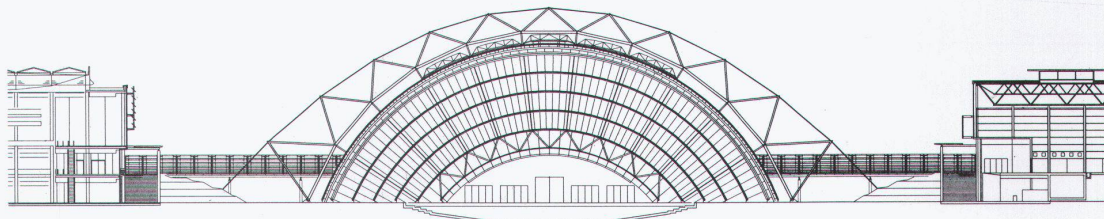
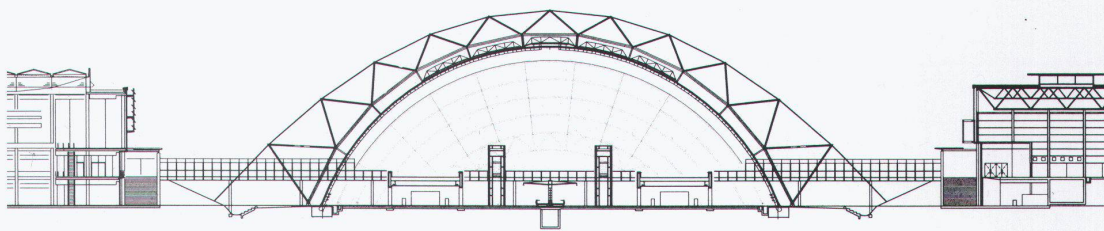
Montagetoleranzen des Stahlgerüsts sind, obwohl mit ± 3 mm relativ klein, dennoch beträchtlich grösser als die der Verglasungselemente.

Die Gestaltung des Übergangs vom Tragskelett zum Glas soll 150 Prozent der maximal erlaubten Abweichungen absorbieren können. Dies wird in drei Etappen erreicht: die Gussstützen werden mit werkstattgeschweissten Rohrstützen an die Stahlrasterhülle geschraubt. Diese werden an jedem Hülenelement mit Hilfe einer Bohrlehre angebracht, um so alle lokalen Abweichungen bei der Stahlgewerkefertigung noch vor der Anbringung der Stützen zu kompensieren. Die Befestigungsteile der Streben können dank leicht überdimensionierten Löchern (die von uns vorgeschlagenen Schlitzverbindungen wurden von den Bauunternehmern nicht übernommen) in der Ebene der Rasterhülle nur geringe Toleranzen kompensieren. Die hauptsächlichsten Montageteranzen werden durch «Fingerspitzen»-Verbindungen der Verstrebungen erzielt; hier wurden auch ein Schlitz und eine Radialbewegung (mit gezackter Verzahnung) integriert.



Sicherheit – Deckenverglasung

Für die lokalen Baubewilligungsbehörden stellte unser Projekt angesichts der Menge und Höhe der Deckenverglasung von bis zu 28 m über den Köpfen der Besucher und einem Gewicht von ungefähr 200 kg je Paneel eine ungewöhnliche Herausforderung dar. Es kam zu einer Reihe von Diskussionen mit der Prüfbehörde – der Sächsischen Landesstelle



Querschnitte, Kongresszentrum
und Eingangshalle
■ Coupes transversales, centre de
congrès et hall d'entrée
■ Cross-section, convention centre
and entrance hall

Foto: H.-Chr. Schink, Leipzig

für Bautechnik. Obwohl diese über ein begrenztes Wissen in bezug auf Bauverglasungen verfügte, war sie doch angesichts der anberaumten Testverfahren und dem zusätzlich von uns spezifizierten Testprogramm positiv eingestellt.

Baumaterialien: Wahl und Verbindung

Das Stahlgerüst aus Hauptfachwerkträger und Rasterhülle besteht aus silbergrau gestrichenen, feuerverzinkten Rohren. Einige Knotenpunkte des Hauptgerippes bestehen aus Stahlguss, um überall da einen problemlosen Übergang zwischen den einzelnen Elementen zu gewährleisten, wo die Geometrie sonst einen komplexen Fertigungsprozess oder eine abrupte Änderung des Profils erfordern würde. Die Glasstützen bestehen aus Stahlguss und sind gleich gestrichen wie das Tragskelett.

Die Glasanschlussstücke bestehen aus bearbeitetem Edelstahl und sind von den chromhaltigen Kohlenstoff-Stahlgussverstrebungen elektrolytisch getrennt.

Wartung

Jeder Hauptbogen verfügt über einen Zugangsweg, Wasser- und Stromversorgung. Zusätzlich spannt sich ein Set von äusseren, kleinen Portalkranen um die obere Hälfte des Bauwerks, die entlang dem gesamten Gebäude verschiebbar sind.

Die Aussenwand wird von einem an der Universität von Magdeburg entwickelten Roboter gereinigt.

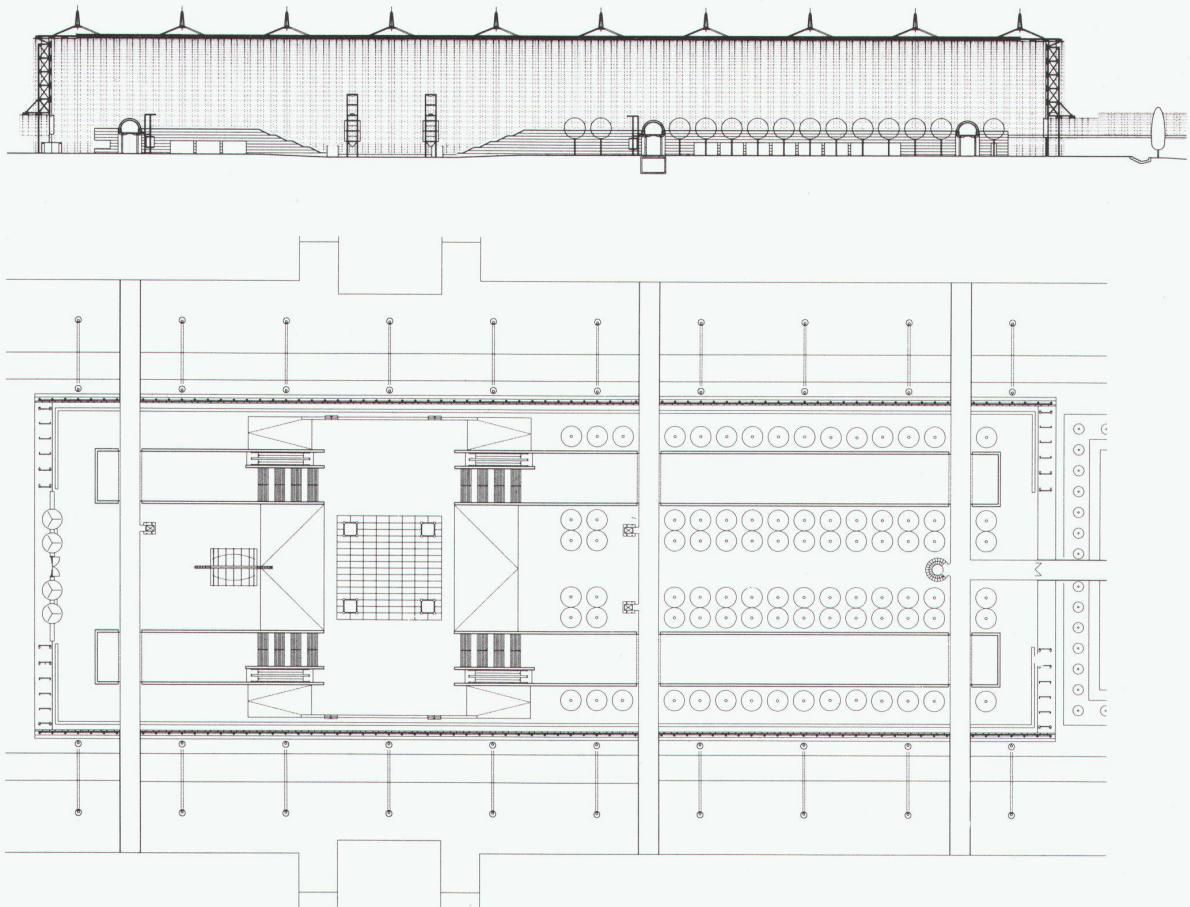
Verglaste Tore von 5 m Breite und 4,5 m Höhe ermöglichen es, bei Bedarf mobile Türme per Fahrzeug ins Innere zu bringen.

Raumklima

Die extreme Transparenz des Gebäudes stellt eine beträchtliche Herausforderung in bezug auf die Begrenzung der maximalen Sommertemperaturen dar.

Es wurde eine temperierte Aussenweltbedingung verlangt. Aus Gründen der Behaglichkeit und um die Besucher im Winter psychologisch vorzubereiten, wird die Halle in bezug auf Details und Materialien

Längsschnitt und Grundriss
 ■ Coupe longitudinale et plan
 ■ Longitudinal section and layout



wie ein Aussenraum behandelt: zum Beispiel mit Steinplattenbelägen und Bäumen. Bodenheizungen werden für eine Mindesttemperatur von 8 bis 10° C sorgen.

Im Sommer bleiben beträchtliche Teile der Glashülle sowohl im unteren Bereich wie am Scheitel offen, um einen hohen Belüftungsgrad und, im Falle eines Brandes, einen genügend grossen Rauchabzug zu gewährleisten. Örtliche Sonnenschutzrichtungen mildern die Temperatur in den benutzten Bereichen. Die Glashülle wird zudem aussen mit einem Bewässerungssystem versehen, das gereinigtes Regenwasser verwendet. Dies wird nicht nur der Reinigung Vorschub leisten (die von Robotern erledigt wird), sondern auch die Glasfläche durch Verdunstung kühlen helfen und so die durchschnittliche Einstrahltemperatur reduzieren. Kaltes Wasser in den im Boden verlegten Heizschlangen kann im Sommer zusätzlich angenehm kühlen.

Computersimulationen liessen ein sehr geringes Risiko von Kondensationsbildung im Frühjahr und im Herbst über ungefähr zwei Drittel der Höhe im Innern des Glasgewölbes erkennen. Aufgrund des Hallenvolumens von ungefähr 350 000 m³ nahmen wir allerdings an, dass das Risiko einer Bildung grösserer Kondensatmengen vergleichsmässig gering und zudem höchst unwahrscheinlich sei.

Beleuchtung

Für den Innenraum sollte nachts ein von der Bodenebene ausgehendes sanftes Licht erzielt werden. Im oberen Teil geht die einzige Beleuchtung von vier Türmen aus, die auch zur Anbringung eines Stoffdaches über einem zentralen Bühnenraum dienen. Die Geländer zu den Brücken und zum Zwischenstock in der Glashalle enthalten eine ununterbrochene Reihe von Beleuchtungskörpern.

Aussen können die Hauptfachwerkträger von den Trägerenden an der Stelle ihrer Verbindung zur Rasterhülle beleuchtet werden, um die Wirkung der Fachwerkträger als schwebende Messerschneiden zu erhöhen.

Akustik

Da die aussergewöhnliche natürliche Akustik der Halle dominant ist, wird das Echo der Halle durch tief angebrachte Richtungs-lautsprecher im Erdge-

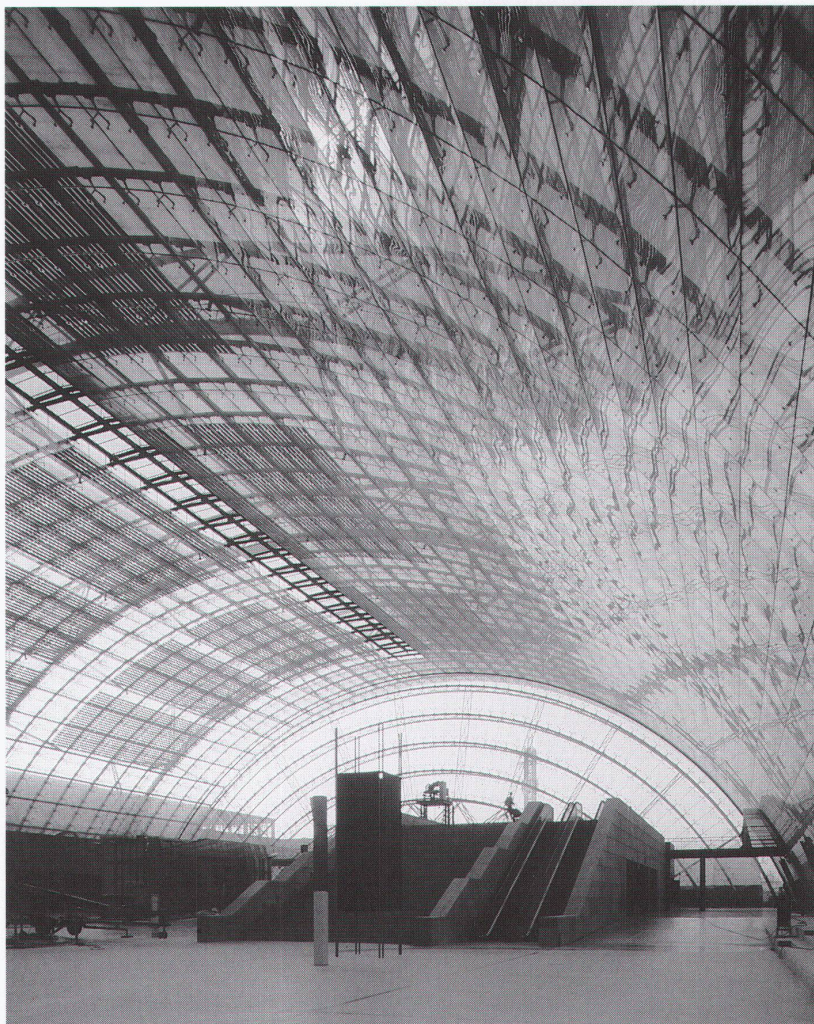
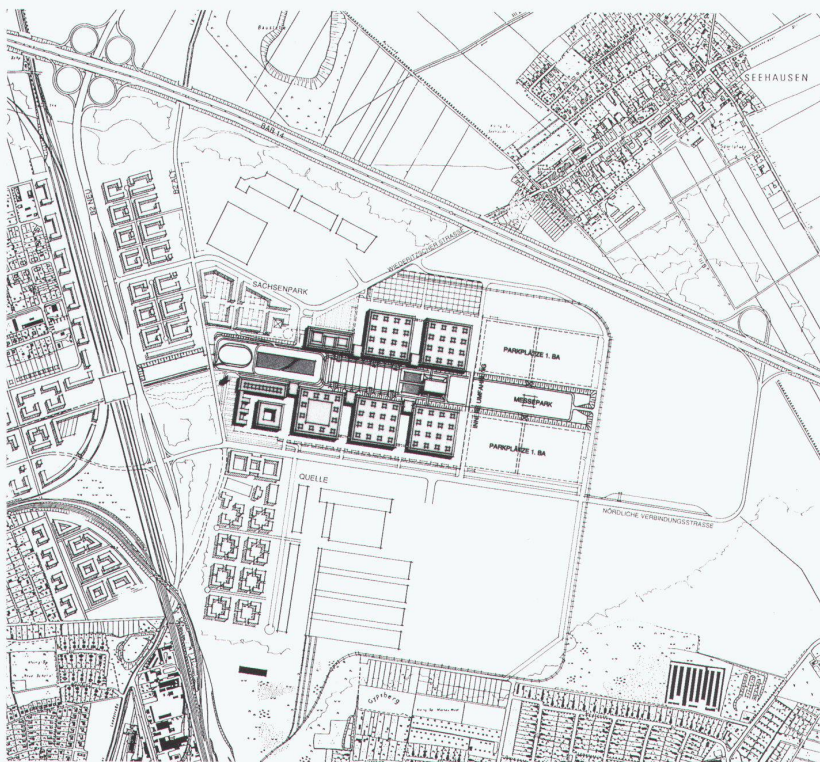


Foto: Klaus Frahm, Hamburg



Situation, Gesamtüberbauung
 ■ Situation de l'ensemble
 ■ Site, view of the whole development

schoss und den Zwischengesossen überwunden. Die Lautsprecher befinden sich auf den Glasbrücken und Zwischengesossen auf Ohrenhöhe. Diese natürliche Akustik findet bei besonderen Anlässen Verwendung: etwa als Kurt Masur, der Dirigent des Leipziger Gewandhaus-Orchesters, und Udo Zimmermann, der Leiter der Leipziger Oper, im April zur Eröffnung ein grosses Konzert veranstalteten. Zudem kann die Hallenakustik durch das oben erwähnte Stoffdach lokal gedämpft werden.

Belüftungslamellen

In der Haupthalle sind die tief angebrachten Belüftungslamellen installiert. Diese Lamellen werden mit Hilfe eines Motors gedreht, der an einer Getriebestange und einem Drehrohr befestigt ist, an

welchem die Glaspaneele angebracht sind. Eine lange und flexible Fensterdichtung (an den sich öffnenden Kanten) verhindert, dass man sich an den Glaskanten die Finger einklemmt. Starke Ventilation wird durch eine «Flügel-Öffnung» der Glaspaneele erzielt. Das Lüftungssystem ist computergesteuert.

Notausgänge

Die 25 m grossen Zwischenräume der Glashalle enthalten an jeder Seite einen 3 m breiten, geneigten Gleitbogen-Notausgang. Diese Notausgänge werden durch elektromagnetisch aktivierte Fallriegel geschlossen gehalten. Bei Alarm (oder Stromausfall) öffnen sich die Riegel, und die Türen gleiten durch die einwirkende Schwerkraft von Gegengewichten auf.

Eingangstüren

Der mittlere Teil jeder Seitenwand besteht aus massiven Stahlplatten. Die grossen Eingangsdrehüren sind beinahe ganz verglast, so dass die Öffnungen auf dieser Ebene wie kristalline Einfügungen wirken. Nachts verstärkt die Beleuchtung diesen Eindruck noch zusätzlich.

Das gläserne Einfahrtstor für Lastwagen ist Teil der westlichen Seitenwand.

Drainage

Um die ganze äussere Begrenzung der Glashalle liegen mit einem verzinkten Gitterboden bedeckte Wasserabflussrinnen. Dieser Gitterboden wird im Innern weitergeführt und deckt hier die entlang den zwei Seiten verlaufenden Heizschlangen.

Glasbrücken

Sechs rohrförmige Glasbrücken verbinden die Glashalle mit den Ausstellungshallen und dem Konferenzzentrum. Sie sind ungefähr 35 m lang und weisen einen Durchmesser von 6 m auf. Eine grössere, siebente Brücke stellt die Verbindung zum Pavillon des Nebeneingangs im Osten her.

Dieses Bauwerk besteht aus gebogenen U-Stahlelementen auf I-Trägern. Sie werden von gebogenen, einschichtigen Paneelen von 12 mm aus gehärtetem Glas umschlossen, die sich im Sommer zur Lüftung auf jeder Seite öffnen lassen. Die Öffnung wird durch lange Drehrohre bewältigt, auf denen Glasstützen in

lasergeschnittenem Edelstahl befestigt sind, die sich mit den Rohren drehen. Dieses Sicherheitsglas wurde von den Behörden nicht genehmigt; deshalb wurde ein Edelstahlnetz als Schutzschirm integriert.

Am Eingang zu den Ausstellungshallen wurden Doppelglas-Rauchschutztüren installiert.

Zusammenarbeit

Im Frühjahr 1993 präsentierte unser Team den schematischen Entwurf formell dem Kunden. Sie erkannten, dass der neue Entwurf wirtschaftlicher war als der alte, obwohl das Konzept der Glasummantelung recht gewagt schien. Die grösste Sorge waren die erforderliche Zeit und die Baugenehmigungen und das damit verbundene hohe Projektrisiko.

Wir mussten vor der Baubewilligung Testprogramme in Auftrag geben, um die Wind-, Lüftungs- und Brandeinflüsse sowie die Leistung der vorgeschlagenen Glasbefestigungen prüfen zu lassen.

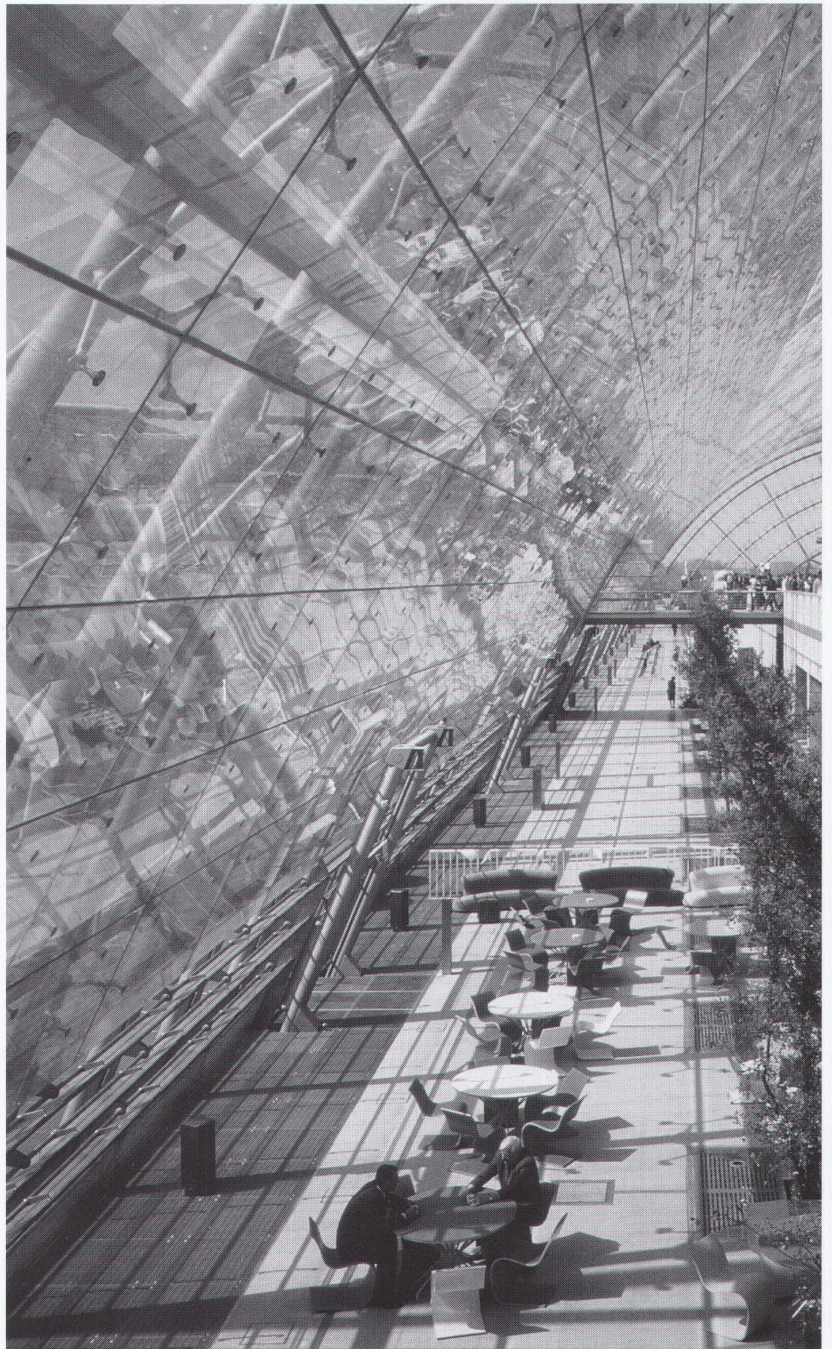
Bei Baubeginn waren einige ausschlaggebende Entwurfsprobleme nicht gelöst, unter anderem:

- die von uns spezifizierten Glastests,
- die statische Unabhängigkeit der Stirnwandkonstruktion,
- eine detaillierte Vergrößerung des Gesamtbaus
- und die Grösse der Hauptbogenteile.

Zudem hatten die Bauunternehmer in ihren detaillierten Offerten Entwurfsabänderungen – zum Beispiel die Silikonverbindung zwischen den Glaspaneelen – gefordert, um aus wirtschaftlichen Erwägungen diese Verbindungsgelenke ausserhalb des Gebäudes zu montieren.

Glastests

Tests zeigten auf, dass das plötzliche Nachlassen der hohen Vorspannenergie in der gehärteten Aussenhülle das hitzegehärtete Glaspaneel zerbersten liess. Dies bestätigte unsere frühere Annahme, dass hier sowohl für die Innen- wie die Aussenhülle gehärtetes Glas verwendet werden musste, was wirksam verhinderte, dass der Bruch der einen Glasplatte den der anderen zur Folge haben würde. Eine detaillierte statistische Analyse des Risikos eines gleichzeitigen Versagens sowohl des inneren wie des gehärteten und hitzevergüteten Aussenglases zeigte, dass die Wahrscheinlichkeit, ein Paneel zu verlieren, verschwindend gering war. *I.R.*



Ian Ritchie war langjähriger Mitarbeiter von Peter Rice (im Büro Arup) und hat heute ein eigenes Büro in London. Für die Projektentwicklung der Leipziger Halle wurde Ian Ritchie vom Architekten als Spezialist beigezogen. Architekten: Von Gerkan und Partner, Hamburg

Foto: Jochen Helle, Dortmund