

**Zeitschrift:** IABSE journal = Journal AIPC = IVBH Journal  
**Band:** 1 (1977)  
**Heft:** J-2: Developments in the field of construction techniques in civil engineering  
  
**Artikel:** Entwicklungstendenzen der Verfahrenstechnik in Bauwesen  
**Autor:** Otto, Hans-Gert  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-22931>

### **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:** 16.01.2026

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

## **Entwicklungstendenzen der Verfahrenstechnik im Bauwesen**

Developments in the Field of Construction Techniques in Civil Engineering

Evolution des méthodes et procédés de construction en génie civil

**Hans-Gert OTTO**

Dr.-Ing.

Boswau & Knauer AG

Düsseldorf, BRD

### **ZUSAMMENFASSUNG**

Die zukünftigen Bauaufgaben, die Forderungen des Umweltschutzes, baustofftechnologische Entwicklungen und nicht zuletzt Verschiebungen im Gefüge der Baukosten stellen fortlaufend neue Anforderungen an die Verfahrenstechnik im Bauwesen. Beispiele aus verschiedenen Bausparten zeigen, wie die Lösung der dabei auftretenden Probleme die zukünftige Entwicklung der Verfahrenstechnik im Bauwesen erkennen lässt.

### **SUMMARY**

Because of more complex structures, of environmental conditions, of the development of building materials and shifts in construction costs we always shall have to develop new construction techniques. It is shown on several examples, how different solutions of the relevant problems influence future developments of new construction techniques.

### **RÉSUMÉ**

Les constructions futures, les exigences de l'écologie, le développement de la technologie des matériaux de construction, les fluctuations des frais de construction posent constamment de nouveaux problèmes aux méthodes et procédés de construction dans le génie civil. Des exemples pris dans divers secteurs de la construction fournissent une indication sur le développement futur des méthodes et procédés de construction.



## 1. GEDANKENMODELL

Die Verfahrenstechnik der stationären Industrie befasst sich mit der Umwandlung von Stoffen. Im Bauwesen bezeichnen wir, besser der Fertigungstechnik vergleichbar, als Verfahrenstechnik den gezielten Einsatz von Maschinen, Geräten und Hilfskonstruktionen zur Herstellung von Bauwerken aus Baustoffen.

Die Verfahrenstechnik im Bauwesen entwickelt sich unter anderen Voraussetzungen als die Fertigungstechnik der stationären Industrie. Neue Verfahren oder Verbesserungen sind hier in sehr viel grösserem Umfang Reaktionen auf äussere Einflüsse, auf Anforderungen, die aus den Bereichen der Baunutzung, der Umwelt, der Kosten oder des Baugeschehens selbst an die Verfahrenstechnik gestellt werden. Nur selten noch kommt es hier zu spontanen Neuerungen, für die in den vorhandenen Märkten Platz, das heisst Verwendungsmöglichkeit gefunden werden muss. Die Erfindung des Stahlbetons als des Verfahrens, mit Hilfe von Stahleinlagen biegesteife Konstruktionen aus Beton herzustellen, ist hierfür das klassische Beispiel. Viele spätere Entwicklungen beruhen auf Anstössen, die von aussen gegeben wurden: für den Spannbeton die Forderung nach Rissefreiheit und grösseren Spannweiten, für die Grossflächenschalung die Forderung nach Senkung des Lohnaufwandes, für die Schlitzwand die Forderung nach umweltfreundlicher Baugrubenabsenkung.

Auch in Zukunft wird die Fortentwicklung der Verfahrenstechnik im Bauwesen durch äussere Einflüsse angeregt und gesteuert werden. Viele solcher zukünftigen Einflüsse zeichnen sich heute schon ab. Sie stellen der Verfahrenstechnik neue Aufgaben. Aus den Möglichkeiten, diese Aufgaben zu lösen, lässt sich die zukünftige Entwicklung der Verfahrenstechnik erkennen.

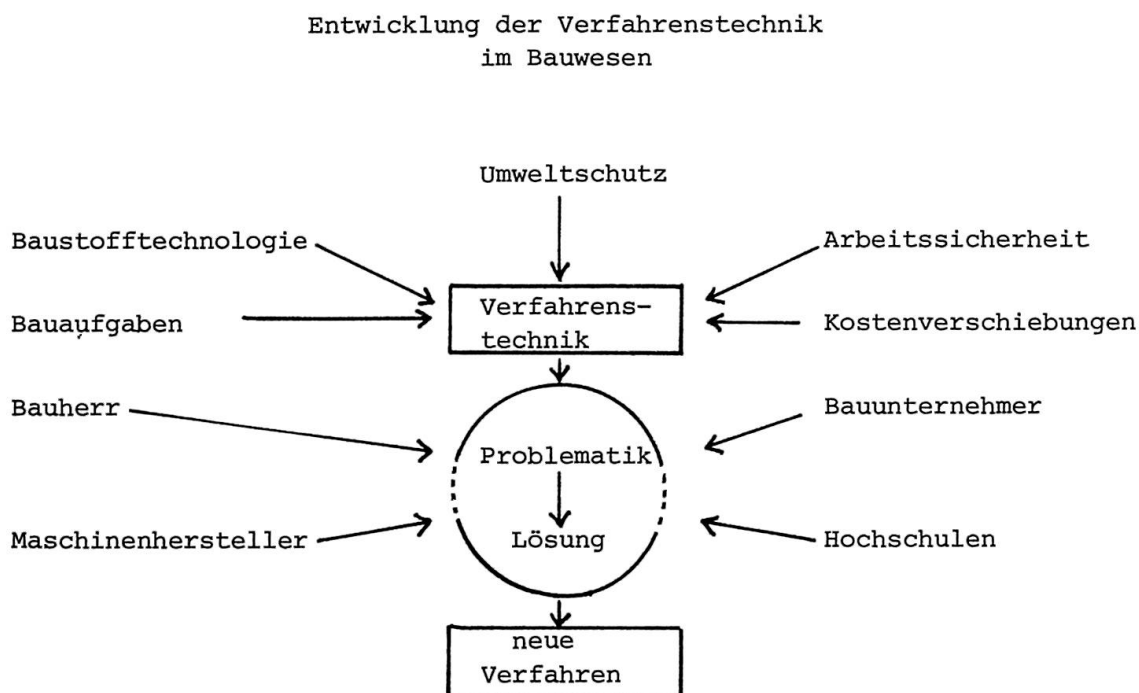


Bild 1: Gedankenmodell

Zu den exogenen Einflüssen, die immer neue Anforderungen an die Verfahrenstechnik stellen, zählen:

- neue Bauaufgaben - nicht allein fortlaufend steigende Anforderungen der Bauherren hinsichtlich Funktion und Grösse der Bauwerke, der Qualität des Bauproduktes und hinsichtlich der Ausführungszeit, sondern auch grundsätzlich neuartige Bauwerke, wie etwa Einrichtungen für den zukünftigen Schnellverkehr,
- Forderungen des Umweltschutzes und der Arbeitssicherheit, wie Abwasser- und Abfallbeseitigung, steigende Anforderungen an den Emmissionsschutz in Bezug auf Lärm und Schmutz, die Begrenzung der Wärmebelastung von Flüssen und Seen, Schutz des Grundwassers, Verkehrssicherung und Sicherheit des Arbeitsplatzes,
- Entwicklung neuer Baustoffe und neuer Baustofftechnologien, z.B. des Fliessbetons, des Polystyrolbetons, weitere Anwendungsbereiche von Schaumbeton oder neuer Kunststoffe, die mit herkömmlichen Verfahren nicht zu verarbeiten sind,
- Verschiebungen im Gefüge der Baukosten, so die seit Jahren in den meisten Ländern steigenden Lohnkosten, aber auch Marktentwicklungen wie das enorme Ansteigen der Rohölpreise im Herbst 1974.

Einige Beispiele werden dazu beitragen, einen Ueberblick über die Entwicklungstendenzen der Verfahrenstechnik in den einzelnen Baubereichen zu gewinnen. Dabei kommt der Verfahrenstechnik - abweichend von konventionellen Gliederungen - eine Unterteilung nach Flach-, Hoch- und Tiefbauten am besten entgegen, d.h. Bauten zu ebener Erde, Bauten oberhalb und Bauten unterhalb Geländeniveau.

## 2. EBENERDIGE BAUTEN

Verfahrenstechnisch lassen sich ebenerdige Baustellen am einfachsten bewältigen, da sie sich nur in einer oder zwei Dimensionen abspielen. Dazu zählen:

- Erdbewegungen
- Strassen- und Flugplätze
- ebenerdige Bahnen
- sonstige ebenerdige Bauwerke wie Kläranlagen und Hallen

### 2.1 Erdbewegungen

Die Verfahrenstechnik der Erdbewegungen gliedert sich in

- Lösen und Laden
- Transport
- Einbau und Verdichten

Die Entwicklung hat hier in der Hochkonjunktur einen technischen Stand erreicht, der in den nächsten Jahren keiner umwälzenden Verbesserung bedarf. Es ist auch nicht damit zu rechnen, dass in absehbarer Zukunft grundlegend neue und sehr viel grössere Aufgaben als bisher an den Erdbau gestellt werden. Zukünftige Anforderungen an die Verfahrenstechnik beruhen hier vornehmlich auf verschärften Lärmschutzbestimmungen und steigenden Lohnkosten.





Hydraulikbagger mit Hydromeissel und schwere Planierraupen mit Aufreissern lassen das wenig umweltfreundliche Lösen schweren Bodens durch Bohren und Sprengen zunehmend in den Hintergrund treten.

Die Bodenbewegung hat sich in den letzten 20 Jahren auf schwere Erdtransporter verlagert. Bandstrassen werden Ausnahmen bleiben für konzentrierte Abtrags- und Einbaufelder. Für grossflächige Erdarbeiten in geeigneten Böden dürften Scraper auch in den kommenden Jahren die optimalen Maschinen zum Lösen, Laden und Transportieren sein. Gleiches gilt für den Spülbetrieb sandreicher, unter Wasser anstehender Böden mittels Saugbaggern und Rohrleitungen. Nur bei den Saugbaggern zeichnet sich eine neue Entwicklung ab: Das Einbauen von Zwischenpumpen in den normalerweise auf 7 bis 8 m Tiefe begrenzten Saugapparat. Damit sollen auch grössere Tiefen erreicht und beispielsweise tiefere Kiesvorkommen rentabel ausgebeutet werden.

Trotz ihrer Vorteile wird die hydraulische Förderung auf die küstennahen Sandböden begrenzt bleiben. Die Trennung und Beseitigung des zum Transport benötigten Wassers ist bei anderen Bodenarten mit grösseren Schwierigkeiten verbunden. Nur bei feinkörnigem Bohrgut im Tunnel- und Stollenbau lässt sich die hydraulische Förderung durch Rohrleitungen noch sinnvoll vertreten.

Für das Einbauen und Verdichten üblicher Böden werden nach wie vor die bewährten Planiermaschinen, Bodenverdichter und Walzen zum Einsatz kommen.

Generell hält bei den Erdbaumaschinen die Tendenz zum Baukastenprinzip und zur grösseren Leistung an, um die Vorhaltekosten und den Lohnaufwand für die Bedienung weiter zu senken.

Umwälzende Neuerungen in der Verfahrenstechnik des Erdbaues sind auch aus einem anderen Grund nicht zu erwarten: nicht ausgelastete Maschinenkapazitäten in der gegenwärtigen konjunkturellen Situation, die in den kommenden Jahren anhalten wird, bieten erfahrungsgemäss keinen Anreiz, neu und mit hohem Risiko zu investieren. Auch die Verbreitung kleinerer Schaufelradbagger wird dadurch gehemmt, obwohl diese als stetig arbeitende Maschinen grundsätzlich grössere Zukunftsaussichten zu haben scheinen.

## 2.2 Strassen und Flugplätze

Im Gegensatz zum Erdbau wird der Strassenbau sehr bald einer neuen Entwicklung unterworfen sein. In vielen Ländern hatte sich in den letzten Jahren die Schwarzdecke eindeutig gegenüber der Betondecke durchgesetzt. Eine der Ursachen hierfür war die Verfahrenstechnik selbst. Mit modernen Fertigern erzielte der Schwarzdeckenbau sehr viel grössere Tagesleistungen als der Betondeckenbau. Selbst der Einsatz weiter entwickelter Betondeckenfertiger entbindet nicht von der Notwendigkeit, die in Betondecken erforderlichen Dehnfugen in getrennten Arbeitsgängen zu schneiden und zu vergiessen. Nachteilig sind auch die Witterungsanfälligkeit der frischen Betonoberfläche gegen Austrocknen oder Regenfälle und die Erhärungszeit des Betons, die ein unmittelbares Befahren nicht zulässt.

Drei wesentliche exogene Einflüsse haben das Bild gewandelt:

- Die Oelkrise hat mit ihren enormen Kostenbelastungen für bituminöses Mischgut den Schwarzdeckenbau erheblich verteuert.

- Die lang anhaltende Hitze des Sommers 1976 führte in grossem Umfang zur Verdückung und Spurenbildung in bituminösen Decken. Interessant ist, dass hiervon in der Bundesrepublik Deutschland vorwiegend Neubaustrecken aus den Jahren 1972 bis 1974 betroffen wurden. Die Verschleissfestigkeit gegen Spikesreifen stand damals im Vordergrund. Sie war nur mit höheren Bitumenanteilen zu erzielen. Die Decken haben dabei einen Teil ihrer Hitzestandfestigkeit eingebüsst. Dies zeigt deutlich die neue linksrheinische Autobahn, deren rechte Fahrspur teilweise so tiefe Spurrinnen aufwies, dass sie nur noch mit beschränkter Geschwindigkeit befahren werden durfte.
- Ausser diesen für den Schwarzdeckenbau nachteiligen Einflüssen kommt dem Betonstrassenbau die Entwicklung frühhochfesten Fliessbetons entgegen. Diese Beton bedarf keiner oder nur noch geringer Verdichtungsarbeit. Trotz seines fast flüssigen Einbauszustandes kann er heute innerhalb von 24 Stunden Festigkeiten bis über 200 kp/cm<sup>2</sup> entwickeln, so dass er nach spätestens zwei Tagen zu befahren ist. Auch das Fugenschneiden entfällt, da Fugenprofile nachträglich in den Fliessbeton eingedrückt werden.



Bild 2: Fliessbeton im städtischen Strassenbau

Nicht nur Stadtstrassen, sondern auch Fernstrassen und Autobahnen werden in den nächsten Jahren bevorzugt wieder aus Beton entstehen. Das verfahrenstechnische Problem besteht nur noch darin, ein Schalsystem zu finden, das die aufwendigen, althergebrachten Schalungsschienen ersetzt.

Dem Fliessbeton kommt zugute - und das ist die wesentliche Neuerung im Betonstrassenbau -, dass ein Verdichten mit Innenrüttlern und Hochfrequenzbohlen nicht mehr notwendig ist. Der Beton kann in einer einzigen Lage eingebaut werden. Der Vorteil liegt darin, dass kein Fertigungszug mehr benötigt wird und daher auch die Seitenschalung sehr viel leichter gebaut werden kann. Der Transportmi-scher fährt nur noch seitlich an der Schalung entlang und entleert unmittelbar



über Rutscher. Der Beton füllt durch sein Fliessvermögen die gesamte Fahrbahnbreite aus und wird lediglich mit einer leichten Bohle abgezogen. Die Tagesleistung hängt damit allein von der Leistungsfähigkeit der Betonmischanlage oder in der Nähe liegender Transportbetonwerke ab.

Zur weiteren Verbesserung des Betondeckenbaues wird sich in Zukunft auch der Stahlfaserbeton mit erheblich reduzierten Deckenstärken anbieten. Ob Stahlfaserbetondecken in zwei Schichten eingebaut werden müssen, um die Fahrbahnoberfläche von Stahlfasern frei zu halten, wird davon abhängen, ob freiliegende Stahlfasern das Fahrverhalten beeinträchtigen oder zu höherem Reifenverschleiss führen. Hierüber sind noch keine Versuchsergebnisse bekannt worden.

Die Entwicklung neuer Bauverfahren für Betonstrassen beschränkt sich nicht auf den Oberbau. Der zunehmend knapper werdende Kies wird es in Zukunft nicht erlauben, ihn für Frostschutzschichten zu verschwenden. Frostschutz kann weniger aufwendig auch mit Leichtbeton in Form von Polystyrolbeton erzielt werden, sobald sich hierfür ein einfaches und schnelles Einbauverfahren gefunden hat. Polystyrolbeton bietet zugleich die notwendige Stabilisierung, so dass auch das Vermörteln des Bodens entfallen könnte. Noch steht offen, ob sich auch Polystyrolbeton als Fliessbeton herstellen lässt. Ein weiteres Problem liegt in dem höheren Schwindmass der Leichtbetone. Aus diesem Grund scheidet örtlich aufgeschäumter Beton vorerst für den Strassenbau aus.

Auf Leichtbeton liegende und damit wärmeisolierte Fahrbahnplatten böten zugleich einen Anreiz für die Heizung stark befahrener Autobahnen oder Stadtstrassen. Die Wärmedämmschicht aus Polystyrolbeton würde den Energiebedarf spürbar vermindern. Andererseits darf nicht verschwiegen werden, dass sich auf wärmeisolierten Fahrbahnen unter bestimmten Witterungsbedingungen schneller als über herkömmlichen Frostschutzschichten Glatteis bilden kann.

Sicherlich werden in Zukunft nicht sämtliche Strassen in Beton oder Fliessbeton gebaut werden. So scheidet Fliessbeton aus heutiger Sicht aus, wenn die Längs- oder Querneigung der Querfläche 3% überschreitet.

Für die verbleibenden Schwarzdecken werden in Kürze Fertiger mit hydraulisch verstellbarer Arbeitsbreite zur Verfügung stehen. Die Herstellung neuer Gussasphaltsorten wird dazu führen, dass die herkömmlichen Teerkocher und die speziellen Asphaltfertiger aus dem Betrieb gezogen werden können. Auch Gussasphalt wird sich in Zukunft wie Asphaltbeton mit Schwarzdeckenfertigern einbauen lassen.

Die für den Strassenbau aufgezeigte Entwicklung gilt auch für Flugplätze mit dem Unterschied, dass man hier auf eine Bewehrung der Betonstart- und -landebahnen nicht verzichten können. Doch liesse sich - vom Stahlfaserbeton abgesehen - auch bewehrter Fliessbeton in einem Arbeitsgang einbringen, wenn die Bewehrung zu stabilen Mattenkörben verschweisst und auf stabile Unterstützungen aufgelegt wird.

### 2.3 Bahnbau

Bekanntlich halten die Eisenbahnen nicht nur in Deutschland nach wie vor an dem althergebrachten Schotteroberbau fest. Wenn auch der Schotteroberbau heute mit modernen Maschinen nahezu fliessbandartig eingebracht wird, so passt doch der Gleisschotter nicht in die Vorstellung von neuzeitlichem Bauen.

Im Zuge des Stadtbahnbaues im Ruhrgebiet wurden Versuchsstrecken angelegt, deren Schienen über dämmende Zwischenlagen unmittelbar auf dem Beton befestigt sind.

Ob dieses Verfahren dazu führen könnte, die geplanten Schnellbahnen auf reinen Betonbahnen ohne Schotter und Schwellen fahren zu lassen, steht noch offen. Die Herstellung solcher Betonunterbauten würde sich verfahrenstechnisch vom modernen Betonstrassenbau kaum unterscheiden. Nach dem heutigen Wissensstands erfordern Geschwindigkeiten von mehr als 250 km/h ohnehin voll aufliegende Tragkonstruktionen.

Realistischer sind zunächst Bestrebungen, unter dem Schotterbett eine zementverfestigte Schicht anzuordnen mit sog. hydrophoben, d.h. vorübergehend wasserabweisenden Zementen. Die verfestigte Schicht soll das Oberflächenwasser auf bindigem Untergrund einwandfrei ableiten und verhindern, dass sich Schotter in den bindigen Untergrund einrüttelt und verschmutzt.

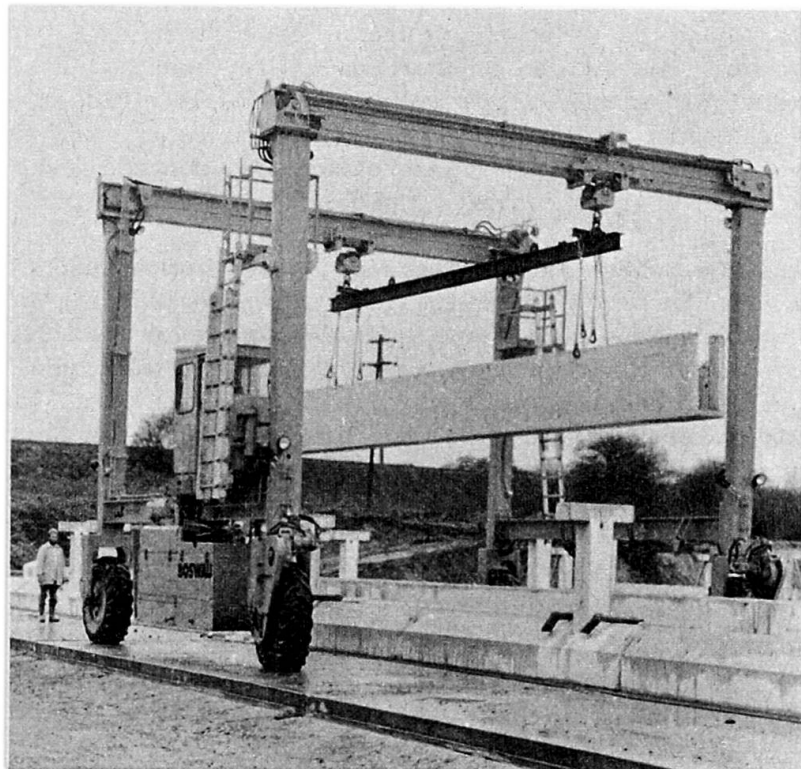
#### 2.4 Hallen und andere ebenerdige Bauwerke

In der Art des zukünftigen Betonstrassenbaues werden grossflächige, ebenerdige Hallenböden schon seit einigen Jahren gefertigt. Das lohnsparende Verfahren setzt lediglich voraus, dass die Transportmischer unmittelbar neben den zu betonierenden Feldern fahren können. Ähnlich wird sich der Fliessbeton auch für die grossen Beckenflächen von Kläranlagen durchsetzen.

Wenn der gesamte Beton zu ebener Erde oder darunter unmittelbar vom Transportmischer eingebracht werden kann, so ist anzustreben, auch die aufragenden Teile ebenerdiger Bauwerke ohne Turmdrehkran herzustellen. Turmdrehkrane sind für Flächenbauten in ihrer Installation zu aufwendig. Sie sind heute vielfach durch geländegängige Mobilkrane ersetzt, die aber für Transport und genaue Montage schwerer Schalungen oder vorgefertigter Einbauteile weniger geeignet sind. Schwere Lasten können sie nur im abgestützten Zustand heben. Ihr Schwenkradius ist so gering, dass für die Horizontalförderung stets zusätzliche Transportmittel eingesetzt werden müssen. Diese Problematik ist zu lösen durch den Einsatz sogenannter Travelifts. Ein Travelift besteht im Prinzip aus zwei gekoppelten Bockkranen mit Reifenfahrwerk und grossem Portal. Er transportiert Lasten bis zu 13,5 t mit einer Geschwindigkeit bis zu 85 m/min auch im unbefestigten Gelände. Mit diesem Travelift werden nicht nur schwerste Schalelemente in einem Zuge transportiert und versetzt, sondern auch vorgefertigte Rinnen, Stützen und Stege, z.B. für Kläranlagen.

Bild 3:

Travelift auf der Baustelle  
Grossklärwerk Emschermündung







Bei kleineren ebenerdigen Bauten wie Lagerhallen und Stützmauern werden sich schwere, geländegängige Gabelstapler als ideale Transport- und Hebezeuge mehr und mehr durchsetzen. Sie eignen sich ebenso zur Montage leichter Stützen wie auch zur Materialbeschickung für die Ausfachung und Verkleidung.

Industrie- und Lagerhallen werden heute noch überwiegend in Stahlbetonfertigteilen errichtet. Jedoch betragen beispielsweise in der Konsumgüterindustrie die technologisch und organisatorisch bedingten Aenderungsintervalle im Produktionsbereich heute schon zum Teil weniger als 5 Jahre. Das bedeutet: die zielbedingte Konzeption etwa einer Fertigungshalle ist nach kurzer Zeit überholt, das Bauwerk Änderungs-, wenn nicht abbruchreif. Diese Tendenz wird zu einer Art Wegwerfhalle führen, wie wir sie heute als Traglufthallen bereits kennen. Für solche Bauwerke ist Beton denkbar ungeeignet. Stahl- oder Holzkonstruktionen lassen sich sehr viel einfacher abändern, demontieren und wiederverwenden. Dies gilt nicht nur für die tragende Konstruktion, sondern auch für die Ausfachung. Hierfür hat der Stahlbau grossflächige, raumabschliessende Sandwichelemente entwickelt aus konstruktiv mitwirkendem Hartschaum-Stützkern mit metallischen, oberflächenfertigen Deckschichten. Der Stahlbau wird sich daher bei Hallen auf Dauer auch gegenüber Holzkonstruktionen durchsetzen. Ein einfacher und preisgünstiger Brandschutz für Stahlkonstruktionen würden diese Entwicklung beschleunigen.

Vom Verfahren her bietet der Stahlbau nahezu keine Probleme. Er verwendet für die Montage kompakte, geländegängige Montagekrane und bevorzugt auf der Baustelle nach wie vor Schrauben als Verbindungsmittel.

Für die Verfahrenstechnik folgt daraus: der Hallenbau bleibt Montagebau, doch die Gewichte werden leichter und die Verbindungen zunehmend eine Angelegenheit des Stahlbaues.

In die ebenerdigen Bauten lassen sich auch Einfamilienhäuser einbeziehen, vornehmlich Bungalowbauten. Die Statistik in Deutschland zeigt, dass selbst in der Rezession und in Zeiten hoher Zinsen der Fertighausbau seinen Anteil von rund 10% nicht erhöhen konnte. So unvernünftig der Bau eines Hauses in konventioneller Bauweise, Stein auf Stein, erscheinen mag: Der Bau von Fertighäusern setzt voraus, dass solche Häuser Bewohner finden. Wenn aber die Leichtbauweise der Fertighäuser in Europa nicht mehr Abnehmer findet als bisher, so bleiben sie im Verhältnis zum konventionellen Bau zu teuer. Nur erhebliche Fortschritte in der Verfahrenstechnik der Herstellung und Montage und rigorose Typenbeschränkungen könnten über den Preis zu grösseren Serien führen.

Aus ähnlichen Gründen ist auch die Verfahrenstechnik des konventionellen Einfamilienhausbaues in Deutschland nicht vorangekommen. Das Verfahren westlicher Nachbarstaaten, Einfamilienreihenhäuser zu Hunderten in gleicher Art als Schottenbauten mit Raumschalung zu errichten, wird sich in Deutschland nicht einbürgern können. Zum einen verzichtet man nicht gern auf einen Keller - dieser Verzicht ist Voraussetzung der fast industriellen Fertigung dieser Häuser -, zum anderen sucht man gerade bei Einfamilienhäusern der grossen Serie, der uniformen Gestaltung zu entkommen.

### 3. HOCHBAU

#### 3.1 Geschosswohnungsbau

Aehnliche Schwierigkeiten hat in Deutschland auch der Geschosswohnungsbau zu verzeichnen. Das Wohnen in Betonburgen ist nicht das Wunschziel aller Wohnungssuchenden. Aversionen gegen nackte, gestrichene Betonwände in jedem Raum, Abneigung aber auch gegen eine schematische Aufteilung der Wohnungsgrundrisse in ein und demselben Schottenmass werden dazu führen, dass zumindest für den Grosswohnungsbau mit engen Schotten in Zukunft kaum noch Chancen zu sehen sind.

Dies lässt sich auch an der Tatsache erkennen, dass der vor mehreren Jahren mit viel Elan geförderte Grosstafelbau bereits heute keine Bedeutung mehr hat. Erst recht gilt das für den Raumzellenbau, der noch stärker als der Grosstafelbau an Transportmasse gebunden ist. Wenn einige Autoren den Raumzellenbau trotzdem als den Bau der Zukunft ansehen, so sind ernsthafte Zweifel daran berechtigt, solange es nicht gilt, auch in einer aus Raumzellen gestalteten Wohnung flexibel zu wohnen und dem Raumzellenbau ein ansprechendes Aeusseres zu geben. Aus heutiger Sicht erscheint es nicht sehr sinnvoll, die mögliche Entwicklung der Verfahrenstechnik in diesen Bauweisen zu diskutieren.

Die einzige Art, mehrgeschossige Wohnbauten rationell und preisgünstig zu errichten, liegt derzeit im Ortbetonschottenbau mit streich- oder tapezierfähigen Oberflächen. Dabei muss es möglich sein, den Abstand der Schotten weiter zu vergrössern, so dass im Optimalfall nur Wohnungstrennwände als tragende Schottenwände herangezogen werden. Zugleich muss es gelingen, auch die Schottenweiten innerhalb eines Gebäudekomplexes zu variieren unter Beibehaltung der wirtschaftlichen Vorteile des Verfahrens, um Eintönigkeit in der Fassadengestaltung zu vermeiden. Für Raumschalungen sind das keine unlösbaren Probleme, wenn verschiedenen breite Halbtunnel zu mehreren Schottenweiten kombiniert werden können.

Schwierigkeiten bereiten jedoch die heute geforderten Schottenweiten von 7 m und mehr. Die Erfahrungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass hierfür gut durchdachte Grossflächenwandschalungen und geeignete Deckenschalungen nicht nur besser geeignet, sondern auch generell flexibler sind. Als Deckenschalungssysteme werden daher auch in den kommenden Jahren Deckenschaltische und Schubladenschalungen dominieren. Deckenschaltische erreichen heute schon Flächen von mehr als 60 m<sup>2</sup>, die mit Raumschalungen wirtschaftlich nicht zu bewältigen wären.

Für den konventionellen Wohnungsbau mit Mauerwerk gibt es nur eine Möglichkeit, Ortbetondecken rationell und tapezierfertig herzustellen: die Verwendung sog. Filigranplatten, 4 cm starker, vorgefertigter Betonplatten mit versteifenden, oben herausstehenden Gitterträgern und mit der unteren Deckenbewehrung.

#### 3.2 Stahlbetonskelettbau

Die Tendenz zu grösseren Spannweiten gilt auch für den Stahlbetonskelettbau, sei es für Schulen, Universitäten, Verwaltungsbauten oder Kaufhäuser. Die schwere, aufwendigere Deckenkonstruktion kann offensichtlich die Forderung, flexibel zu sein, die Nutzung fast beliebig ändern zu können, nicht hemmen. Für den Stahlbetonfertigteiltbau bedeutet dies immer schwerere Teile und grössere Montagekrane. Häufig können Turmdrehkrane die Fertigteiltgewichte nicht mehr bewältigen, so dass die Gesamtkonstruktion mit aufwendigen Autokranen montiert werden muss. Nur ein preisgünstiger Leichtbeton könnte diese Problematik verringern - eine Aufgabe nicht der Verfahrenstechnik, sondern der Baustofftechnologie.



Die Entwicklungstendenz der Verfahrenstechnik im Stahlbetonfertigteilbau ist ein eigenständiges Thema, das hier nicht vertieft werden soll. Standardisierung der Einzelteile, Schaffung offener Systeme, Trockenmontage, weitgehend integrierter Ausbau deuten die Problematik der weiteren Entwicklung an. Das grösste Problem aber liegt in einer fertigungs- und systemgerechten, über alle beteiligten Stufen integrierten Planung, die bis heute nur in Ausnahmefällen verwirklicht ist.

Die Tendenz zur weiteren Vergrösserung der Konstruktionselemente im Skelettbau bietet auch der Schaltechnik des Ortbetonbaues die Möglichkeit, mit grösseren Schalelementen zu arbeiten. Sie kommt damit den Erfordernissen nach weiterer Produktivitätssteigerung entgegen. Die Lohnaufwendungen für das Ein- und Ausschalen hängen bekanntlich nicht nur von der Grösse der eingeschalteten Fläche, sondern auch von der Stückzahl der eingesetzten Schalelemente ab, d.h. der spezifische Lohnaufwand sinkt mit zunehmender Grösse des einzelnen Schalelementes.

Die zukünftige Entwicklung der Schalverfahren kann von der Tatsache ausgehen, dass vorgefertigte Grossflächenschalung heute Stand der Technik ist. Noch wirken die vielen unterschiedlichen Schalsysteme verwirrend. Nach wie vor werden primitive Elemente aus hochkant gestellten Bohlen gefertigt, werden Kanthölzer verwendet, die kaum grössere Ankerabstände zulassen, als sie früher möglich waren. Weit verbreitet sind verleimte Holzfachwerkträger, weil diese noch mit Hammer und Nagel zu handhaben sind. Doch lassen sich hohe Anforderungen an die Ebenflächigkeit mit solchen Elementen nur bei sehr sorgfältiger Arbeit erfüllen. Für tapezierfertige Sichtflächen ist der stählerne Rüstträger besser geeignet. Er wird in der Regel mit einer Schalhaut aus kunstharzvergüteten Sperrholzplatten kombiniert.

Die zukünftige Schalform für Wände, Schächte und Stützen dürfte aber in der reinen Stahlschalung zu sehen sein. Ihre Genauigkeit ist unübertroffen, wenn sie richtig eingesetzt und fachmännisch gehandhabt wird. Auch ihre Problematik liegt vorerst in der parallel verlaufenden Entwicklung mehrerer Systeme, sog. geschlossener Systeme, die sich nicht miteinander kombinieren lassen. Hier sind, ähnlich wie im Fertigteilbau, offene Systeme zu entwickeln, die beliebig gegeneinander austauschbar sind. Die grosse Wirtschaftlichkeit der Stahlschalung liegt in der häufigen Wiederverwendbarkeit, in der Formstabilität und Stossfestigkeit und - wie auch schon bei den stählernen Rüstträgern - in der Tatsache, dass geschosshohe Wände nur noch im Sockelbereich und über der Wandoberkante verankert werden.

Auch im Skelettbau kommen heute für Decken in offenen Räumen Deckenschaltische zur Verwendung, die von Abschnitt zu Abschnitt oder in das nächste Stockwerk umgesetzt werden. Decken mit schweren Unterzügen im Industriebau oder weitgespannte Plattenbalkendecken werden zunehmend mit Grosskassetten geschalt. Die seitliche Unterzugsschalung erhält einen geringfügigen Anzug, so dass sie starr mit der Deckenschalung verbunden werden kann. Die Lasten tragen sich im Bereich der Unterzugsböden über Lastturmstützen auf die untere Geschossdecke ab. Der Vorteil liegt in der Verwendung weniger starrer Elemente und in den auf Stütztürme konzentrierten lotrechten Lasten. Innerhalb der Geschosse werden die Deckenelemente mit hydraulischen Schälwagen abgelassen und bewegt. Für das Umsetzen der leichten Lastturmstützen eignen sich sehr gut kleine Gabelstapler. In Konkurrenz dazu stehen Systeme mit abklappbaren Tischbeinen unter jedem Deckenelement. Welche Entwicklung auf Dauer die Führung übernehmen wird, ist noch nicht abzusehen.

Für sog. gefangene Räume, aus denen keine grossflächigen Deckenschalungen ausgefahren werden können, empfiehlt sich sicher auch in Zukunft die bereits im Wohnungsbau erwähnte Filigranplatte.

Für grossflächige Stahlbetondecken vorwiegend im Stahlskelettbau dürften zukünftig Trapezbleche als verlorene Schalung in grösserem Umfang zur Anwendung kommen, wie dies bei einigen Grossbauten, so dem Flughafengebäude Berlin-Tegel, bereits geschah. Auch für das neue Abfertigungsgebäude des Flughafens Moskau ist diese Konstruktion vorgesehen. Die Zukunftsaussichten dieser Bauweise sind umso grösser, je mehr das Trapezblech als statisch mit wirkender Verbundbaustoff ausgebildet werden kann - eine entsprechende Lösung des Feuerschutzproblems vorausgesetzt.

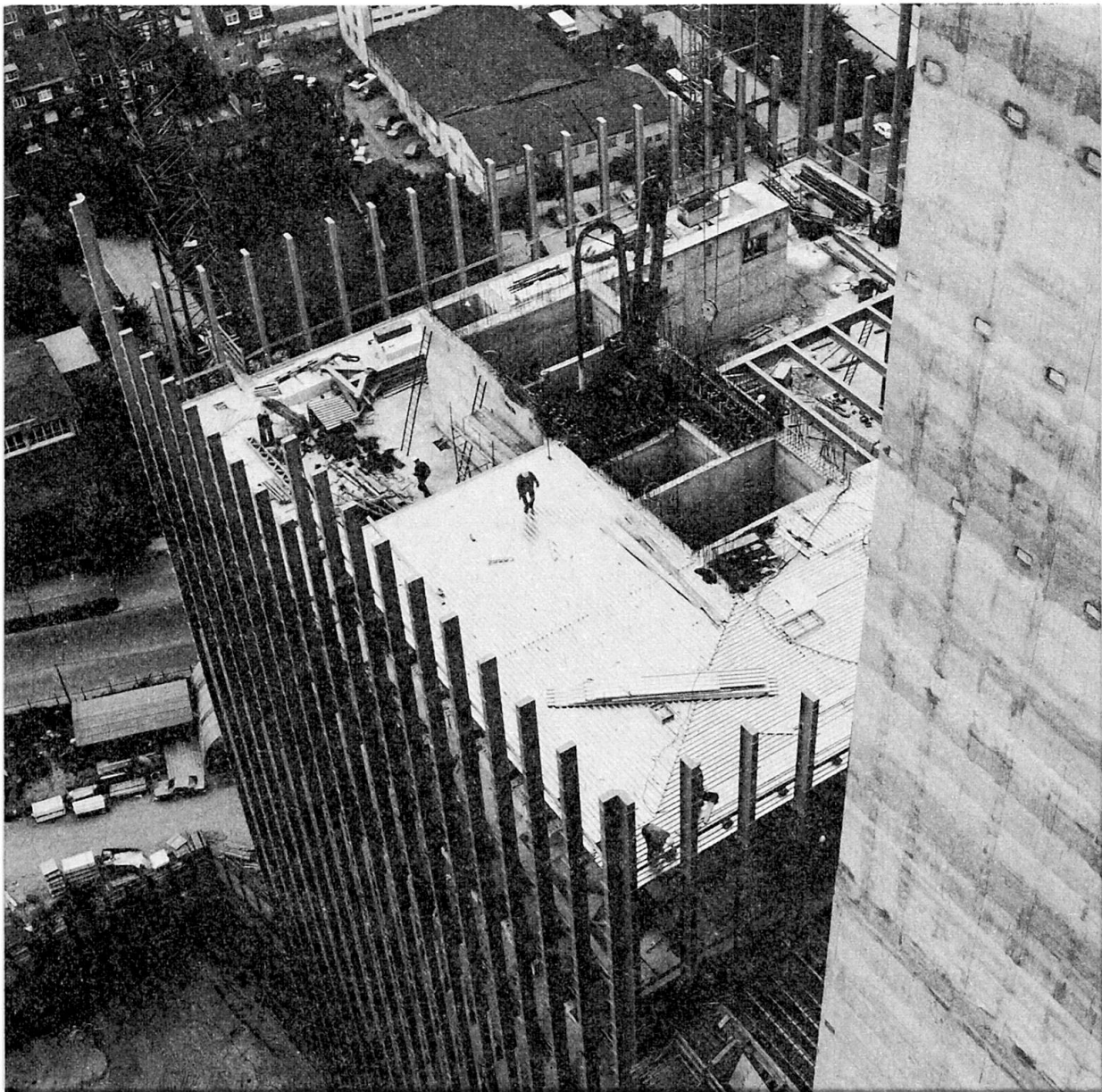


Bild 4: Deckenschalung aus Trapezblechen  
am Hochhaus der Deutschen Welle in  
Köln

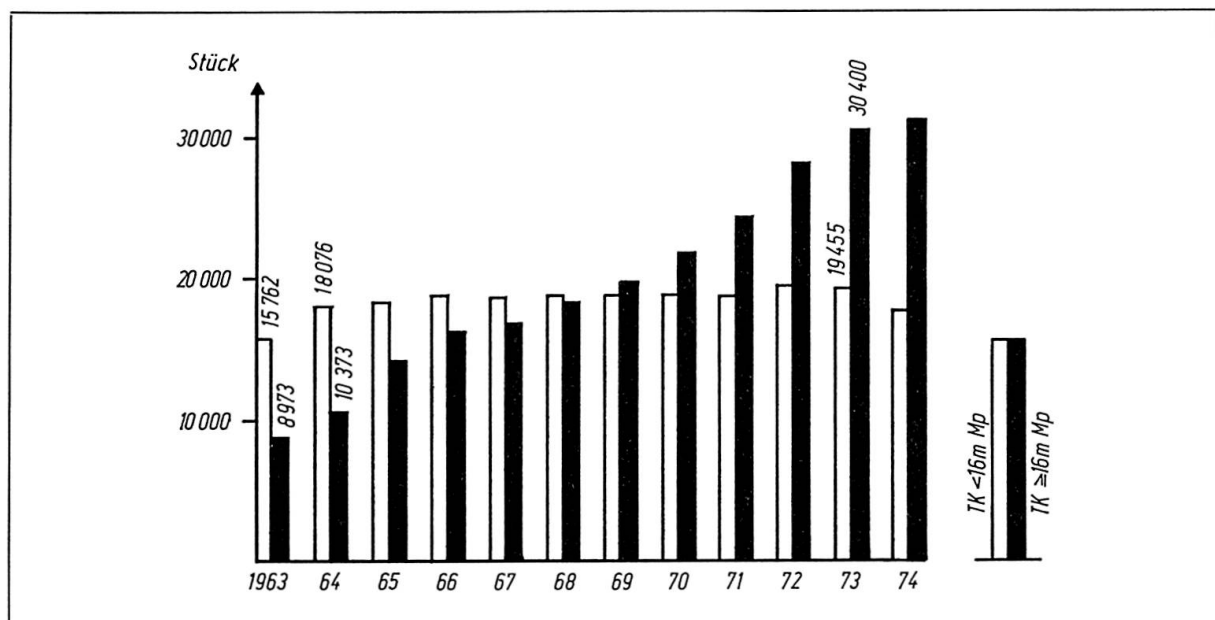




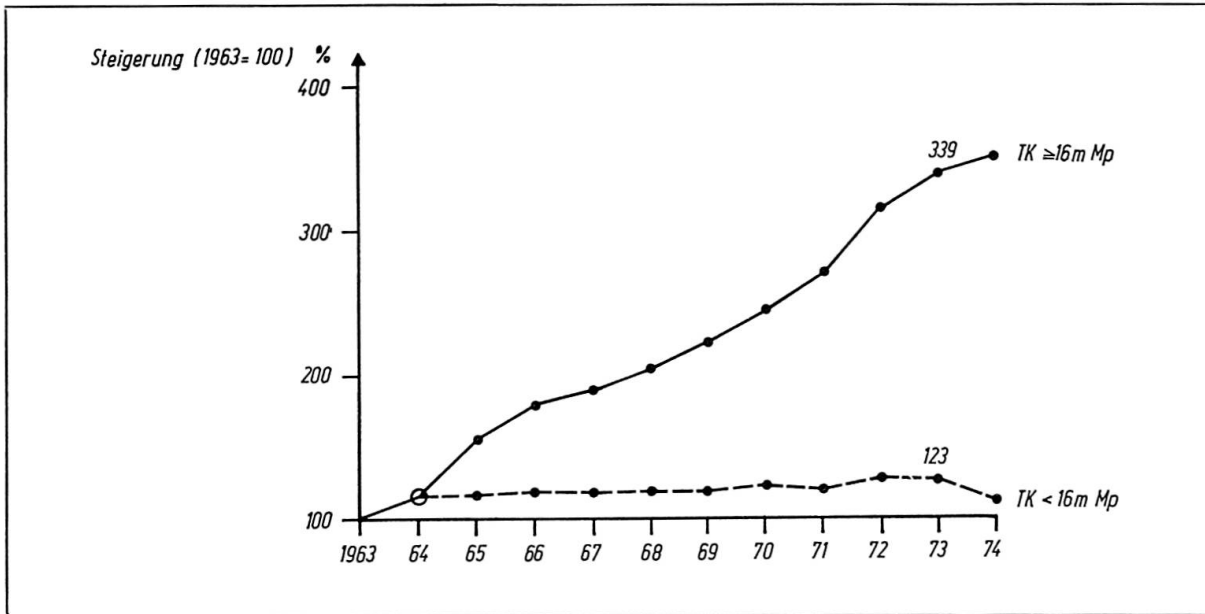
Auch die Verfahrenstechnik des Betonierens unterliegt einem umwälzenden Wandel. Mehr und mehr wird der Beton im Ingenieurhochbau nicht vom Turmdrehkran, sondern von Betonpumpen transportiert und eingebracht. Separate Verteilmaste, die heute schon 45 m Ausladung überschreiten, übernehmen bei Grossobjekten das Verteilen des Pumpbetons. Nur für das Betonieren kleiner Bauteile wie Stützen oder Brüstungen werden Krane künftig noch benötigt.

Wegen der schweren Schalelemente und der zu grösseren Einheiten vormontierten Bewehrung bleibt dennoch der Ingenieurhochbau das Haupteinsatzgebiet der Turmdrehkrane. Jedoch richtet sich ihre Auswahl nicht mehr nach der erforderlichen Einbringleistung des Betonierbetriebes, sondern nach dem grössten Schalelement und dem schwersten vorgefertigten Einbauteil.

Die grösseren Anforderungen bezüglich des genauen Einschwenkens und Absetzens der Schalung oder vorgefertigter Teile führten in den letzten Jahren zur eindeutigen Bevorzugung von Laufkatzenkranen mit Feinsenkeinrichtung, obwohl Turmdrehkrane mit Nadelausleger weniger aufwendig zu installieren sind. Die Tendenz zu immer grösseren Krantypen ist für die Bundesrepublik Deutschland aus der Gerätebestandsstatistik des Statistischen Bundesamtes schon seit dem Jahre 1964 zu erkennen. Wie weit diese Entwicklung sich fortsetzt, hängt davon ab, ob es gelingt, den überproportional zur Krangrösse steigenden Aufwand für Auf- und Abbau zu reduzieren.



**Bild 5:** Verfügbare Turmdrehkrane im Bauhauptgewerbe der BR Deutschland 1963 bis 1974  
(Quelle: Statistisches Bundesamt)



**Bild 6:** Steigerung des Bestandes an Turm-drehkränen im Bauhauptgewerbe der BR Deutschland 1963 bis 1974 (1963 = 100) nach Angaben des Statistischen Bundesamtes

Ein weiterer Weg zur Kostensenkung zeichnet sich ab mit der Fortentwicklung des Baukastenprinzipes. Die Einzelaggregate der Turmdrehkrane lassen sich dann in gewissen Grenzen auch zwischen Kranen unterschiedlicher Grösse austauschen.

Die zukünftige verfahrenstechnische Entwicklung des Ingenieurhochbaues tangiert auch die zukünftige Entwicklung der Verfahrenstechnik im Ausbau. Hier sei nur erwähnt, dass der Ausbau sehr viel stärker als bisher in den Rohbau integriert werden muss. Es ist bis heute nicht gelungen, einfache und zuverlässige Kupp-lungen für Installationsblöcke zu entwickeln, die Rohrleitungen von Stockwerk zu Stockwerk zu verbinden. Wenig Gebrauch wird auch von der Nutzung der Hohlkör-perdecke für Klima-, Luft- und Heizungskanäle gemacht. Ebenso müssen neue Verfah-ren der Trittschalldämmung gefunden werden. Es ist ausserordentlich hinderlich, wenn in einem schon weitgehend fortgeschrittenen Ausbau noch grosse Estrich- oder Asphaltmengen zu verarbeiten sind. Soweit Verbundestrich eine ausreichende Schalldämmung erzielt und damit heute z.B. im Schulbau zulässig ist, sollte er noch während des Rohbaues im Fliessverfahren aufgebracht werden. Auch das setzt voraus, dass die Installation in den Rohbau integriert ist. Wenn es ausserdem gelingt, diesen Estrich auf einfache Weise zur statischen Mitwirkung heranzuzie-hen, wäre damit eine erhebliche Ersparnis am Gesamtbauwerk verbunden. Versuche, den Konstruktionsbeton entsprechend ebenflächig abzuziehen, verliefen noch nicht vollbefriedigend.

### 3.3 Turmartige Bauwerke

Im Gegensatz zum Stahlbetonskelettbau hat die Verfahrenstechnik für die Herstel-lung turmartiger Bauwerke ein Niveau erreicht, das in absehbarer Zukunft kaum noch grundlegend verbessert werden kann.



Die erheblichen Vorteile der Gleitschalung sind nicht nur im sehr geringen Lohnaufwand der exponierten Schalarbeiten zu suchen. Das Gleitschalungsverfahren ist eines der wenigen Bauverfahren, die baustofftechnologisch einen echten Fließbandcharakter zeigen. Die Steigegeschwindigkeit der Gleitschalung ist allein an die Erhärtungsdauer des Betons gebunden. Ihr Einsatz muss daher besonders sorgfältig geplant werden, wenn Unterbrechungen mit optischen, betrieblichen und vor allem festigkeitsmindernden Nachteilen vermieden werden sollen. Diese sorgfältige Planung, sonst nicht gerade hervorstechendes Merkmal unserer Baustellen, macht sich bezahlt in einem störungsfreien, sehr schnellen Bauablauf. Die Probleme konisch sich verjüngender Bauwerke und vieler Aussparungen sind seit langem gelöst. Das einzige noch offene Problem der Gleitschalung besteht darin, glatten Sichtbeton zu erzielen. Es sind deshalb Auswege gefunden worden, Sichtbetonflächen betont zu profilieren. Der Mehraufwand ist gering, da die lotrechten Profileleisten nur einmal in der Höhe der Schalung von etwa 1 1/2 m anzubringen sind. Mehrere solcher Bauwerke sind gut gelungen.

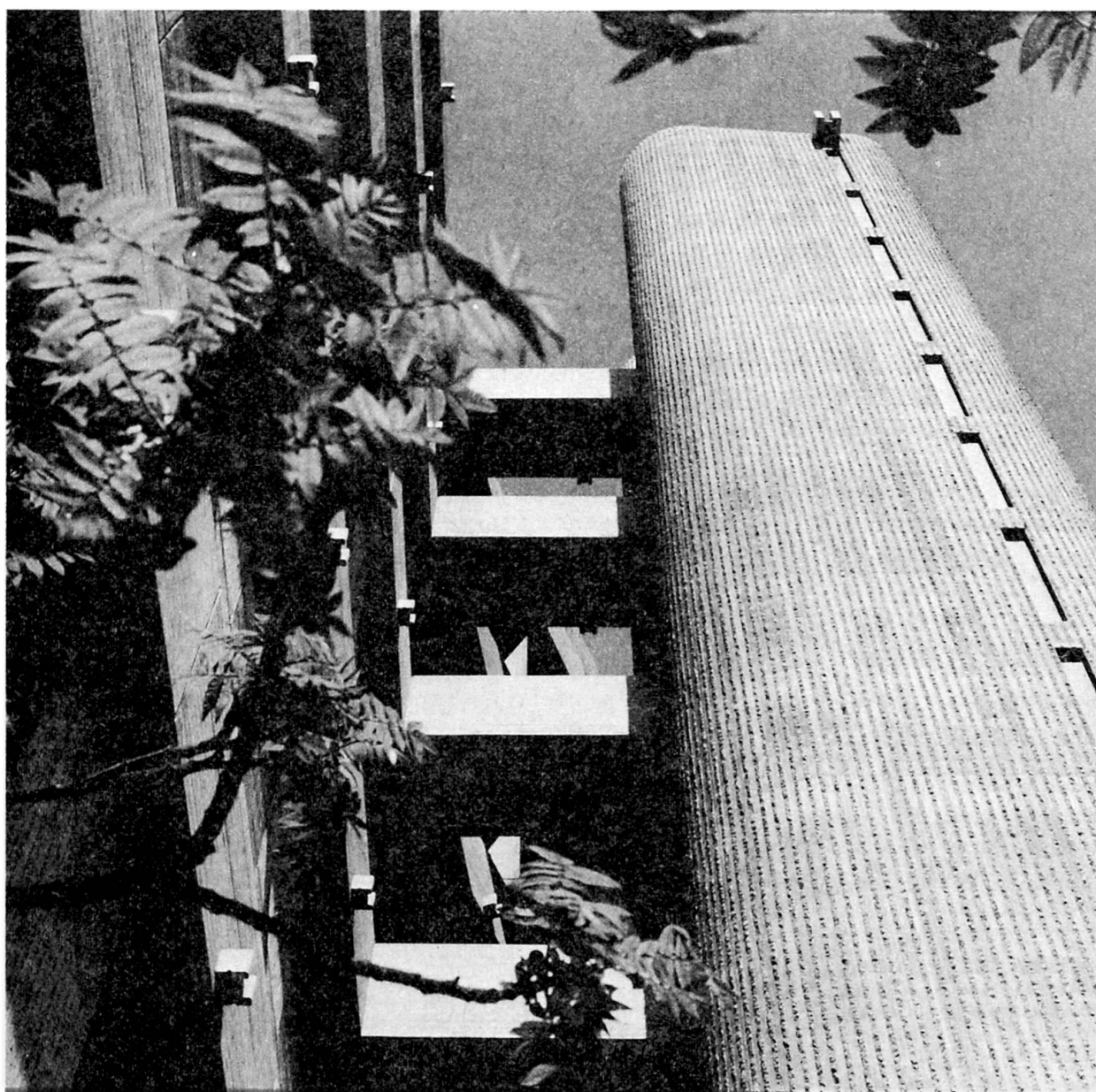


Bild 7: Treppenhausturm in strukturierter Gleitschalung

Für hohe Brückenpfeiler in Sichtbeton ist auch dieses Verfahren nicht geeignet. Hier wurden fahrbare Kletterschalungen entwickelt, die so lange noch im Einsatz sein werden, wie es nicht gelingt, glatten Sichtbeton zu gleiten.

Die Oberflächenrauigkeit des in Gleitschalung erstellten Betons ist auch bei Hochhauskernen nachteilig. Alle sichtbaren Kernwände müssen geputzt oder anderweitig verkleidet werden.

Wenn Hochhäuser hier in die turmartigen Bauwerke einbezogen werden, so soll damit die voraussichtliche Entwicklung nur anklingen. Hochhäuser europäischer Gröszenordnung werden sich in den nächsten Jahren auf zwei Bauweisen konzentrieren:

- Schottenbau
- aussteifende Stahlbetonkerne in Gleitschalung mit Aussenstützen und Unterzügen aus Stahlbetonfertigteilen oder Stahl und örtlich betonierete Decken zur Ausbildung horizontaler Scheiben.

Nur im Winter wird man versuchen, auch die Decken als Fertigteile zu verlegen und trocknen, das heisst durch Schweissen, mit der übrigen Konstruktion zu verbinden.

Beton wird heute bereits durch Pumpen schneller nach oben gefördert als ein schweres Fertigteil. Die Pumphöhe von 200 m wurde erst kürzlich überschritten. Bei den Turmdrehkränen werden sich auf Dauer Aussenkletterer durchsetzen. Andere Bestrebungen zielen auf ein im Bau verbleibendes, statisch mitwirkendes Stahlgerüst ab, auf das lediglich ein Kranoberteil aufgesetzt wird.

### 3.4 Brücken

Die Verfahrensregeln des konstruktiven Ingenieurbauwes gelten grundsätzlich auch für Brückenwiderlager und Pfeiler. Wenn die Ueberbauten kleiner Brücken mitunter heute noch eingeschalt werden mit einzelnen, gegebenenfalls verschieblichen oder versetzbaren Lehrgerüsten, so ist dies kein sehr rationelles Verfahren. Auch in Deutschland sollten sich zukünftige Fertigteilbrücken durchsetzen, wie sie aus anderen Ländern bekannt sind. Selbst das Betonieren überschwerer Fertigteile neben der Brückenstrasse oder auf den Dammstrecken und das spätere Einfahren führt noch zu merklichen Ersparnissen.

Die Entwicklung im Grossbrückenbau ist weiter vorangeschritten. Die Forderung, auf lohnintensive Lehrgerüste und ihre mitunter sehr teure Gründung zu verzichten, hat dazu geführt, die Lasten des frischen Betons unmittelbar über die Brückenpfeiler in den Baugrund abzutragen, die ohnehin dafür bemessen sind. Hieraus entstanden der Freivorbau, die Vorschubrüstung und das Taktschiebeverfahren. Alle Verfahren sind bekannt und in der Literatur ausführlich besprochen. Im nächsten Jahrzehnt dürften hier umwälzende Neuerungen nicht zu erwarten sein.

Die Problematik der schweren Brückenrüstungen liegt in den hohen Anschaffungskosten und in der beschränkten Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Brückenquerschnitte. Die Vereinheitlichung der Brückenabmessungen würde vor allem die teuren Vorschubrüstungen für mehrere Einsätze verwendbar und damit rentabler machen.

Die verfahrenstechnisch vernünftigste Methode, die Brücke abschnittsweise hinter einem Widerlager auf dem Gelände zu betonieren und feldweise vorzuschieben -



das Taktschiebungsverfahren -, lässt sich nur bei gleichem Krümmungsradius über die gesamte Brückenlänge anwenden. Vorschubgerüste sind nur bei hohen und langen Talbrücken wirtschaftlich. Für Strombrücken bleibt daher weiterhin der Freivorbau, sei es in Spannbeton oder Stahlkonstruktion. Auch in Zukunft werden alle drei Verfahren nebeneinander zum Einsatz kommen.

Fraglich ist, ob sich auch der Freivorbau mit Fertigteilen in Zukunft durchsetzen wird. Er erfordert sehr schweres Transport- und Montagerät und bringt gegenüber dem Ortbeton solange keine terminlichen Vorteile, als die Fugen zwischen den Fertigteilen noch örtlich ausbetoniert werden müssen. Nur die Zulassung von Klebefugen kann diese Entwicklung weiter vorantreiben.

Weitgespannte Stahlbrücken und Spannbetonbrücken nähern sich einander an nicht nur im Hinblick auf die Verfahrenstechnik ihrer Herstellung - den Freivorbau -, sondern auch hinsichtlich der Konstruktion: in beiden Bauweisen geht die Tendenz eindeutig zu Schrägseilbrücken, die sich für den freien Vorbau besonders gut eignen.

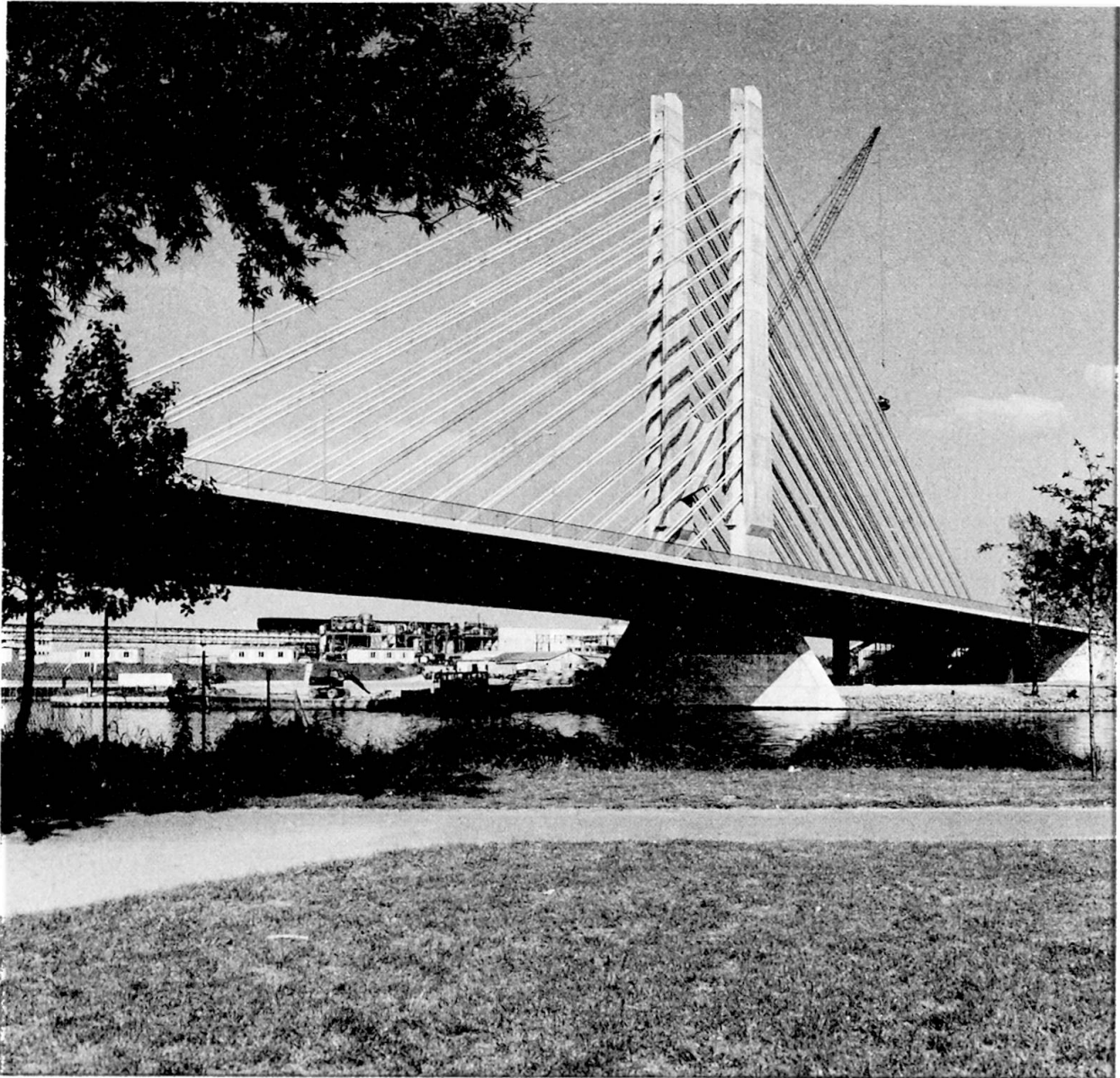


Bild 8: Schrägseilbrücke auf dem Gelände der Hoechst AG, Frankfurt

### 3.5 Staumauern

Staumauern grösseren Ausmasses werden wohl auch in Zukunft bevorzugt mit Hilfe von Kabelkranen gebaut werden. Nur für Staumauern geringer Ausdehnung dürften schwere Turmdrehkrane in Frage kommen. Kabelkrane mit Masten in Baukastenprinzip nach beiden Seiten neigbar, werden sich gegenüber fahrbaren Masten durchsetzen. Auch hier zeigt sich deutlich die Tendenz zur Vereinfachung der Einrichtungsarbeiten einer solchen Transportanlage.

Für das Einschalen der einzelnen Betonblöcke gibt es heute spezielle Sperrenschalungen, anpassungsfähige Kletterschalungen im Modulsystem mit einer Aufhängung zum Einhängen. Sie wird von einem leichten Mobilkran umgesetzt und montiert. Der Kabelkran transportiert auch diesen Mobilkran von Block zu Block. Er bleibt damit frei für den Transport des Betons und das Umsetzen von Maschinen - neben dem Mobilkran Planierdrahtseilen und Rüttelaggregate. Auf diese Weise wird in Österreich z. Bt. die Kölbreinssperre mit 1,6 Millionen m<sup>3</sup> Beton errichtet. Wesentliche Verbesserungen dieses Verfahrens lassen sich für die Zukunft nicht erkennen.

## 4. TIEFBAUTEN

### 4.1 Tiefgründungen, Baugruben

Hochbauten dehnen sich nicht nur oberhalb des Erdbodens aus. Sie erfordern eine standsichere Gründung im Erdboden und häufig eine tiefe Baugrube für unter der Erdoberfläche liegende Räume.

Tiefgründungen sind Pfahlgründungen, Brunnengründungen oder Caissongründungen. Der Umweltschutz lässt Rammpfähle in bebautem Gebiet kaum noch zu. An ihre Stelle treten Bohrpfähle und Benotopfähle. Beide sind sehr viel teurer und erfordern erheblich mehr Zeit als Rammpfähle. Trotzdem werden sie in nächster Zukunft keine wesentliche Weiterentwicklung erfahren können.

Dieselbe Problematik besteht bei Baugrubenumschliessungen. Auch hier setzt sich der gebohrte Verbausträger trotz seiner höheren Kosten gegenüber dem Rammträger mehr und mehr durch.

Die Abkehr vom Rammen gilt auch für Spundwände. Seit Jahren sind schwere Vibratoren in der Erprobung, ohne dass bisher ein befriedigendes Ergebnis erzielt worden ist. Nur in homogenen Sandböden sind die Probleme weitgehend gelöst. Hier werden Spundbohlen heute vorzugsweise im Pressverfahren eingebaut.

Bei der Sicherung und Umschliessung tiefer Baugruben im bebauten Bereich sind auch in anderer Hinsicht Veränderungen zu erwarten. Die Forderungen nach Setzungsfreiheit der Nachbargebäude, nach Erhaltung des Grundwasserspiegels und nach umweltfreundlichen Baumassnahmen bedingen einen verformungsarmen, wasserundurchlässigen Baugrubenverbau. Diese Forderungen erfüllt die verankerte Schlitzwand. Ihre Verfahrenstechnik wird sich nur noch hinsichtlich der eingesetzten Bauglieder und der Trennverfahren von Fall zu Fall ändern und hinsichtlich der Verwendung von Fertigteilen, die von vornherein einwandfreie Oberflächen bieten.

Allerdings ist auch die Schlitzwand noch zu teuer. Sie muss daher möglichst Bestandteil des fertigen Bauwerkes werden. Die Schwierigkeit besteht darin, Lotabweichungen zu vermeiden und dichte Anschlüsse zu erhalten. Mit schweren, am Seil geführten Greifern ist dies mehrfach gelungen. Bei Bauvorhaben in Düsseldorf be-



trug die maximale Abweichung aus der Vertikalen 10 cm in 25 m Tiefe. Schlitzwände binden dort als Dichtungswände etwa 2 m in den undurchlässigen Untergrund ein. Das Grundwasser wurde nur innerhalb der Baugrube bis unter die Gründungssohle abgesenkt, in einem Fall bis zu 18 m unter Gelände. Der Grundwasserbestand ausserhalb der Baugrube blieb unverändert, so dass grundwasserbedingte Setzungen oder wasserrechtliche Schwierigkeiten mit umliegenden Fertigungsbetrieben nicht auftreten konnten. Die enorme Ersparnis in der Wasserhaltung lässt diese Lösung bei geeigneten Bodenverhältnissen auch in Zukunft als kaum noch zu verbesserndes Verfahren erscheinen.

Auch im U-Bahnbau ist dieses Verfahren mehrfach angewandt worden. Da in Köln der undurchlässige Untergrund für eine vollständige Abdichtung zu tief liegt, wurde die umschlossene Baugrube unter Wasser ausgehoben, die Bodenplatte der U-Bahn-Röhre als Unterwasserbeton eingebracht, mit vorgespannten Verpressankern gegen Auftrieb gesichert und die Baugrube erst anschliessend ausgepumpt. Bei langgestreckten Baugruben ist ohnehin zu befürchten, dass eine im Boden verbleibende Dichtungswand die Grundwasserströmung nachteilig beeinflussen könnte.

#### 4.2 Vorpressbau

Von den Verfahren des vertikalen Eindringens in den Untergrund unterscheidet sich weitgehend der horizontale Vortrieb untertage. Für kleine Durchmesser, vor allem Rohrleitungen, wurde in den letzten Jahren das Vorpressverfahren weiter entwickelt. Ähnlich dem Taktschiebeverfahren im Brückenbau wird die gesamte Rohrleitung von einem oder mehreren Schächten aus in allerdings meist vorgefertigten Rohrschüssen eingebracht und im ganzen mit hydraulischen Pressen vorgepresst. Als Widerlager für die Pressen dient die entsprechend stabilisierte rückwärtige Schachtwand. Der Aushub an der Ortsbrust der Rohrleitung geschieht bei kleineren Durchmessern von Hand, sonst mit Teleskopbaggern.

Das Verfahren bietet sich grundsätzlich auch für grössere Querschnitte an. In Zürich wurde eine unterirdische Trafostation mit ihrem Gesamtquerschnitt von rund 11 x 11 m vorgepresst, in Hamburg kürzere Strecken von S-Bahnprofilen mit rund 70 m<sup>2</sup> Querschnitt. Doch tritt bei diesen grossen Querschnitten ein Problem auf: die im Verhältnis zum Vortrieb zu lange Herstellungsdauer der einzelnen Rohrschüsse innerhalb des Startsschachtes. Hinzu kommt, dass gerade der zuletzt eingebaute Schuss beim Vorpressen dem stärksten Druck unterliegt. Fertigteile, die im ganzen in die Startgrube abgesenkt werden, sind zu schwer, und es können auch nicht die einzelnen Abschnitte beliebig verkürzt werden, weil dann die Anzahl der Fugen zu gross würde. Eine Lösung deutete sich bei dem Zürcher Bauwerk an: die einzelnen Schüsse in einer seitlich erweiterten Startgrube auf Vorrat zu betonieren und seitlich in Startstellung zu verschieben.

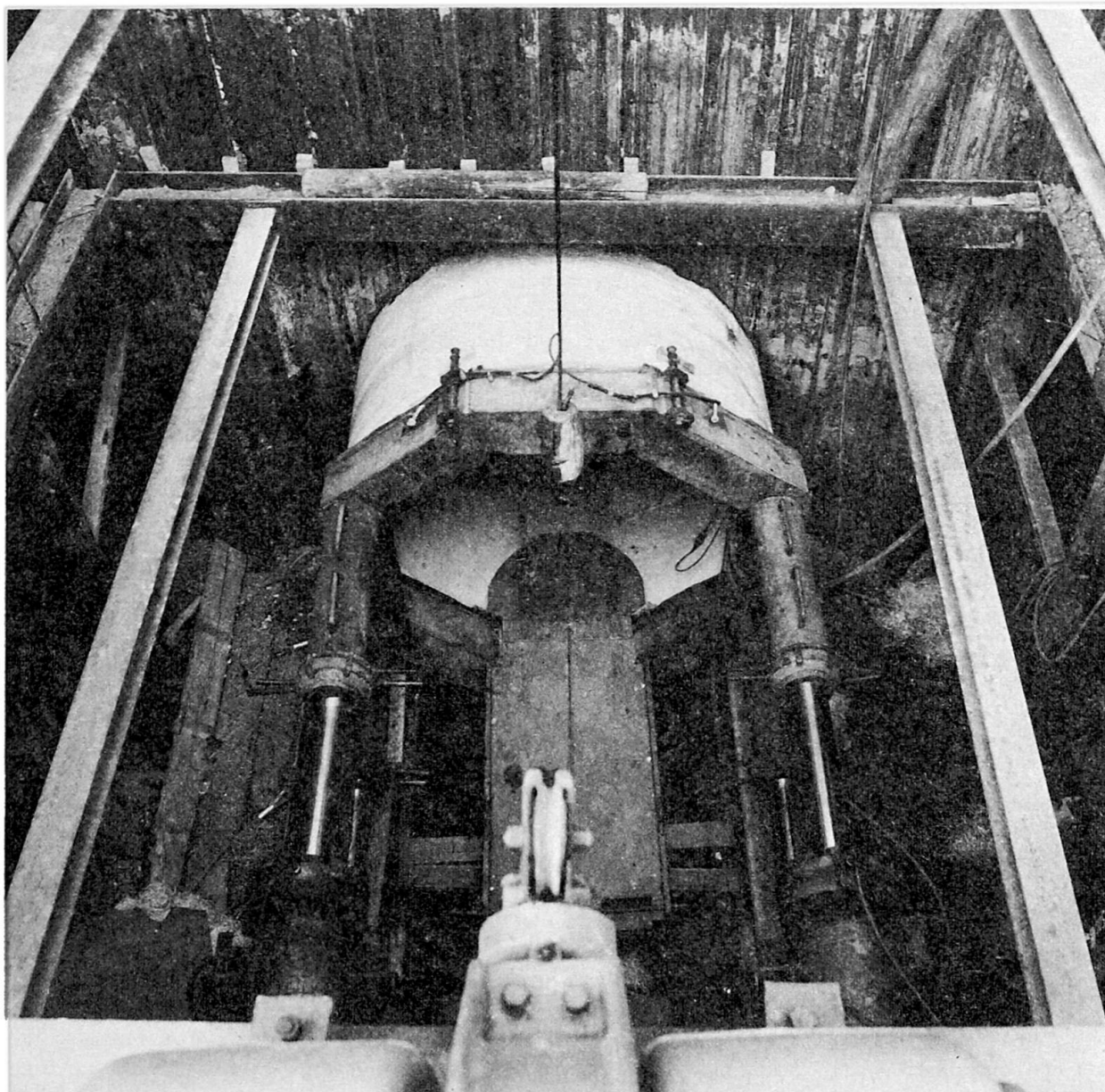


Bild 9: Vorpressschacht

Auf ähnlichem Weg könnte sich aus dem Vorpressverfahren eine Standardlösung entwickeln, Strassenunterführungen im ganzen seitlich, d.h. im Bereich der Strassenrampen vorzufertigen und in einem Stück vorzupressen.

Dieses Verfahren wurde im Jahre 1974 in Deutschland erstmals angewandt bei der Unterführung einer 20 m breiten Bundesstrasse unter einer stark befahrenen Bahnlinie mit 6 Geleisen. Das Hauptproblem bestand bei der geringen Ueberdeckung von knapp 50 cm darin, zu verhindern, dass das Schotterbett und damit das Gleis beim Vorpressen quer zur Bahnlinie aus ihrer Achse verschoben würden. Ein Schirm aus horizontalen Kanaldielen zwischen Betonkonstruktion und Schotterbett löste dieses Problem. Die Dielen wurden paarweise ausserhalb des Pressvorganges vorge-  
drückt und während des Vorpressens am rückwärtigen Pressenwiderlager angehängt, so dass sie nicht mitgezogen werden konnten. Die Vorteile des Verfahrens liegen in der ausserordentlich kurzen Langsamfahrzeit für den Bahnbetrieb, die sich auf die wenigen Tage des Vorpressens beschränkt, und in der Sicherheit gegenüber der Arbeit zwischen und unter stark befahrenen Gleisen. Problematisch sind die schweren Aussteifungsschotten aus Stahlbeton, und der massive, geneigte Schneidschuh





an Decke und Wänden. Diese Teile mussten später mit hohen Kosten wieder abgebrochen werden. Eine von vornherein auf diese Lösung ausgerichtete Planung und eine wiederverwendbare Stahlkonstruktion für Aussteifung und Schneidschuh könnte dem Verfahren zum Durchbruch verhelfen.

Das Vorpressverfahren eignet sich aus Kostengründen nur zur Ueberwindung störungsanfälliger Streckenabschnitte wie Strassen und Bahnlinien. Längere Rohrleitungsstrecken - Pipelines - werden daher meist noch in offener Baugrube verlegt. Obwohl viele Experten den Rohrtransport als Transport der Zukunft ansehen, kann in unserem Raum vorerst kaum mit weiteren grossen Pipelinebauten gerechnet werden. Der Bau von Pipelines ist, obwohl die Einrichtung am Bauwerk entlang wandert, schon heute weitgehend industrialisiert und daher äusserst empfindlich gegen die aus wechselhaftem Gelände resultierenden Störungen. Verfahrenstechnische Aenderungen werden aber sicherlich erst hervorgerufen, wenn der heutige grösste Durchmesser der Rohre von 1200 mm überschritten werden soll oder Stahlrohre durch Kunststoffleitungen ersetzt werden.

#### 4.3 Untertagebau

Der Bedarf an Untertagebauwerken wird weiter steigen. Hinzu kommen aus aktuellem Anlass Ueberlegungen, Kernkraftwerke unterirdisch zu bauen. Viele Verkehrswege werden heute und in Zukunft nur aus Gründen des Umweltschutzes in Tunneln geführt. Unterirdische Verkehrswege oder Entwässerungskanäle im bewohnten Gebiet sollen ohne Verkehrsbehinderung und ohne Umweltbeeinträchtigung erstellt werden, d.h. in Untertagebauweise.

Die Verfahrenstechnik im Tunnelbau hat in den letzten Jahren unter Führung der Alpenländer eine fast stürmische Entwicklung genommen. Standfester Fels kann heute mit mechanischen Vortriebsmaschinen im Vollausschub gebohrt werden. Für Lockergestein setzt sich der Schildvortrieb mehr und mehr durch. Mit der neuen österreichischen Bauweise sind auch für den Ausbau neue Wege beschritten worden. Diese Entwicklung ist noch nicht zu Ende.

An ein modernes Vortriebsverfahren werden folgende Forderungen gestellt:

- geringstmögliche Beeinflussung des Gebirges
- rechtzeitige Sicherung der freigelegten Flächen mit geringstmöglicher Setzung im bebauten Gebiet
- Reduzierung des Ueberprofiles
- Sicherheit für die Mannschaft
- günstige Arbeitsbedingungen
- weitgehende Mechanisierung
- kürzestmögliche Bauzeit

Bei Arbeiten im Grundwasser zusätzlich:

- Verzicht auf Arbeiten unter Druckluft

Neben all diesen Forderungen steht das Streben nach geringstmöglichen Kosten.

Der Einsatz moderner Tunnelbaumaschinen erfüllt diese Ansprüche weitgehend. Jedoch bringt der mechanische Vortrieb im standfesten Gebirge noch Probleme mit sich:

- zusätzliche Massnahmen für nicht kreisrunde Querschnitte
- hohe Werkzeugkosten
- Schwierigkeiten bei der Durchörterung gestörter Zonen
- sehr geringe Anpassungsfähigkeit an andere Ausbruchquerschnitte
- Begrenzung der Vortriebsgeschwindigkeit durch Abrollgeschwindigkeit und Anpressdruck des Einzelwerkzeuges

Lösungen dieser Probleme zeichnen sich ab, sie sind für Teilbereiche bereits verwirklicht.

So bohrt der sogenannte Mini-Fullfacer von Atlas Copco mit einem um eine Horizontalachse schwenkbaren Bohrkopf stehende Rechteckquerschnitte mit halbkreisförmiger oder elliptischer Firste. Für grössere Rechteckquerschnitte kann man sich bis heute nur mit Teilschnittmaschinen behelfen.

Der Werkzeugverschleiss liesse sich verringern durch eine grundsätzlich neue Formgebung, durch verbessertes, aber sicher teureres Material oder auch durch physikalische oder chemische Aufbereitung der Felloberfläche. Hierzu zählen Laser- und andere energiereiche Strahlen, die erhebliche Wärmespannungen im Gestein erzeugen. Jedoch ist die Bestrahlung noch mit Problemen der "Abfallbeseitigung" behaftet in Form der Vernichtung abweichender und überschüssiger Strahlen sowie des Korrosionsschutzes der maschinellen Einrichtung. Strahlen erfordern zudem einen erheblichen Energieaufwand, der sich erst in ferner Zukunft durch Anwendung von Kernenergie wirtschaftlich bewältigen liesse. Einen Tunnel allein aufzufahren mittels Gesteinszerstörung durch Bestrahlung irgendwelcher Art oder mit Hilfe chemischer Verfahren wird in absehbarer Zeit nicht allgemein üblich werden. Auch das Lösen harten Gesteins mit Hochdruckwasserstrahl erscheint nicht sehr aussichtsreich. Ähnliche Verfahren zur Oberflächenbehandlung von Beton anstelle des Sandstrahlens haben sich bisher nicht durchsetzen können.

Störzonen werden mit Hilfe von Zusatzeinrichtungen aufgefahren, die als Schild wirken. Problematisch bleibt hier, den für den Vorschub der Maschine erforderlichen seitlichen Abstützdruck zu erzielen, während diese die Störzone durchfährt.

Die Beschränkung der Vortriebsgeschwindigkeit der mechanischen Vortriebsmaschinen durch die maximale Abrollgeschwindigkeit der Meissel ist ein technisches Problem, das zum Teil bereits gelöst ist. Durch Aufteilung des Bohrkopfes in eine innere Scheibe und einen oder mehrere Kreisringe können diese mit verschiedenen Geschwindigkeiten gefahren werden. Da die Begrenzung in der Abrollgeschwindigkeit des Einzelwerkzeuges liegt, lassen die zentralen Bohrkopfteile eine höhere Drehzahl zu. Die äusseren Ringe des Bohrkopfes bieten mehr und damit ausreichend Platz, mehrspurige Meisselaggregate unterzubringen. Ein n-faches Meisselaggregat erzielt mit einer Umdrehung des Bohrkopfringes ebenso den n-fachen Vortrieb wie die inneren Bohrkopfteile mit n-facher Drehzahl bei einspuriger Meisselbestückung. Die einzelnen Bohrkopfringe sollten allerdings in geringfügig versetzten Ebenen angeordnet sein. In ein und derselben Ebene führen Differenzgeschwindigkeiten zum Verklemmen von Bohrgut im Grenzbereich. Von Vorteil wäre ausserdem eine gegenläufige Umdrehung der einzelnen Bohrkopfteile. Sie würde die über seitliche Abstützungen auf den freigelegten Ausbruchquerschnitt übertragenen Drehmomente erheblich reduzieren.



Ein schnellerer Vortrieb wird heute schon erzielt mit der Methode des Hinterschneidens nach dem Wohlmeyer-Prinzip. Hier führen mehrere schräg gelagerte Bohraggregate zusätzlich zur Drehung des Bohrkopfes Eigendrehungen aus. Sie zerstören das Gestein nicht durch Zermahlen unter Anpressdruck, sondern durch Hinterschneiden, d.h. Losbrechen dünner Schichten.

Ein grosses finanzielles Problem ist die geringe, nur selten realisierbare Wiederverwertung der Vortriebsmaschinen. Nur die Vereinheitlichung der Ausbruchquerschnitte könnte hier Abhilfe schaffen, solange ein Umbau der Vollschnittmaschinen auf andere Durchmesser nicht möglich ist. Allerdings würde eine Ausbildung des Bohrkopfes in mehreren Ringen die Voraussetzung schaffen für eine Anpassung an verschiedene Durchmesser. Aus der Vielfalt der Ausbruchquerschnitte erwächst heute auch ein zeitliches Problem: der Bau einer neuen Vortriebsmaschine auf einen bestimmten Querschnitt kann 8-12 Monate dauern. Erst nach dieser Zeit beginnt der eigentliche Vortrieb.

Aus den Lösungsansätzen dieser Problematik liesse sich folgern, der Tunnelbau tendiere im standfesten Gebirge zum mechanischen Vortrieb, d.h. zu Vollausbruchmaschinen. Dies trifft nicht ohne Einschränkung zu.

Die Entwicklung hydraulischer Bohrhämmer für den konventionellen Sprengvortrieb hat auch diesem Verfahren wieder Auftrieb gegeben, so dass es zumindest für kurze Strecken und für stark wechselhaftes Gebirge mit häufigen Störzonen in den nächsten Jahren noch weit verbreitet sein wird.

Unabhängig vom Ausbruchverfahren werden Sicherung und Verbau im standfesten Gebirge sich kaum ändern. Bei der geringeren Gebirgsbeanspruchung durch mechanischen Vortrieb genügt meist eine Auskleidung mit Spritzbeton, der in Zukunft vermehrt als Stahlfaserspritzbeton zum Einsatz kommen wird. Auskleidungen mit Beton werden nach den bekannten Verfahren mit grossräumiger mechanisierter Tunnelschalung erstellt.

Im Lockergestein ist die Entwicklung noch vielfältiger. Getriebezimmerung und Brustverbau sind weitgehend ersetzt durch Schildvortrieb nach mehreren Methoden: Bühnenschild, Messerschild, offene oder geschlossene Schürfscheiben, grösstenteils hydraulisch vorgetrieben. Damit sind wesentliche Forderungen an ein modernes Vortriebsverfahren auch im Lockergestein erfüllt: geringe Setzungen, minimales Ueberprofil, grössere Sicherheit, grössere Mechanisierung.

Jedoch weist auch der Tunnelbau im Lockergestein noch Probleme auf:

- Wahl des zum Vortriebsverfahren geeigneten Sicherungs- und Ausbausystems
- Beseitigung von Hindernissen beim Einsatz von Schürfscheiben
- Vortrieb unter Druckluft mit der Gefahr von Ausbläsern und Einbrüchen an der Ortsbrust unter Grundwasser

Wenn ein dauerhafter Ausbau mit Spritzbeton im Lockergestein nicht ausreicht, wird das kostengünstigste Ausbaufahren in Zukunft der einschalige Ausbau mit Stahlbetontübbings bleiben. Für Tunnel unter Grundwasser gibt es hierfür bereits einwandfreie Dichtungen. Das Problem, diese Tübbings mit sehr geringen Masstoleranzen herzustellen, wurde in Einzelfällen gelöst. Es liesse sich besser lösen, könnte man diese Tübbings standardisieren und industriell fertigen. Für schwierigere Böden wird der Ausbau mit Stahlbögen und Sickenblechen beibehalten werden, der eine schnellere Absicherung des Ausbruches ermöglicht.

Die Beseitigung von Hindernissen spielt nur bei geschlossenen Schürfscheiben eine grössere Rolle, während bei offenen Schürfrädern der Vortrieb kaum aufgehalten wird.

Das grosse Risiko von Wassereinbrüchen beim Auffahren von Tunneln im Lockergestein unterhalb des Grundwasserspiegels hat zum mechanischen Schildvortrieb mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust geführt. In Japan werden seit 1961 Tunnel unter Grundwasser ohne Druckluft mit wassergestützter Ortsbrust aufgeföhren. Der vordere Teil des Schildes ist dabei als Druckkammer ausgebildet und mit Druckwasser gefüllt. Das Ausbruchmaterial kann unter ständiger Erneuerung des Wassers mit Stickstoffpumpen abgeföhrt werden. Schwierig ist das Einhalten eines konstanten Druckes und nahezu unmöglich das Beseitigen von Hindernissen, wenn hierfür nicht jeweils das Druckwasser durch Druckluft ersetzt wird.

Ein in Deutschland entwickeltes Verfahren verringert diese Probleme durch Verwendung von Betonit anstelle von Wasser und Einbau einer Tauchwand in der Druckkammer. Die Tauchwand dient dazu, den gleichmässigen Flüssigkeitsdruck auf die Ortsbrust sehr viel zuverlässiger über ein Luftpolster als direkt zu regeln.

Das Betonit hat ferner den Vorteil, dass bei der Beseitigung von Hindernissen ein Betonitfilm die Ortsbrust gegen Ausbrüche weitgehend schützt, wenn die Stützflüssigkeit durch Druckluft ersetzt werden muss.

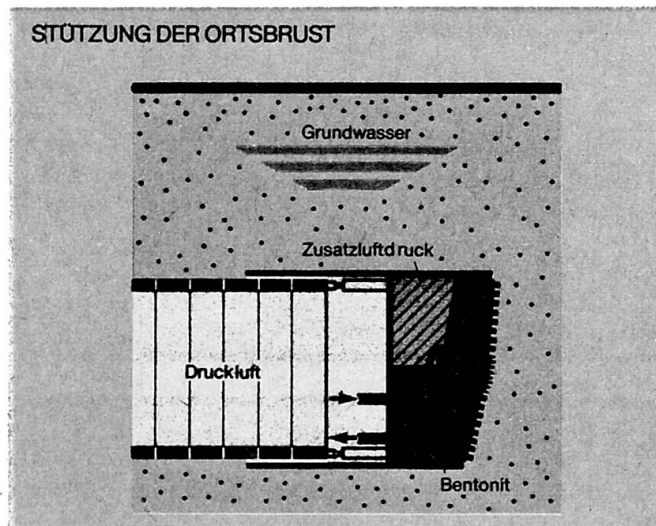


Bild 10: Wayss & Freytag - Hydroschild

Der druckluftfreie Vortrieb ist damit noch nicht konsequent zu Ende entwickelt. Bei den in den letzten Jahren mit dem Betonitschild aufgeföhrenen Tunneln wurde hinter dem Schild stets wieder mit Druckluft gearbeitet. Erst in den letzten Monaten ist es gelungen, den Schildschwanz gegen den bereits fertiggestellten wasserdichten Ausbau einwandfrei gegen Grundwasser abzudichten, so dass der gesamte Tunnel unter atmosphärischem Druck aufgeföhren und ausgebaut werden kann.



## 5. SCHLUSSBEMERKUNG UND ALLGEMEINE PROBLEMATIK

Zukünftige Anforderungen an die Verfahrenstechnik im Bauwesen, die sich heute schon abzeichnen, lassen auch die spezielle Problematik erkennen, die mit der Erfüllung dieser Anforderungen verbunden ist. Wie Beispiele zeigen, geben die Wege zur Lösung dieser Probleme Aufschluss über die künftige Entwicklung der Verfahrenstechnik.

Es lässt sich erkennen, dass vor allem steigende Lohnkosten ein dauerhaftes Stimulans für die Fortentwicklung der Verfahrenstechnik darstellen, aber auch Auflagen des Umweltschutzes, die Forderung nach sicheren, humanen Arbeitsplätzen und Wandlungen in den Wünschen der Bauherren.

Dabei hat in den letzten Jahren eine übergeordnete Tendenz zunehmend an Bedeutung gewonnen: der Übergang von absatzweisen zu stetigen Verfahren. Deutliche Merkmale dieser Entwicklung sind Schaufelradbagger, Saugbagger, Stetigförderer und Absetzer im Erdbau, Betonpumpen und Gleitschalung im Betonbau, Vorpressverfahren, Schildvortrieb und mechanische Vortriebsmaschinen im Untertagebau.

Einige generelle Probleme stehen einer Fortentwicklung der Verfahrenstechnik im Bauwesen heute noch im Wege:

Die Bauproduktion ist eine Bereitschaftsproduktion. Mit wenigen Ausnahmen wird auf Anforderung, nicht auf Vorrat gebaut. Daher fehlt der Bauwirtschaft die Möglichkeit, den Markt so zu steuern, wie das in vielen anderen Produktionszweigen der Fall ist. Der Bauprodukt wird bestimmt von einer Vielzahl von Auftraggebern, zum grossen Teil der öffentlichen Hand. Das führt gegenüber anderen Produktionszweigen zu erheblichen Nachteilen. Es mag dies eine Erklärung dafür sein, dass die Bauproduktion in vielen Bereichen noch als rückständig angesehen wird.

Die Gründe dafür sind:

- mangelnde Standardisierung auf vielen Gebieten, von Stahlbetonfertigteilen über Brückenquerschnitte bis zu Tunnel- und Stollenprofilen,
- mangelnde langfristige Planung der grossen, vor allem der öffentlichen Auftraggeber und deren Ausschreibungspraxis,
- anhaltend ungünstige Konjunktur mit mangelhafter Kapazitätsauslastung.

Manche verfahrenstechnische Entwicklung würde beschleunigt, wenn der Unternehmer wüsste, dass diese Entwicklung und die damit verbundenen Investitionen auch bei weiteren Objekten noch einzusetzen wären.

Kurzfristige Planung und Ausschreibung lassen häufig gar nicht die Zeit für neue Entwicklungen an einem speziellen Objekt. Die Anschaffung neuer oder verbesserter Maschinen wird zurückgestellt, solange vorhandene Maschinen nicht ausgelastet sind.

Die Lösung neuer verfahrenstechnischer Aufgaben setzt die genaue Kenntnis des gesamten Problemkreises voraus und die ständige Auswertung positiver und negativer Erfahrungen nicht nur seitens der Unternehmer, sondern auch der Auftraggeber und der Baumaschinenhersteller.