

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 85 (1967)
Heft: 6

Artikel: Zur Frage der Gesteinsfestigkeit und ihres Einflusses auf den maschinellen Stollenvortrieb
Autor: Schönholzer, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-69370>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.03.2025

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

Dampfhärtung von Bauten in Ortsbeton

Deutsche Zusammenfassung des Aufsatzes «Etuage d'ouvrages de béton armé coulés en place»
Von Ing. **W. Thoma**, Saint-Cloud, S. et D.

Die Kenntnisse von der Abhängigkeit zwischen Temperatur und Betonfestigkeit, allzulange wenig bekannt, werden neuerdings von planenden und ausführenden Ingenieuren mit Erfolg in Fertigbetonfabriken wie auch für Bauten in Ortsbeton angewendet.

Die Anwendung von sommerähnlichen Temperaturen bis etwa 30 °C ist gefahrlos, aber wirtschaftlich gesehen von ungenügendem Einfluss auf die Betonerhärtung. Die hohen Temperaturen bis 80 °C erlauben eine gute Wirtschaftlichkeit, sind aber von Einflüssen begleitet, die genau beobachtet werden müssen, um Fehlschläge zu vermeiden.

Beim Bau einer Schwimmbadhalle in Strasbourg wurden weitgespannte Eisenbetonträger, an Ort hergestellt, durch Dampf erhärtet. Die Umsetzung der Schalungen und Gerüste konnte damit auf rund ein Drittel der normalen Zeit herabgesetzt werden. Diese Ausführungsart gab zu folgenden Bedenken der planenden und der kontrollierenden Ingenieure Anlass:

- Ungleichmässigkeiten bei der Härtung in einem relativ grossen, dem Winde ausgesetzten Tunnel,
- Ungenügende Härtung beim Anschluss an den ungeheizten Ortsbeton,
- Ungenügende Haftfestigkeit der Armierung im gehärteten Beton,

- Verformungsmodul wächst nicht in gleichem Masse wie die Druckfestigkeit, was trotz genügender Härtung zu unzulässiger Durchbiegung führt,
- Lokale Austrocknung des Frischbetons und dadurch Rissebildung.

Im vorliegenden Aufsatz wird gezeigt, wie diesen Bedenken Rechnung getragen wurde:

- durch Vorversuche über Heizdauer und Heizstärke;
- durch weitgehende Kontrolle des Temperaturanstiegs und des Temperaturabfalls;
- durch Kontrolle der Druckfestigkeiten;
- durch Anordnung einer Auffangstütze (Notstütze) am ersten Träger, welche nachher weggelassen wurde.

Es wird gezeigt, dass die Eichkurven des Schmidt-Hammers (Messung der Aufprallhärte) für französische Betonkiese stark verschieden sind von den schweizerischen. Bei jeder Baustelle mit nicht schon bekannten Betonzuschlagsstoffen muss eine individuelle Eichkurve aufgestellt werden.

Die Dauerbeobachtung der lotrechten Durchbiegungen hat ergeben, dass das befürchtete Kriechen des wärmegehärteten Betons nicht eingetreten oder wenigstens so klein ist, dass es von den hygromischen Verformungen überdeckt wird.

Zur Frage der Gesteinsfestigkeit und ihres Einflusses auf den maschinellen Stollenvortrieb

DK 624.191.2:622.831

Von **A. Schönholzer**, dipl. Ing. ETH, SIA, ASIC, Thun

Die Maschinenfabrik Habegger AG in Thun hat im Laufe der letzten Jahre eine Tunnelfräsmaschine entwickelt. Diese schweizerische Konstruktion hat heute nach Überwindung der unvermeidlichen Kinderkrankheiten die volle Fabrikations- und Einsatzreife erreicht. Ein erstes Modell der Maschine ist in Japan im Einsatz, wo es im untermeerischen Seikan-Tunnel-Projekt am Vortrieb des Pilot-Stollens von 3,6 m Durchmesser arbeitet. Beim durchörterten Gestein handelt es sich bisher um weiche Sandsteine vulkanischen Ursprungs mit hohem Wassergehalt, vergleichbar mit unseren Molasse-Sandsteinen. Eine weitere Maschine wird nächstens in einem Stollen der Julia-Kraftwerke der Stadt Zürich den Dienst aufnehmen.

Die mit diesen ersten Maschinen vor ihrer Ablieferung in massigem mittelhartem Gestein (Malmkalk) durchgeführten Versuche lassen erkennen, dass ein wirtschaftlicher Einsatz des neuen Gerätes in Felsen bis gegen 1600 kg/cm² Druckfestigkeit sicher und bis 2000 kg/cm² durchaus möglich ist. Ein Überschreiten dieser Grenze ist denkbar, die Wirtschaftlichkeit hängt indessen von den Bedingungen des betreffenden Projektes und den noch durchzuführenden Versuchen ab. Sicher ist, dass durch diese Neuentwicklung die Einsatzmöglichkeiten für eine Vortriebsmaschine ganz wesentlich in Richtung höherer Gesteins-Festigkeiten verschoben worden sind.

Dem Bauingenieur fällt die Aufgabe zu, aus den geologischen und geotechnischen Unterlagen die Einsatzmöglichkeit und die Leistungen der Maschine abzuschätzen. Die ihm als Grundlage zur Verfügung stehenden Angaben umfassen in der Regel die Beschreibung der geologischen Formation und allenfalls die am einfachsten messbare Gesteins-Qualifikation, die Druckfestigkeit am Probekörper, die wir aber, im Gegensatz zur Praxis, nicht ohne weiteres mit der Härte gleichstellen dürfen. Es sei daher ganz allgemein die Frage gestellt, welche Angaben für den Einsatz der Stollenbohrmaschine von Bedeutung sein können.

Die Qualifikation des Felsens lässt sich ungefähr in die folgenden Einzel-Aussagen aufteilen:

- die Härte der Einzelkörner und Kristalle,
- die Natur, Dichte und Härte des Verbandes, sowie das Porenvolumen und der Wassergehalt,
- die Festigkeit des Gefüges im präparierten Probekörper, trocken,
- die Festigkeit des Gefüges in natürlicher Lagerung, d. h. mit dem Einfluss der vorhandenen Risse und Schieferungen, sowie des Streichens und Fallens zur Stollen- und zur Schnittrichtung.

Auf der Maschinenseite stehen die folgenden, experimentell zu ermittelnden Kriterien gegenüber:

- die optimale Fräser-Schnittgeschwindigkeit,
- das optimale Verhältnis von Schnittbreite zu Brechbreite,

- die Standzeit der Fräser (Wirtschaftlichkeit),
- der Energiekonsum,
- das Verhalten des Gesteines im Schnitvorgang und in der Schut-terung,
- die Möglichkeit der Wasserzugabe.

Es ist klar, dass die bisherigen Versuchsbohrungen viel zu kurz waren, um über diese Zusammenhänge endgültige Aussagen zu machen. Sie liessen aber die Vielschichtigkeit des ganzen Fragenkomplexes erkennen und gaben somit Anlass zu den nachfolgenden Überlegungen. Es wird überhaupt schwer sein, wirklich allgemein gültige Regeln aufzustellen, denn der innere Aufbau der alpinen Felsgesteine ist viel zu mannigfaltig. Zur Illustration stelle man sich das dichte Kristallgefüge eines Granites vor, ein Gemisch aus harten und mittelharten Körnern mit minimalem Porenvolumen (weniger als 1 %), und als Gegensatz dazu einen Molasse-Sandstein, aus an sich gleich harten Quarzkörnern, aber mangelhaft verkittet, und mit einem Porenvolumen bis zu 20 %. Wieder anders sind die Verhältnisse bei weichen, blätterigen Schieferungen oder schliesslich bei den dichten kalkigen Tiefseeablagerungen mit ihren stark veränderlichen Festigkeitswerten. Oftmals sind an sich sehr harte Felsen in grösseren und kleineren Abständen von Tonhäuten durchzogen, die als präparierte Bruchlinien wirken und den Zusammenhalt des Gefüges stark vermindern. Dazu ist jedes Gestein in seiner natürlichen Lagerung – und nur diese kann uns hier interessieren – als Folge der tektonischen Vorgänge von Rissen durchzogen, die je nach ihrer Charakteristik den Tunnelbau im allgemeinen und das Tunnelfräsen im speziellen beeinflussen. Aus diesen Überlegungen geht hervor, dass die Angabe der geologischen Formation, der Lagerung und der Würfeldruckfestigkeit vorerst nur Indizien für die Zweckmässigkeit des Einsatzes einer Tunnelfräsmaschine und deren Leistungsbedarf und Kostenaufwand geben können.

Betrachten wir zunächst einmal den mechanischen Vorgang des Vortriebes mit dieser Maschine. Im Gegensatz zur klassischen Sprengung, die den Felsen auf 1 ÷ 3 m Tiefe und den vollen Querschnitt durch eine Serie Explosionen zertrümmert, wird das Gestein an einer festen Zahl kleiner Angriffsstellen abgebaut. Der grosse Vorteil des Vorgehens liegt darin, dass die Zertrümmerung des Gefüges nur ganz oberflächlich bleibt. Der innere Zusammenhang des Gesteines wird viel weniger gestört als beim Sprengen; gefährliche Schichtungen können sich nicht so fatal auswirken. Das Überprofil, ein nicht zu unterschätzender Kostenfaktor, entfällt fast vollständig. Dieser Vorteil ist natürlich allen Stollen-Bohrmaschinen eigen. Neu und entscheidend bei der Habegger-Maschine ist der Abbau des Gesteines durch Fräsen. Der Begriff stammt aus der Metallbearbeitung und

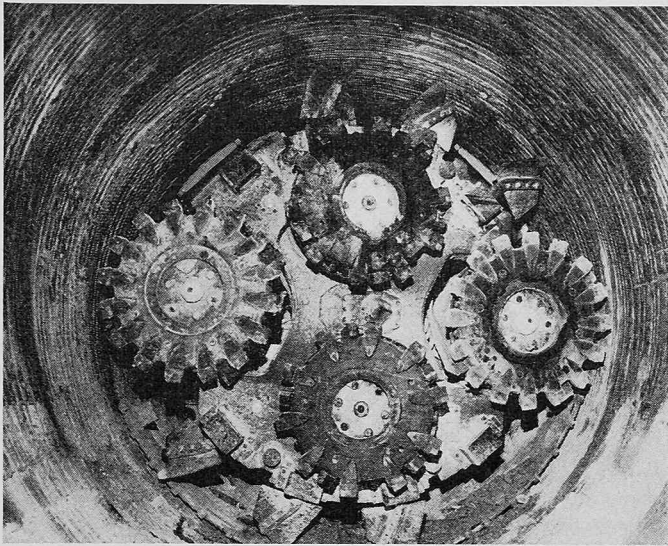


Bild 1. Angriffseite der Tunnelfräsmaschine Habegger

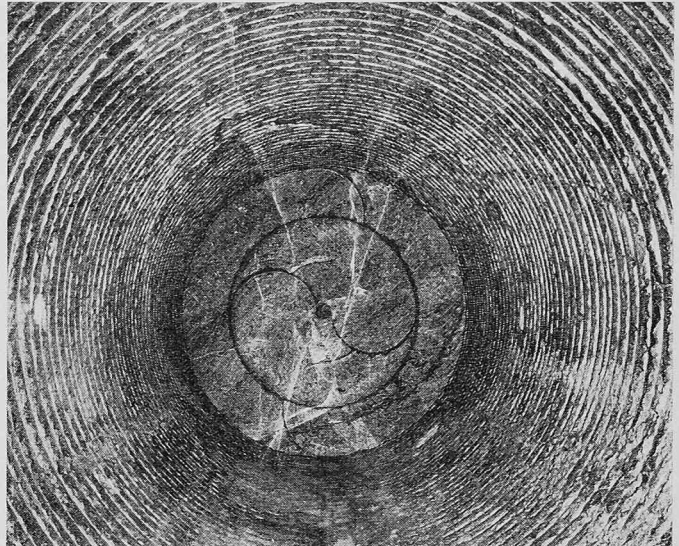


Bild 2. Stollenbrust im Malmkalk, Durchmesser 3,60 m

bedeutet ein Schneiden durch Überwindung der Scherfestigkeit im Material. Man ist daher versucht, anstelle der Druckfestigkeit vorerst einmal die Scherfestigkeit als das eigentliche Kriterium für den Einsatz der Maschine zu bezeichnen. Sie ist indessen der direkten Messung kaum zugänglich und muss über den Umweg der Druck- und der Zugfestigkeit rechnerisch ermittelt werden. Wie liegen die Verhältnisse tatsächlich? Wir nennen als Beispiel den Beton als gut erforschtes Kunstgestein mit $400 \div 600 \text{ kg/cm}^2$ Druckfestigkeit. Die Zugfestigkeiten am Probekörper, der infolge seiner Fabrikation rissfrei sein soll, erreichen rund $30 \div 50 \text{ kg/cm}^2$, also knapp den zehnten Teil der Druckfestigkeit. Beim Gestein in natürlicher Lagerung sinkt die Zugfestigkeit in der Regel tiefer, da sich die unvermeidlichen, meist unsichtbaren Risse auswirken. Aus den bisherigen Untersuchungen seien einige Beispiele angeführt, wobei nur Gesteine mit kleiner Streuung der Versuchswerte, also mit relativ homogenem Charakter zitiert werden:

	Würfeldruckfestigkeit kg/cm ²	Spaltzugfestigkeit ¹⁾ kg/cm ²	in %
Malmkalk (Simmenfluh)	1715	56	3
kristall. Konglomerat (Japan)	2263	154	7
Sandstein (Japan)	1030	55	5

¹⁾ Messung der EMPA an kleinen Probekörpern, also sicher rissfrei!

Das Kunstgestein Beton erreicht in dieser Auswahl die relativ höchste Zugfestigkeit von 8–10% der Druckfestigkeit. Diese Zusammenstellung lässt erwarten, dass die Zugfestigkeit im allgemeinen klein bleibt, d.h. unter 10% der Druckfestigkeit, dass sie aber in erster Annäherung wie bei den Metallen proportional zu ihr verläuft. Dies lässt weiter den Schluss zu, dass auch die Scherfestigkeit, die mit Zug- und Druckfestigkeit in festem Zusammenhang steht, ebenfalls klein sein und ungefähr proportional zur Druckfestigkeit verlaufen muss. Die *Druckfestigkeit* am Probekörper darf daher vereinfachend als *das massgebende Kriterium* für den Einsatz der Tunnelfräsmaschine Habegger bestätigt werden.

Damit ist aber über Abhängigkeit der Druckfestigkeit von der Porosität und dem Wassergehalt des Steines noch nichts ausgesagt. Es ist bekannt, dass die «Aufweichung» durch den Wassergehalt je nach dem Bindemittel wesentliche Festigkeitseinbussen bewirken kann. Diese aus der Literatur²⁾ übernommene Tatsache ist auch hier im Molasse-Sandstein beobachtet worden. Der Fräsaufwand erwies sich als viel geringer, als nach der Druckfestigkeit zu erwarten war. Im Stollen hat man es in der Regel mit naturfeuchtem Gestein zu tun, während die Druckfestigkeitsmessungen ausnahmslos an getrockneten Probekörpern stattfinden. Die Druckversuche müssen sich daher auch auf naturfeuchte Proben erstrecken, sofern die Porosität eine Aufwei-

²⁾ de Quervain: Die nutzbaren Gesteine der Schweiz.

Bild 3. Fräser im Einsatz im Sandstein (Molasse)

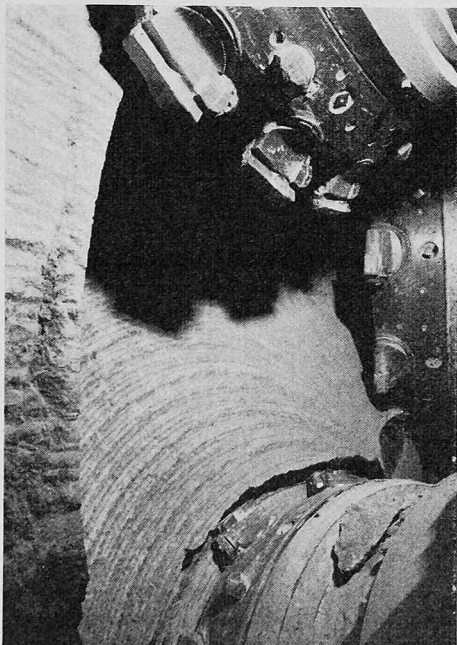


Bild 4. Ausbruchmaterial in natürlicher Schüttung, Stückgrösse im Vordergrund 20–30 cm



chung erwarten lässt. Diese Frage wird zur Zeit speziell in Australien untersucht, wo unter der Stadt Sydney ausgedehnte Lagen von porösem Sandstein mit Kieselsäure als Bindemittel zu durchfahren wären.

Nach dieser ersten Betrachtung der Verhältnisse im Fels sei zu den bei dem Fräsen auftretenden Vorgängen und Kräften an der Maschine übergegangen. Ihre Angriffsseite (Bild 1) ist mit vier rotierenden Frärscheiben versehen, deren Achsen ihrerseits in festen Abständen um die Stollenaxe kreisen. Alle vier Frärsachsen stehen in festen Winkeln leicht schief zur Stollenaxe. Die beiden äusseren Frärscheiben, jede mit sechs Messern bestückt, folgen einer äusseren Kreisbahn, die beiden Innen-Fräser mit je 16 Messern einer anderen. Als Messer sind auswechselbare Hartmetallklötze von $4 \times 4 \times 3$ cm eingesetzt, deren Kanten leicht gerundet sind. Jedes dieser Messer schneidet in jedem Durchgang einen sichelförmigen (Innenfräser), bzw. kommaförmigen Abschnitt wie eine Nute aus dem Felsen. Diese Abschnitte oder Streifen aneinandergereiht ergeben ein schraubenförmiges Abschälen der Stollenbrust (Bild 2), wobei sich die Steigung dieser zweigängigen Schraube aus der Messerbreite plus einem Zwischenraum von $0 \div 8$ cm zusammensetzt. Der gesamte Vorschub pro einmaliger voller Umdrehung des Fräswerkes kann daher 2×4 cm Fräsbreite plus $2 \times \max. 8$ cm Brechbreite, also bis 24 cm erreichen. Die Zwischenräume, wo das Gestein dank seiner geringen Zugfestigkeit nicht geschnitten sondern mitgebrochen wird, wären bei Felsen von metallartigem Charakter nicht denkbar. In der Stollenaxe selbst bleibt ein Gesteinszapfen stehen, der die doppelte Schraubenspur der Innenfräser trägt und von Zeit zu Zeit abbricht. Von den Aussenfräsern sind jeweils im Komma ein Viertel, von den Innenfräsern die Hälfte der Messer im Angriff, also im ganzen 18 Messer.

Welcher Art ist nun die von ihnen auf den Felsen ausgeübte Beanspruchung? Sie ist jedenfalls eine doppelte und besteht aus dem Vorschub parallel zur Stollenaxe und aus der Rotation des Fräswerkes und der Fräser-Scheiben. Die bisherigen Versuche im Malmkalk ergaben einen wirtschaftlichsten Anpressdruck in der Grössenordnung von 40 t, oder 2,2 t pro arbeitendes Messer, oder um die 1000 kg/cm^2 Flächenpressung zwischen Messer und Fels. Dieser Druck erscheint bescheiden; er bewirkt aber im Kalk wie im Sandstein einen erstaunlich regelmässigen Vortrieb. Jede Messerkante zeichnet auf der Stollenbrust eine geringe Spur lokaler Kornzertrümmerung, die das Schnittbild und übrigens auch die Spur eines defekten Messers getreulich nachzeichnet (Bild 3).

Wesentlich anders sind die Verhältnisse bei der eigentlichen Fräsarbeit in der quer zur Stollenaxe liegenden Ebene. Die verfügbare Umfangskraft jeder Frärscheibe beträgt bei den heutigen Modellen rund 27 t, die sich theoretisch proportional je nach ihrer Arbeitstiefe auf die vier bzw. fünf eingreifenden Messer verteilt. Unter der hypothetischen Voraussetzung eines vollständig gleichmässig schneidbaren Gesteins ergäbe sich eine spezifische Flächenpressung zwischen Messer und Fels von $1,5 \text{ t/cm}^2$. Diese hat sich bisher als durchaus hinreichend erwiesen, um die Messer sozusagen ruckfrei eindringen und das Gestein abtragen zu lassen (Bild 3). Dabei zeigt die Beobachtung des Schneidvorganges, dass es sich – erwartungsgemäss – kaum um ein Schneiden, sondern um ein fortlaufendes Abdrücken oder Absplittern handelt. Es ist klar, dass die vorherrschenden Spaltrichtungen des Felsens eine gewisse Rolle spielen können, obwohl jeder Fräser in seinem Durchgang den optimalen wie den ungünstigsten Schnittwinkel zu durchlaufen hat.

Nach diesem Überblick über die von der Fräsmaschine auf den Felsen ausgeübten Kräfte kehren wir zum Ausgangspunkt der Betrachtung zurück, der Beurteilung der Felsgesteine im Hinblick auf

den Einsatz dieses Gerätes. An erster Stelle wurde die Härte der Einzelkörner und Kristalle genannt, wobei der Quarz als mengenmässig überragendes Hartmineral im Vordergrund steht. In der bekannten empirischen Härteskala steht er an siebter Stelle. Härter sind nur noch die seltenen Minerale Topas, Korund und Diamant. Leider liess sich kein direkter Vergleich zwischen den Härten der modernen Werkstoffe (Rockwell) und den genannten Mineralienhärten finden. Es darf aber als erwiesen gelten, dass die an der Fräse verwendeten Hartmetalle in die Klasse 8–9 gehören. So wurden auch die in der Nagelfluh (Molasse) steckenden Quarzknollen glatt abgetragen und nicht etwa aus dem Gefüge gebrochen. Mit andern Worten: die Härte der Fräser-Werkstoffe würde genügen, um sozusagen jedes Hartgestein zu bearbeiten. Jedoch steigt mit der Annäherung der Mineralhärte an die Werkzeughärte der Verschleiss gewaltig an, der die Grenze des wirtschaftlichen Einsatzes bestimmen wird. Auf der Maschinenseite stehen indessen eine Reihe Anpassungsmöglichkeiten zur Verfügung, nämlich:

- die Variation des Anpressdruckes,
- die Anpassung der Drehgeschwindigkeit des Fräswerkes (Fräsvorschub)
- die Anpassung der Schnittgeschwindigkeit der Fräser,
- und schliesslich die Verstärkung der Kühlung an den Messern.

Die Kühlung ist ein kleineres Problem, solange Wasser in beliebiger Menge verwendet werden darf. Die Berieselung der Fräser bindet zugleich den Staub, erleichtert die Materialabfuhr und verhilft im trockenen Gestein zu einem guten Arbeitsklima. Im übrigen erscheint es selbstverständlich, dass zum Abtragen eines Kubikmeters Granit mit 2200 kg/cm^2 Druckfestigkeit und 40 % Quarzgehalt bedeutend mehr Arbeit aufzuwenden ist als für einen Kalkstein mit 10 % Quarz und 1000 kg/cm^2 Druckfestigkeit. Daher muss die Vortriebsleistung der Maschine bei gleichem Energieverbrauch entsprechend zurückgehen.

Im Gegensatz zu den auf dem Rollmeisselprinzip beruhenden Maschinen fallen (im Malmkalk) nur rund 50 % des Ausbruchmaterials als Sand der Körnung 0–8 mm an, die andern 50 % verteilen sich auf die Körnungen 10–300 mm (Bild 4). Zunehmende Klüftung oder Schieferung verschiebt die Verteilung der Körnung sofort zu Gunsten der groben Komponenten und vermindert damit den Fräsaufwand.

Abschliessend sei festgehalten, dass der Verlauf der Versuche zu grossen Hoffnungen berechtigt. Die Messerkosten sind in mittelharten Gesteinen schon deutlich unter die Sprengstoffkosten, bezogen auf den Kubikmeter Fels, gesunken. Es ist zu erwarten, dass mit zunehmender Erfahrung und in günstig gelagerten Fällen auch die Grenze der Festigkeiten über 2000 kg/cm^2 überschritten wird. Die überwiegende Menge der in unserem Land angetroffenen Felsgesteine, abgesehen von den kristallinen Zentralmassiven, bleibt aber unter der heute erreichten Grenze und eröffnen der Stollen-Fräsmaschine ein weites Arbeitsfeld. Besonderes Interesse verdient die in der Entwicklung stehende Klein-Fräse, die zum Ausbruch von Rechteckstollen für Kanalisationen mit ungefähr 1,20–1,30 m Breite und bis 2,25 m Höhe bestimmt ist. Der saubere Schnitt einer glatten konkaven Felssohle im Radius von 1,5 m, der gewölbte Scheitel und die geringe Störung des umliegenden Felsgefüges beschränken die Ausbaurbeiten auf ein Minimum. Es wird damit möglich sein, auch in mittleren bis schlechten Felsqualitäten knapp unter Verkehrswegen und Häusern durchzufahren.

Adresse des Verfassers: A. Schönholzer, dipl. Ing. ETH/SIA, Hofstettenstrasse 2, 3600 Thun.

Hydraulisches Deckenhebeverfahren für Skelettbauten

DK 624.016:621.86

Von Peter Sommer, dipl. Ing. ETH/SIA, Tübach

In Rorschach wurde kürzlich der Neubau des Schweizerischen Bankvereins im Rohbau fertiggestellt. Der obere Teil (3. bis 7. Obergeschoss), welcher als Bürotrakt in Skelettbauweise konzipiert ist (Stützen, Decken und Treppenhaus als einzige tragende Elemente), wurde mit Hilfe eines hydraulischen Hebeverfahrens erstellt. Diese erste Anwendung des für mehrgeschossige Bauten weiterentwickelten schweizerischen Hebeverfahrens System Wälli¹⁾ wird nachstehend kurz beschrieben.

¹⁾ Von E. Wälli, dipl. Ing. ETH, Arbon, beschrieben in der Technischen Beilage der «Neuen Zürcher Zeitung» vom 13. Februar 1963.

Bauvorgang

Der Unterbau bis einschliesslich der Decke über dem zweiten Obergeschoss wurde konventionell gebaut. Direkt auf diese Decke wurden dann sämtliche weiteren Decken inklusive Dachplatte aufeinander betoniert. Jede Decke diente der nächst oberen als Schalung, so dass schliesslich ein Paket von fünf Decken mit einer Gesamtstärke von 104 cm für die vertikale Hebung bereitlag. Das ganze Deckenpaket wog 620 t und wurde an 15 Hubstellen, nämlich an elf Gebäudestützen und an vier Punkten am Treppenhaus, hochgezogen (Bilder 1, 2, 3). Auf Stockwerkhöhe wurden jeweils die unterste Decke in ihrer Endlage befestigt, vom Dek-