Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 93 (1975)

Heft: 20

Artikel: Das Hochhaus der Bayerischen Motorenwerke in München: Entwurf, Konstruktion und Ausführung

Autor: Bomhard, Helmut

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-72750

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 19.02.2026

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

Es galt, in diesen Jahren ein grosses Arbeitspensum zu bewältigen. Koordination mit Bauherrschaften und beauftragten Architekten und Ingenieuren, Verhandlungen mit Behörden, Instanzen und Unternehmern, Beeinflussung und Steuerung von Projektierungen und Bausausführungen erforderten von Baukreisdirektor Fritz Fröhlin ein hohes Mass an Einsatz und Können. Seine fachliche Tüchtigkeit, ein gewinnendes Wesen und absolute Korrektheit prägten seine Beziehungen mit all denen, die mit ihm zu tun hatten. Als Nachfolger wurde sein bisheriger Stellvertreter, Architekt *Heinz Schaerer* gewählt.

J.-W. Huber, Direktor der Eidg. Bauten, Bern

Das Hochhaus der Bayerischen Motorenwerke in München

Entwurf, Konstruktion und Ausführung

Von **Helmut Bomhard**, München[1])

DK 725.23

1. Einführung

Die neuen Gebäude der Bayerischen Motorenwerke für ihre Hauptverwaltung in München haben vor allem durch Form und Bautechnik des Hochhauses besondere Aufmerksamkeit erregt (Bild 1). Sie sind beispielhaft durch ihre sorgfältig abgestimmte Gesamtplanung, die das mögliche Wechselspiel von Form und Funktion, Konstruktion und Ausführung nutzt, um die Bauaufgabe nicht nur wirksam, sondern auch höchst eigenwillig zu lösen: Form ist nicht allein aus der Technik abgeleitet, diese ist darüber hinaus Mittel zur Form.

Drei verschieden geformte Baukörper bilden die Gruppe der neuen Gebäude mit zusammen rd. 320 000 m³ umbautem Raum:

- das turmförmige Hochhaus mit den Verwaltungsräumen in 18 Bürogeschossen,
- ein langgestrecktes Sockelgebäude mit all den Räumen, die nicht in die grosse Form des Verwaltungsturms passen, und
- eine Rotationsschale mit einem Automobil-Museum.

Die gesamte Anlage ist von Professor *Schwanzer*, Wien, als Architekt entworfen worden. Die Dyckerhoff & Widmann AG hat als Ingenieur die Architekturform zum Tragwerk strukturiert und das Bauverfahren für das Hochhaus entwickelt. Eine Arbeitsgemeinschaft der Firmen Dyckerhoff & Widmann AG, Hochtief AG, Philipp Holzmann AG und Siemens-Bauunion GmbH baute als Generalunternehmer schlüsselfertig zu einem festen Preis und in einer festen Zeit. Technisch geschäftsführend war Dyckerhoff & Widmann. Die Bausumme übersteigt 100 Mio DM, die in 26 Monaten umzusetzen waren.

2. Entwurf

Der Entwurf des Tragwerks musste von drei Bedingungen ausgehen, die ihn stark beeinflussen:

- die viermal kreisförmig ausgebuchtete Grundrissform,
- die Trennung der Baumassen von Hochhaus und Sockelgebäude,
- die Gliederung der Baumasse des Hochhauses durch eine Zäsur in Höhe eines Technikgeschosses zwischen den Bürogeschossen.

Für die gewählte Grundrissform sprechen funktionelle und wirtschaftliche Gründe, wie die Gliederung der Bürofläche eines Geschosses in vier Gruppenräume (für jeweils höchstens 30 Personen), kurze Wege (höchstens 25 m bis zum Treppenhaus) und ein günstiges Verhältnis von Verkehrsfläche zu Nutzfläche (1:3) und von Umfang zu Nutzfläche (1:7) oder Fassade zu Nutzfläche (1:1,8). Die beiden anderen Bedingungen sind ästhetischer Natur: architektonische Aussagen, die ganz entscheidend Art und innere Gliederung des Tragwerks bestimmen.

Die Art des Tragwerks folgt aus der Bedingung «Trennung der Baumassen von Hochhaus und Sockelgebäude». Drei unterschiedliche Konstruktionsformen würden diese Bedingung erfüllen (Bild 2), bei allen dreien durchdringt nur der Schaft des Hochhauses das Sockelgebäude.

Gewählt wurde die Konstruktionsform «Hängehaus» (Bild 3). Nicht weil sie als solche wirtschaftlich schon vor-

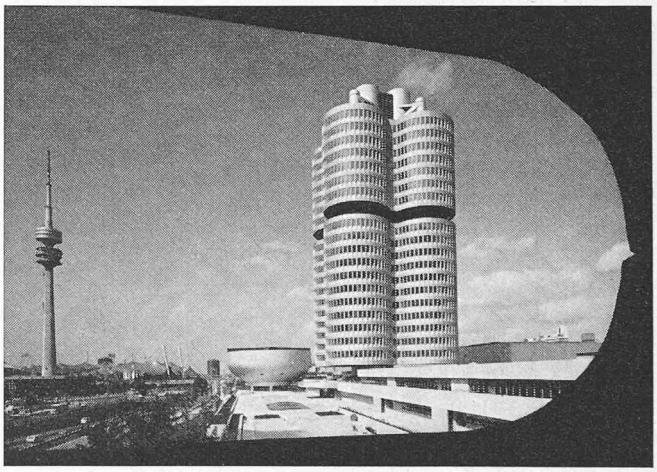


Bild 1. Die Gruppe der neuen Gebäude: BMW-Hochhaus, Sockelgebäude und Museum. Im Hintergrund die Olympiabauten. Eine wärmegedämmte «Vorhangwand» umhüllt und verdeckt als zweischalige hinterlüftete Kaltfassade das Tragwerk des Hochhauses vollständig

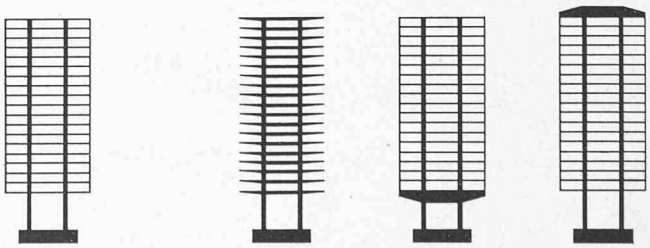


Bild 2. Mögliche Lösungen der Entwurfsaufgabe. Links die Aufgabe, anschliessend die drei Konstruktionsformen:
- die Geschossdecken kragen jede für sich aus dem Schaft des Hauses aus
- die Geschosse «stehen» auf einem untern Konsolengeschoss (Kelchhaus)
- die Geschosse «hängen» an einem oberen Konsolengeschoss (Hängehaus)

[1]) Gekürzte Fassung des für die am 21.Oktober 1972 durchgeführten SIA-Studientagung über «Entwurf und Ausführung von Tragwerken, Erfahrungen, Forschungen» in Zürich vorgesehenen Vortrages, den der Verfasser leider aus Gesundheitsgründen absagen musste.

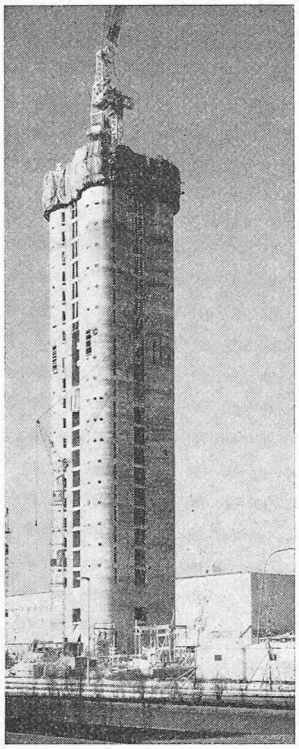


Bild 5. Die Kernzone während des Gleitbaus. Das Bild zeigt die «Verdübelung» der Kernviertel durch die Verbindungsriegel in der Aussenwand

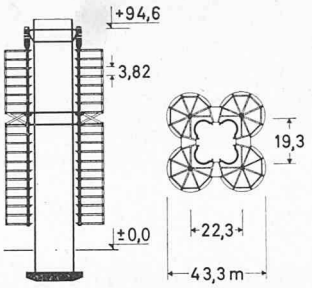


Bild 3. Das Konstruktionssystem des Hauses

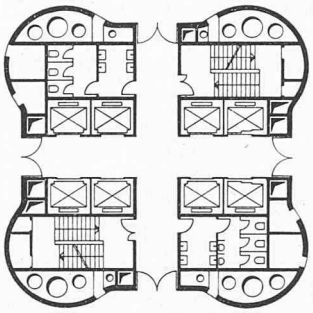


Bild 4. Nutzung der Kernzone. Die Aussenwände des Kerns sind 35 cm, die Innenwände 20 cm dick. Die Kernzone ist 19,3 m breit

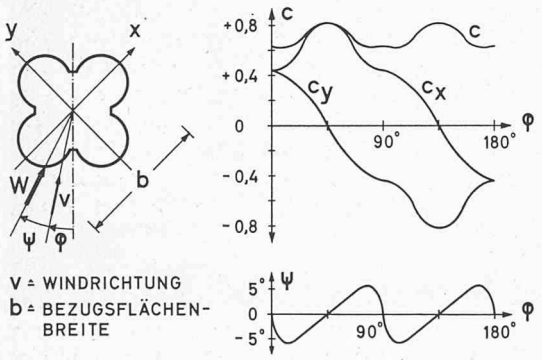


Bild 6. Beiwerte c und Winkelabweichungen ψ der Windkraftresultierenden W

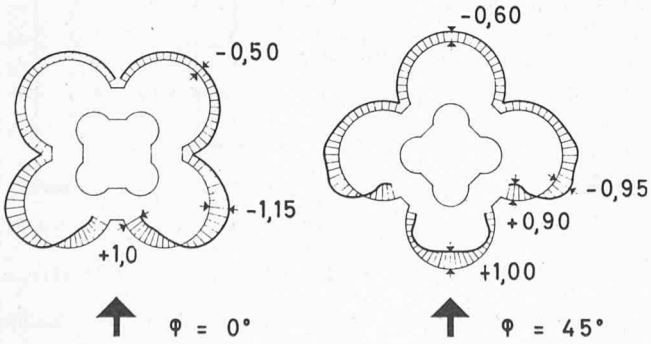


Bild 7. Beiwerte c des Windlastverlaufs am Baukörperumfang auf Kote +60,0 für die Windrichtungen $\varphi = 0°$ und $\varphi = 45°$

teilhaft wäre, sondern weil sich die charakteristische Eigenschaft des «Hängens» mit einem neuartigen Bauverfahren für die Ausführung vorteilhaft nutzen lässt. Das Hängehaus wird erst zusammen mit dem ihm gemässen Bauverfahren, das Rohbau und Ausbau gleichermassen umfassen muss, zur wirtschaftlichen Lösung der Bauaufgabe.

Die Bedingungen «Zäsur» und «Grundrissform» bestimmen die innere Gliederung des Hängekörpers, seine Struktur. Sie lässt sich ebenso vollständig wie folgerichtig aus ihnen entwickeln, wenn das Technikgeschoss als Fachwerksystem gestaltet und als wesentliches Element in das Tragwerk einbezogen wird. Die Diagonalen des Fachwerks bilden die gewünschte Zäsur. Mit dem Fachwerk gelingt es, die gesamte Hängekörperlast in nur vier Stützen in den Mittelpunkten der vier Grundrisskreise zusammenzufassen und den Hängekörper allein an diesen vier Stellen aufzuhängen. Randstützen und Bürogeschossdecken ergänzen Technikgeschoss und Zentralstützen zum tragenden Skelett des Hängekörpers.

Die mit dem Tragwerkentwurf erreichte Einheit von Architekturform und Konstruktionsform bleibt dem Beschauer weitgehend verborgen, weil die wärmegedämmte «Vorhangwand» der Fassade das Hängekörperskelett vollständig verdeckt (vgl. Bild 1).

3. Tragwerk

Das Fachwerk des Technikgeschosses zentriert als Stützsystem der Randstützen deren lotrechte Lasten auf die Zentralstützen. Die gesamte Hängekörperlast schliesslich wird durch Zugkräfte in den vier Zentralstützen nach oben zum Gebäudekopf geführt. Dort übernimmt ein weiteres Fachwerksystem, das Fachwerk des Konsolkreuzes, die Zentralstützenkräfte und leitet sie in den Schaft des Hauses ein. In diesem laufen die Kräfte nun als Druck wieder nach unten zum Fundament.

Der Schaft ist das Stützsystem des Hängekörpers. Er ist statisch gesehen ein im Fundament eingespannter, dreidimensional gegliederter senkrechter Träger.

Der Hängekörper ist für den Schaft nichts anderes als totes Gewicht, das sich an der Lastabtragung nicht beteiligt. Er soll deshalb in seiner Konstruktion und in seinem raumbildenden Ausbau so leicht wie möglich sein. Entworfen ist der Schaft als Versorgungs- und Verkehrsröhre des Hauses, als dessen Kernzone (Bild 4). Die Stützfunktion muss diese Kernzone gleichsam nebenbei noch zusätzlich übernehmen. Sie öffnet sich an vier Seiten zu den Bürogeschossen; sie ist demzufolge selbst vierteilig und enthält die Verkehrswege, Aufzüge und Treppen (52 % der Gesamtfläche), die lotrechten Versorgungssysteme (19 %), die Nassräume (10 %) und Abstellräume (3 %). Die Wände beanspruchen 16 % der Fläche. Für die Stützfunktion sind die Kernviertel vor allem durch Riegel ausreichend kraftschlüssig zu einer gegliederten Röhre zu verbinden (Bild 5), bei sehr hohen Hängehäusern im Grenzfall zu einem perforierten Hohlkasten.

4. Windlasten

Für die Bemessung der Kernzone als Stützsystem wurden Grösse, Richtung und Angriffspunkt der Windkraftresultierenden, für die Bemessung der Fassade die örtlichen Drücke durch Windkanalversuche bestimmt, die die Aerodynamische Untersuchungsstelle für bauliche Anlagen, München, durchführte. Die Versuche haben die strömungstechnisch vorteilhafte Form des Baukörpers bestätigt. 100 m hohe Häuser erfordern zwar noch nicht unbedingt eine aerodynamisch günstige Form, doch wird eine solche bei grösseren Höhen immer wichtiger.

Die Windkraftresultierende (Bild 6) ist verglichen mit scharfkantigen Baukörperformen um 1/3 kleiner (Beiwert

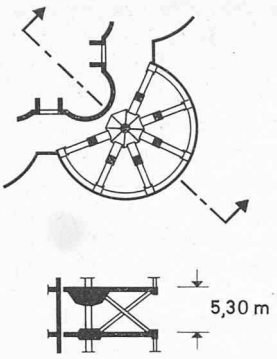


Bild 8. Technikgeschoss. Konstruktionsschema

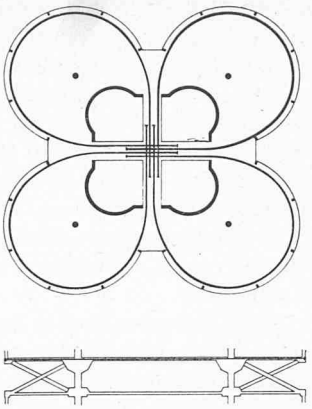


Bild 9. Technikgeschoss. Spannbewehrungsschema der Zugdecke

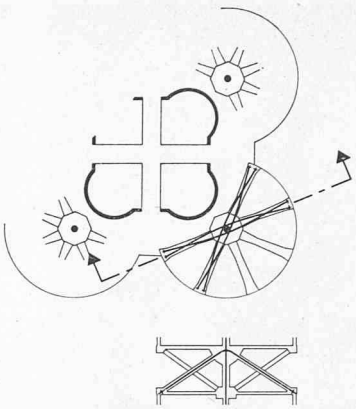


Bild 10. Technikgeschoss. Spannbewehrungsschema der Zugdiagonalen eines Grundrisskreises, die ein «Gegenüber» haben

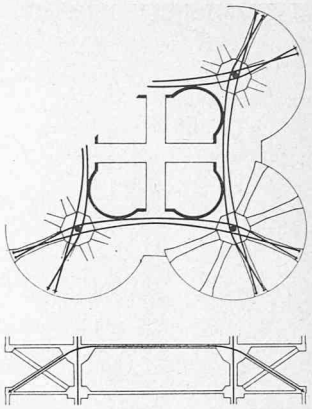


Bild 11. Technikgeschoss. Spannbewehrungsschema der Zugdiagonalen eines Grundrisskreises, die kein «Gegenüber» haben

$c = 0{,}8$ statt 1,2) und zeigt beträchtlich weniger Abweichung von der Windrichtung (max $\Psi = 6°$ bei $\varphi = 15°$). Auch die Momente um die Hochachse des Baukörpers sind vernachlässigbar klein, weil die stumpfe Form die Resultierende zentriert. Das ist bei einem scharfkantigen Haus ganz anders; dort können erhebliche Momente um die Hochachse auftreten (z. B. [2]).

Für die Fassade (Bild 7) sind die örtlichen Extremwerte $c = +1{,}0$ im Überdruckberg und $c = -1{,}3$ an der Abrissstelle der Strömung massgebend. $c = -1{,}3$ lässt auf eine beachtliche Oberflächenrauhigkeit des Baukörpers aus den nach aussen geneigten zurückgesetzten Fenstern (vgl. Bild 1) schliessen. Bei einem aerodynamisch glatten Kreiszylinder wäre $c = -2{,}5$ zu erwarten, also eine doppelt so hohe Sogbelastung.

Im gesamten Untersuchungsbereich war die Grenzschichtströmung am Modell, wie später auch am Bauwerk, turbulent; die Widerstandsbeiwerte erwiesen sich als unabhängig von der Reynolds-Zahl. Obwohl gleiche *Re*-Zahl, also mechanische Ähnlichkeit bei Versuch ($2{,}3 \cdot 10^5 \leqq Re \leqq 5{,}7 \cdot 10^5$) und Wirklichkeit ($Re \simeq 10^8$) nicht erreichbar ist, sind damit wohl die notwendigen Bedingungen für eine direkte Übertragbarkeit der Messergebnisse auf das Bauwerk erfüllt.

Die höchsten im betrachteten Gebiet mit selbstschreibenden Schalenkreuz-Anemometern in 10 m Höhe gemessenen Windgeschwindigkeiten liegen nach Angaben des Deutschen Wetterdienstes bei 30 bis 35 m/s. Das entspricht ungefähr der nach DIN 1055, Blatt 4, von 8 bis 20 m Höhe vorgeschriebenen Geschwindigkeit von 35,8 m/s. Für das Tragwerk konnten deshalb die Bemessungsgeschwindigkeiten der DIN angesetzt werden. Dies ist ausreichend einmal wegen der Laufdauer der Umströmung oder der Mittelwertbildungszeit, zum anderen wegen der begrenzten Korrelation der Spitzengeschwindigkeiten an verschiedenen Bauwerkpunkten. Spitzenböen mit sehr kleinen Entfaltungszeiten vermag ein grosses Bauwerk nicht mehr zu folgen. Die Stossenergie der Bö wird von ihm aufgezehrt. Für die Fassade muss die Bemessungsgeschwindigkeit grösser als beim Tragwerk sein, weil die örtlichen Druckschwankungen aus periodischer Wirbelablösung in den gemessenen Mittelwerten nicht zum Ausdruck kommen und zusätzlich die Mittelwertbildungszeit kleiner anzusetzen ist. Die Fassade wurde deshalb mit dem 1,5fachen DIN-Staudruck bemessen; das entspricht der $\sqrt{1{,}5}$fachen DIN-Geschwindigkeit.

Die Anströmung des Modells im Windkanal war in sehr guter Näherung homogen und stationär. Die atmosphärische Windströmung wird dadurch als determinierter Vorgang idealisiert. Das entspricht zwar unserer heute noch üblichen deterministischen Betrachtungsweise, doch nicht der Wirklichkeit. Der natürliche Wind strömt ein Bauwerk, unterschiedlicher bodennaher Störungen wegen, stets turbulent an. Der Strömungsvorgang ist demnach keine deterministische, sondern eine stochastische Grösse. Aber auch dann bleibt offensichtlich das günstige Widerstandsverhalten stumpfer Baukörper erhalten. Dies zeigen einige jüngere im Grenzschichtwindkanal und nicht in herkömmlichen luftfahrttechnischen Kanälen gewonnene Forschungsergebnisse [3].

5. Konstruktive Einzelheiten

Das Fachwerksystem des Technikgeschosses ist, der Grundrissform gemäss, eine Addition von vier räumlichen Konsolfachwerken, von denen jedes einer Zentralstütze zugeordnet ist (Bild 8). Die Diagonalenkreuze in jedem Grundrisskreis sind radial zur Zentralstütze hin gerichtet. Das Schema der Spannbewehrung enthalten die Bilder 9 bis 11.

Die vier zentralen Hängestützen sind der hohen Zugkräfte wegen vorgespannt, und zwar beschränkt vorgespannt (Bild 12). Ihr Durchmesser ist technologisch durch die Anzahl der Spannstäbe bedingt. Ein Kunstgriff vor allem, das Bündeln einer grösseren Zahl von Spannstäben in einem zentralen Spannkanal, hilft Durchmesser sparen. Dazu trägt

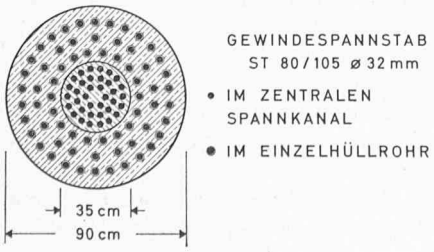
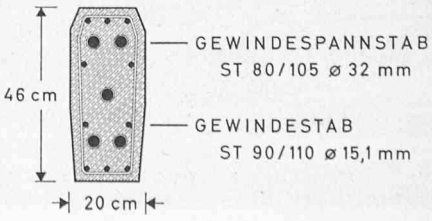


Bild 12. Zentrale Hängestütze, Querschnitt oberhalb des Technikgeschosses. Bewehrung aus Gewindestäben St 80/105: 36 ∅ 32 mm im zentralen Spannkanal, 70 ∅ 32 mm in Einzelhüllrohren und 24 ∅ 26,5 mm schlaff (nicht dargestellt) als Grösstwert

Rechts:
Bild 13. Randstütze, Querschnitt. Eingezeichnet ist die grösste Bewehrung bei Zugbeanspruchung



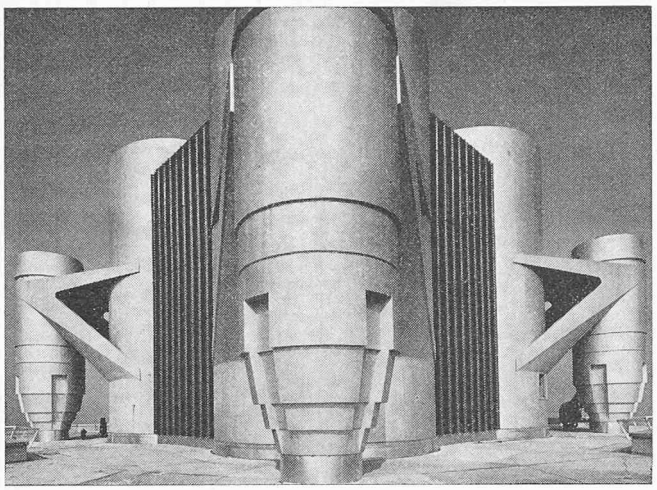


Bild 14. Konsolkreuz mit den Köpfen der zentralen Hängestützen. Die leicht konische Platte auf jeder Stütze ist die für das Bauverfahren benutzte Hubplatte

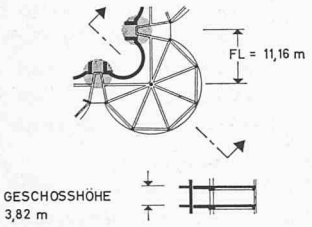
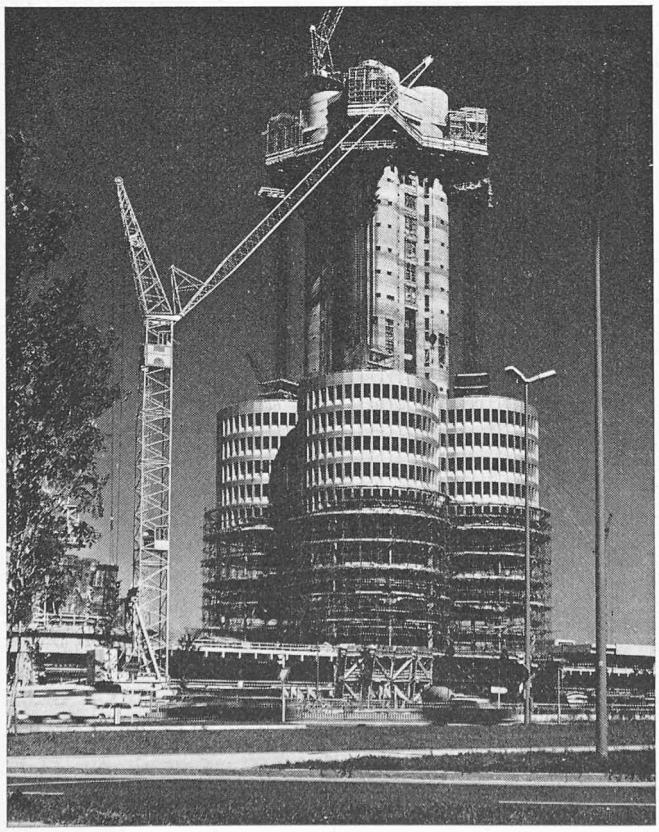


Bild 15. Bürogeschossdecken, Konstruktionsschema

Bild 16. Bau- und Hubzustand des Hängekörpers mit der am Boden ortsfesten Baustelle



auch bei, dass ein Teil der Spannstäbe nicht vorgespannt, sondern schlaff eingebaut ist. Nur vom Technikgeschoss an aufwärts müssen die Stützen den Spannkanal erhalten und 90 cm dick sein, unterhalb genügen 70 cm. Solch kleine Abmessungen sind bei Beton nur mit hochbewehrten, vorgespannten Zugstützen möglich. Die auf den Betonquerschnitt bezogene grösste zentrische Lastspannung erreicht 860 kp/cm². Druckstützen müssten schon ohne Knickgefahr unter sonst gleichen Umständen etwa fünfmal so viel Querschnittsfläche haben oder mehr als zweimal so dick sein, wenn man sie nicht umschnürt.

Die Bürogeschossdecken sind Plattenbalkendecken, damit das tote Gewicht des Hängekörpers klein bleibt (Bild 15). Das radiale und tangentiale Rippensystem verbindet die einzelnen Stützpunkte. Diese sind an den Zentralstützen biegesteif, an den Randstützen und am Kern dagegen dreh- und verschiebbar durch bewehrte Neoprenelager. Der Verformungsunterschiede von Hängekörper und Kern wegen lagern die Decken nur am Gangkreuz der Kernzone auf. Das sind die in Bild 15 dunkel hinterlegten Stellen. Im übrigen Bereich besteht zwischen Decke und Kern eine Fuge. Die zum Ausgleich der Verformungsunterschiede verfügbare Federlänge *FL* der Decken wird dadurch so gross wie irgend möglich. Die Geschosshöhe von 3,82 m ergibt sich aus: 2,5 cm Estrich und Teppich, 11 cm Deckenplatte, 69 cm Installationsraum, 3,5 cm Toleranz, 6 cm Unterdecke und 290 cm Raumhöhe. Der 69 cm hohe Installationsraum ist auf 40 cm vollständig frei, auf 29 cm nur zwischen den Deckenrippen. Das genügt, denn im 40-cm-Bereich sind alle Ringleitungen geführt, im 29-cm-Bereich quer dazu alle Stichleitungen, die die Ringleitungen kreuzen müssen. Das gesamte Leitungspaket ist höchstens 66 cm hoch. Die Zahlen zeigen, dass beispielsweise Flachdecken nicht nur schwerer wären, sondern auch eine grössere Geschosshöhe erfordert hätten.

Die Randstützen haben gleichen Querschnitt. Sie sind, dem Kraftfluss entsprechend, oberhalb des Technikgeschosses Druckstützen, unterhalb Zugstützen (Bild 13). Der Fassade wegen sollten sie vor allem schmal sein. Als Zugstützen sind sie beschränkt vorgespannt und erreichen – auf den Betonquerschnitt bezogen – 260 kp/cm² zentrische Lastspannung. Als Druckstützen sind sie bei 150 kp/cm² nach sieben Geschossen ausgenutzt; das ist die über dem Technikgeschoss vorhandene Geschosszahl.

Das Fachwerksystem des Konsolkreuzes mit den Zentralstützenköpfen, die von ihm gefasst und gehalten werden, ist über dem Dach des Hängekörpers sichtbar (Bilder 14, 17, 18). Die leicht konische Platte auf jeder Zentralstütze ist die für das Bauverfahren benutzte Hubplatte (siehe Abschnitt 8).

6. Fassade

Die Fassade dient ausschliesslich dem Raumabschluss; sie ist kein Teil des Tragwerks. Als schützende Aussenhaut umschliesst sie den Hängekörper vollständig; das tragende Skelett ist somit nur dem Raumklima ausgesetzt.

Der konstruktive Aufbau ist der einer hinterlüfteten Kaltfassade (Bild 19). Die äussere wetterfeste und lasttragende Schale bilden Aluminiumelemente, in die die Fensterelemente eingesetzt sind. Die jeweils obere Reihe der Aluminiumelemente überlappt die untere. So entstehen ringsum Luftschlitze für den Luftaustausch. Innen, vor den Aluminiumelementen, stehen Paneelelemente als wärmedämmende, wasserdichte und dampfdichte Innenschale, die mit einer Dichtungsfolie entsprechend an das Tragwerk angeschlossen sind. Thermische Zwischenlager trennen beide Schalen in einen «Kaltbereich» und einen «Warmbereich».

Die geschosshohen, 1,38 m breiten Aluminiumelemente sind räumlich geformt (vgl. Bild 1) und mit allen Veranke-

rungspunkten und Fensteranschlägen in einem Stück nach dem Alcastverfahren gegossen. Dieses Verfahren erlaubt das grossflächige Giessen von Aluminium. Der räumlichen Form wegen genügt eine Plattendicke von 6 bis 7 mm. Die Sichtfläche ist feinkonstruiert und mit Acryllack beschichtet. In einer Aussparung sitzt, von innen aufgeschraubt, das Fensterelement aus einer rahmengefassten Isolierscheibe, aus raumakustischen Gründen 9° nach aussen geneigt. Die äussere Glasscheibe ist zum besseren Schallschutz dicker und wegen des Sonnenschutzes innen goldbeschichtet. 37 % der Fassade sind verglast. Das Verhältnis Fenster zu Nutzfläche ist rd. 1:5, das vom verglasten Umfang zu Nutzfläche 1:19.

Die Gusselemente stehen auf den Geschossdecken. Jedes Element ist nur an einer seiner Ecken gelenkig gehalten, an den drei anderen dagegen gleitend, damit Bewegungen in seiner Ebene möglich sind. Alle Bewegungen senkrecht dazu sind zur Aufnahme der Windkräfte blockiert. Die Durchbiegung des Elements unter grösster rechnerischer Windlast ist seiner räumlichen Form wegen nicht grösser als $^1/_{500}$ der Stützweite (Geschosshöhe).

Die Paneelelemente stehen in einer Rahmenkonstruktion und werden mit Anpressleisten festgehalten. Der Paneelwerkstoff ist nicht brennbar. Zusammen mit einer Sprinklerung aller Geschosse genügt das, um im Brandfall das Überschlagen des Feuers von Geschoss zu Geschoss zu verhindern. Die Fassade ist nur 55 kp/m² schwer.

7. Baustoffe

Das Haus ist nicht von vornherein als Betonbau entworfen worden. Sehr sorgfältig wurde geprüft, ob nicht Stahl wirtschaftlich vorteilhaft wäre, zumindest für bestimmte Bauglieder. Doch Beton war der richtige Baustoff! Für die ausschliesslich druckbeanspruchte Kernzone ist Beton seiner hohen Drucktragfähigkeit wegen vorzüglich geeignet. Eine Betonröhre als Kern erfüllt nicht nur die tragende Funktion, sondern auch die raumabschliessende und brandabschnittbildende. Sie ist ausserdem besonders seitensteif. Bei den Zugstützen zeigen allein schon die Verformungsunterschiede die Überlegenheit von vorgespanntem Beton. Bleiben noch die Geschossdecken. Auch stählerne Deckensysteme brauchen Beton aus Gründen des Schallschutzes und der Brandabschnitte. Meist muss die Betonplatte 10 cm dick sein (F 90). Damit lässt sich aber kaum Gewicht sparen, so dass jeder Anreiz für ein stählernes Deckensystem fehlt.

Dies zusammen mit der gewichtsparenden Zugbeanspruchung der Stützen und der nur 55 kp/m² schweren Fassade ergibt das sehr feingliedrige und leichte Hängekörperskelett, dessen Teile alle eine Feuerwiderstandsdauer von wenigstens 90 Minuten besitzen. Im gesamten Hängekörper macht die Nutzlast rd. 44 % der Gesamtlast aus.

Mit ein Beweis dafür, dass es gelang, auch die wirtschaftliche Seite der Bauaufgabe gut zu lösen, ist der geringe Baustoffverbrauch. Für das gesamte Bauwerk: 9,7 cm Beton, 15,0 kg Betonstahl III und 3,7 kg Spannstahl St 80/105 für 1 m³ von insgesamt 126 800 m³ umbauten Raum; für den Hängekörper allein: 5,5 cm Beton, 9,1 kg Betonstahl III und 2,5 kg Spannstahl je m³ von 90 800 m³ umbauten Raum.

8. Bauverfahren

Es genügt nicht, das Bauverfahren nur auf das Tragwerk oder den Rohbau auszurichten, weil der oft weitaus grössere Teil der Kosten eines Hochhauses heute im technischen und raumbildenden Ausbau steckt. Bauverfahren, Tragwerk und Ausbau müssen daher sorgfältig aufeinander

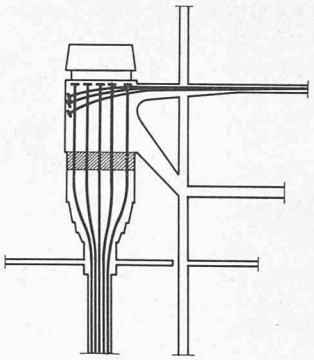


Bild 17. Konstruktionsschema einer der Knotenverbindungen von Konsolkreuz und zentraler Hängestütze

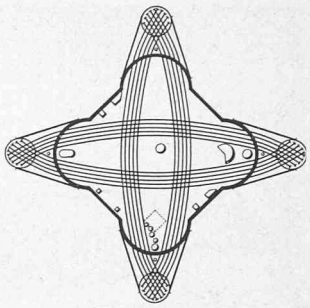


Bild 18. Konsolkreuz, Spannbewehrungsschema der Zugdecke

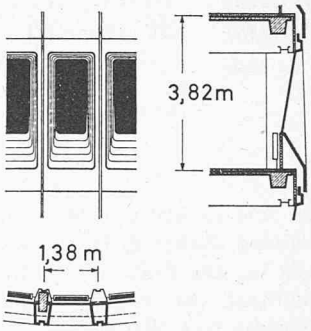


Bild 19. Schema des konstruktiven Aufbaus der hinterlüfteten Kaltfassade. Das Aluminium-U-Profil der Seitenbefestigung ist zugleich Führungsschiene für die Fassadenreinigungsgondel

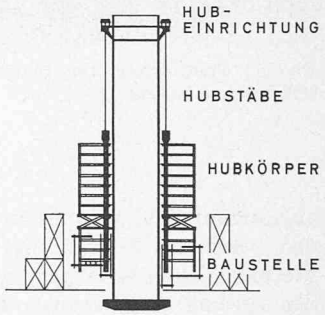


Bild 20. Das Bauverfahren: ziehendes Heben des geschossweise wachsenden und ausgebauten Hängekörpers. Grösste Hubmasse 13 500 t

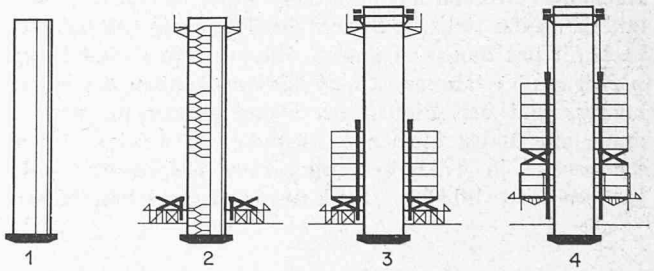


Bild 21. Schema des gesamten Bauablaufs

2½ Monate nach Baubeginn waren das Fundament und die Kellergeschosse fertig; die Gleitschalung für die Kernröhre war aufgebaut.

4 Monate nach Beginn war das Gleiten der 100 m hohen Röhren mit allen Aussparungen und Verbindungen abgeschlossen (Phase 1 des Bildes). Die tägliche Gleitleistung betrug 3 m (Siemcrete-Verfahren).

Noch während des Gleitens setzte in der Röhre der Decken- und Treppenbau an zwei Stellen zugleich ein. Am Boden konnten die Arbeiten am Technikgeschoss beginnen, nachdem am Kopf ein Schutzgerüst für das Konsolkreuz angebracht war (Phase 2).

11 Monate nach Beginn waren am Kopf das Konsolkreuz und am Boden das Technikgeschoss mit den sieben Bürogeschossen darüber gebaut (Phase 3).

Nun konnte mit dem Heben begonnen werden. Hubkörper war zunächst das Technikgeschoss mit den sieben Geschossen. Phase 4 zeigt eine der bereits besprochenen Hubstufen.

15½ Monate nach Baubeginn war der Hängekörper fertig und erreichte kurz darauf seine Endlage.

Bereits im 5. Baumonat konnte mit den Ausbauarbeiten begonnen werden, zunächst in der Kernröhre.

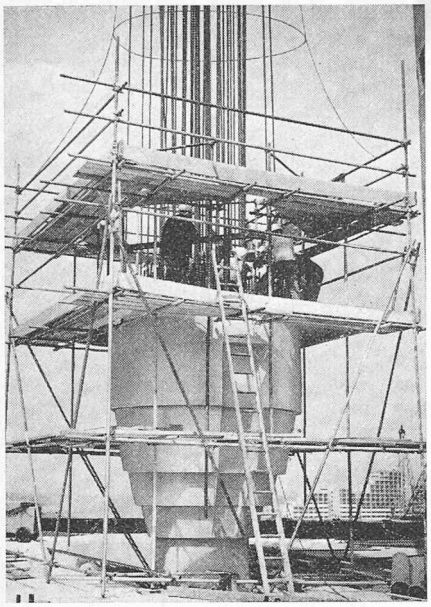


Bild 22. Hubvorgang: Das Bündel der Hubstäbe einer Hubstelle

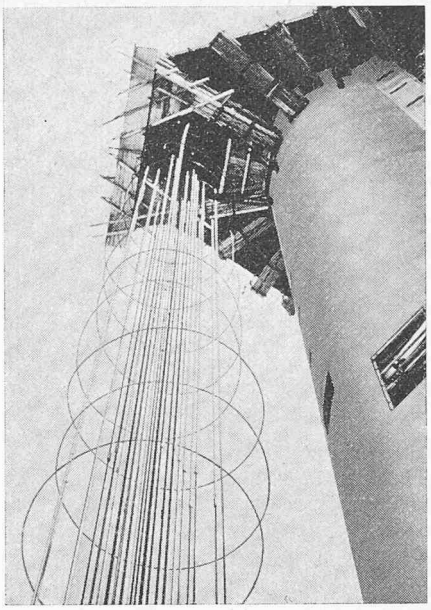


Bild 23. Hubvorgang: Eine der vier Hubstellen am Konsolkreuz mit den einmündenden Hubstäben

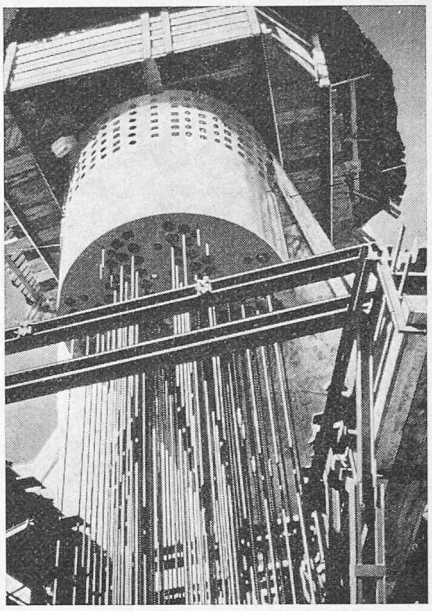


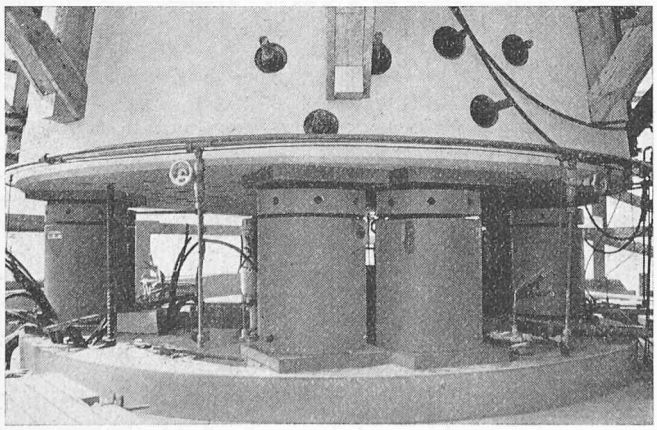
Bild 24. Hubvorgang: Blick unter die Hubplatte

abgestimmt sein; sie müssen als eine Einheit gesehen werden, bereits bei Entwurf und Planung. Rationalisierung und Mechanisierung verlangen sowohl für den Rohbau als auch den Ausbau einen stetigen Bauablauf, der in Arbeitstakte gegliedert und weitgehend unabhängig vom Wetter ist.

Die Dyckerhoff & Widmann AG hat bei ihren Grosshallenbauten der letzten Jahre ein einfaches Verfahren zum ziehenden hydraulischen Heben von Grossfertigteilen entwickelt und erprobt. Als Hubstäbe dienen Dywidag-Gewindespannstäbe. Das Verfahren hat sich bei den Hallenbauten und inzwischen auch bei anderen Bauwerken bewährt.

Es lag daher der Gedanke nahe, den Hängekörper des Hauses als Grossfertigteil auf diese Weise zu heben (Bild 16) und damit das statische System des Tragwerks «Hängehaus» auch für das Bauen zu nutzen. Hauptmerkmal und Hauptvorteil des Verfahrens ist eine für den Rohbau des Hängekörpers und den Einbau der Fassadenelemente stationär unten am Boden bleibende Baustelle, an welcher der geschossweise in Taktarbeit wachsende Hubkörper vorbeigezogen wird (Bild 20). Das kostspielige, weil lohnintensive und langsame Bauen in grosser Höhe wird so vermieden. Statt nur einer Decke oder eines Geschosses beim Hubdeckenverfahren wird hier schliesslich der gesamte Hängekörper des Hauses gehoben. Mit rd. 13 500 t Hubmasse ist er bei weitem das schwerste Grossfertigteil, das bisher gehoben wurde.

Bild 25. Hubvorgang: Einer der vier Zentralstützenköpfe mit den Hubstäben



In das Bauverfahren einbezogen sind die Ausbauarbeiten. Sie beginnen in jedem Geschoss, sobald mit dem Einbau der Fassadenelemente an der stationären Baustelle der Raum geschlossen ist. Während das Tragwerk auf der untersten Ebene entsteht, erfolgt der Ausbau auf den Ebenen darüber. Der Hängekörper ist so beim Erreichen seiner Endlage nahezu mit dem gesamten technischen Ausbau und mit wesentlichen Teilen des raumbildenden Ausbaus versehen. An Restarbeiten verbleiben vor allem: das Verbinden der horizontalen Versorgungssysteme der Geschosse mit den Steigleitungen im Kern, das Einbauen der Fahrstühle und das Aufbringen von Estrich und Teppichboden. Rohbau und Ausbau greifen auf diese Weise ineinander im Zuge von Taktverfahren, die beim Rohbau beginnen, sich beim technischen Ausbau fortsetzen und schliesslich beim raumbildenden Ausbau enden. Alle Arbeitsabläufe sind wetterunabhängig. Kürzeste Bauzeiten und entsprechend niedrige Baukosten sind das Ergebnis.

Die Hubanlage stand ortsfest am Konsolkreuz. Gehoben wurde synchron an den vier zentralen Hängestützen. Der Kraftfluss beim Heben entsprach damit genau dem endgültigen statischen System. Widerlager für die neun Pressen einer jeden Hubstelle war eine runde Hubplatte aus Spannbeton. Der Hubkörper hing an den Hubstäben, die abhängig vom Hubzustand, entweder mit ihrer unteren Mutter am Konsolkreuz oder mit ihrer oberen an der Hubplatte verankert waren. Gehoben wurde in Schritten von 18 cm um jeweils ein Geschoss, jede Woche einmal. Nach Erreichen der Geschosshöhe von 3,82 m wurde der Hubkörper «geparkt» und eine Woche später im Zuge der Taktarbeit um eine weitere Geschosshöhe hochgezogen. Die Hubschritte sind von einem zentralen Befehlsstand aus gesteuert und kontrolliert worden. Verschiedene Kontrollsysteme gewährleisteten ausreichende Gleichmässigkeit und Sicherheit.

9. Bauausführung

Die wichtigsten Stufen des gesamten Bauablaufs sind in Bild 21 zusammengefasst.

Das Technikgeschoss ist für das Hubverfahren nicht notwendig. Es führt jedoch zu einem Wechsel im Bauablauf: Die Geschosse darüber werden wie bei einem «Druckhaus» gebaut, die darunter wie bei einem «Hängehaus». Zunächst scheint dies, wie jeder Wechsel in einem technologischen Prozess, von Nachteil. Das ist es jedoch nicht, denn erst dadurch kann gleichzeitig an Konsolkreuz und Hängekörper gearbeitet werden (Phase 3); dies ersparte vier Monate Bauzeit.

Die Bilder 23 bis 25 zeigen Einzelheiten des Hebens.

Die Bauleistung umfasst neben den Rohbauarbeiten mehr als 40 Ausbaugewerke. Aufgabe des Generalunternehmers war es, während der Bauzeit nicht nur die Bauleistung zu erbringen, sondern auch die dazu notwendige Ausführungsplanung. Da das Bauen ohne Planungsvorlauf sofort begann, als der Auftrag erteilt war, mussten am Anfang mehr als 80 Leute in den Konstruktionsbüros und Fachabteilungen des Generalunternehmers und der Ausbaufirmen an den Ausführungsunterlagen arbeiten. Bauleitung und Belegschaft wurden nach und nach, dem Baufortschritt gemäss, aufgebaut. Maximal waren 24 Bauführer und 600 Mann tätig, davon etwa die Hälfte beim Ausbau. Alle Arbeiten wurden durch die technische Geschäftsführung des Generalunternehmers aufeinander abgestimmt. Die höchste Monatsleistung betrug 7 Mio DM und wurde im 13. Baumonat erzielt.

10. Schlussbetrachtung

Der Tragwerkentwurf als Optimierungsproblem muss von funktionellen, ästhetischen, technischen und wirtschaftlichen Bedingungen ausgehen; er sucht als Lösung des Problems neben Art und Gliederung des Tragwerks auch dessen Baustoffe und das Bauverfahren. Da nicht alle Bedingungen zwingend notwendig, sondern zum Teil frei wählbar und subjektiv sind, wie vielfach die ästhetischen, bestehen starke Wechselwirkungen zwischen den gegebenen und den gesuchten Grössen. Demnach wird eine Veränderung der wählbaren Bedingungen nicht mehr zur gleichen, sondern zu einer anderen Lösung für die gesuchten Grössen führen. Das ist leicht einzusehen, wenn man bedenkt, wie sehr beim BMW-Hochhaus subjektiv-ästhetische Bedingungen Art und innere Gliederung des Tragwerks beeinflusst haben.

Hängehäuser werden erst durch das richtige Bauverfahren zu wirtschaftlichen Konstruktionssystemen im Hochhausbau. Das zeigt das Beispiel des BMW-Hauses.

Der Einfluss der Form auf den Baustoffbedarf ist gross. Die auf den Kubikmeter umbauten Raum bezogenen Baustoffmengen können bei aufwendigen Formen – beispielsweise Y-Grundriss – auf mehr als das doppelte dessen anwachsen, was beim BMW-Hochhaus verbraucht wurde.

Die Zusammenarbeit von Architekt, Ingenieur und Baufirma kann deshalb nicht früh genug einsetzen.

Literaturverzeichnis

[1] *Schlaich, J.:* Beitrag zur Frage der Wirkung von Windstössen auf Bauwerke. «Bauingenieur» 1966, Heft 3, S. 102.

[2] *Ackeret, J.* und *Egli, J.:* Über die Verwendung sehr kleiner Modelle für Winddruck-Versuche. «Schweizerische Bauzeitung» 1966, Heft 1, S. 3.

[3] *Davenport, A. G.:* The response of six building shapes to turbulent wind. «Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.» Vol. 269A, 1971, p. 385.

Adresse des Verfassers: *H. Bomhard,* Dr. Ing., Dyckerhoff & Widmann AG, D-8000 München 40, Postfach 4000426, Sapporobogen 6.

Kernenergie

Energiebilanz von Kernkraftwerken

Als unrichtig und verzerrt hat W. K. Davis, Vizepräsident der Bechtel Corp., Behauptungen der Nukleargegner zurückgewiesen, die Energiebilanz von Kernkraftwerken sei während Jahren oder sogar überhaupt negativ. Nach seinen Angaben erbrachten die 53 in den USA betriebenen Kernkraftwerke bis Ende 1974 eine Elektrizitätsproduktion von 395 Mia kWh. Bei einem Gesamtenergieaufwand von 60 Mia kWh für den Bau und Brennstoffzyklus hat somit die Nettoproduktion 335 Mia kWh betragen. Noch günstiger fallen nach W. K. Davis die Zahlen bei modernen 1100-MW-Anlagen aus. Seine unter sehr zurückhaltenden Voraussetzungen durchgeführten Berechnungen ergaben in diesem Fall Energieaufwendungen von insgesamt 2,24 Mia kWh je Anlage einschliesslich den gesamten Brennstoffzyklus. Eine solche 1100-MW-Referenzanlage kann jährlich 9,64 Mia kWh Elektrizität produzieren, womit sich die gesamten Energieaufwendungen in 2,3 Monaten Vollastbetrieb oder bei Berücksichtigung der Inbetriebnahmezeit in 4 bis 5 Monaten amortisieren lassen. Wird für die Brennstofferzeugung auch die Verarbeitung von Erzen mit sehr niedrigem Urangehalt in die Rechnung gezogen, ergibt sich ein zusätzlicher Energiebedarf von 0,46 Mia kWh je Anlage, was eine Verlängerung der Amortisationszeit auf 2,75 Monate Vollastbetrieb bedeuten würde (*a. c. m.* in «SVA-Bulletin» Nr. 6, 1975). DK 621.039.5:620.9

Studie über nukleare Stahlerzeugung. Wegen der stark steigenden Kosten für fossile Brennstoffe und der unsicheren Versorgungslage haben sich 10 amerikanische Stahlproduzenten mit der General Atomic Co. zusammengeschlossen, um gemeinsam eine Studie über die Anwendung der Kernenergie in der Stahlerzeugung durchzuführen. Der von General Atomic entwickelte gasgekühlte Hochtemperaturreaktor (HTGR) ist der einzige kommerzielle Reaktortyp, welcher Temperaturen erreicht, die für die Stahlindustrie interessant sind. Anstelle von Wasser wie bei den üblichen Reaktoren wird beim HTGR die Wärme aus dem Reaktorkern mit Heliumgas abgeführt. Vorabklärende Untersuchungen des «American Iron & Steel Institute» haben ergeben, dass der Verwendung des HTGR für die Stahlerzeugung keine unüberwindlichen technischen Hindernisse im Wege stehen und dass der HTGR potentiell eine wirtschaftlich interessante Prozesswärmequelle darstellt. Der erste Teil der Studie, für den ein Jahr vorgesehen ist, wird technischen und wirtschaftlichen Aspekten gewidmet sein. DK 621.039:621.74

Das erste Kernkraftwerk Rumäniens mit einer Leistung von 440 MW soll bei Olt, etwa 100 km westlich von Bukarest, erstellt werden. Es wird einen russischen Nowoworonetsch-Druckwasserreaktor aufweisen und soll anfangs der 80er Jahre den Betrieb aufnehmen. Die Elektro-Watt Ingenieurunternehmung AG, Zürich, wurde zur Beratung und für Ingenieurdienstleistungen herangezogen. Die Firma hat bereits beim finnischen Kernkraftwerk Loviisa, das mit dem gleichen Reaktor ausgerüstet wird, Erfahrungen gesammelt.