

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 88 (1970)  
**Heft:** 13: Sonderheft Baumaschinen und -geräte

**Artikel:** Einsatz einer Tunnelbohrmaschine in "Le Châtelard" beim Bau des Druckschachtes "Corbes" der Kraftwerkanlage Emosson  
**Autor:** Aemmer, Felix  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-84458>

### **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:** 16.05.2025

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

## Einsatz einer Tunnelbohrmaschine in «Le Châtelard» beim Bau des Druckschachtes «Corbes» der Kraftwerkanlage Emosson

DK 624.19.002.5

Von Felix Aemmer, dipl. Ing. ETH/SIA, in Firma Motor-Columbus, Ingenieurunternehmung AG, Baden

### Die Kraftwerkanlage Emosson (Bild 1)

Die französisch-schweizerische Kraftwerkanlage Emosson fasst die Wasser in den Entstehungsgebieten der Flüsse Arve, Eau-Noire, Trient und Dranse de Ferret und leitet sie durch vier Zuleitungsstollen dem Stausee Emosson zu. Während die Zuleitungsstollen auf französischem Gebiet ihre Wasser dem See freilaufend zuführen, muss ein Teil aus der Zuleitung Ost in den Stausee hinaufgepumpt wer-

den. Der durch eine 177 m hohe Bogenmauer gebildete Speicher weist einen Nutzinhalt von 225 Mio m<sup>3</sup> auf. Das mittlere nutzbare Gefälle von 1400 m zwischen dem Stau-becken und der Rhoneebene wird in zwei Stufen in den Zentralen «Châtelard-Vallorcine» und «La Bâtiâz» genützt. Die gesamte Energieproduktion beträgt 634 GWh pro Jahr, 90 % davon als Winterenergie.

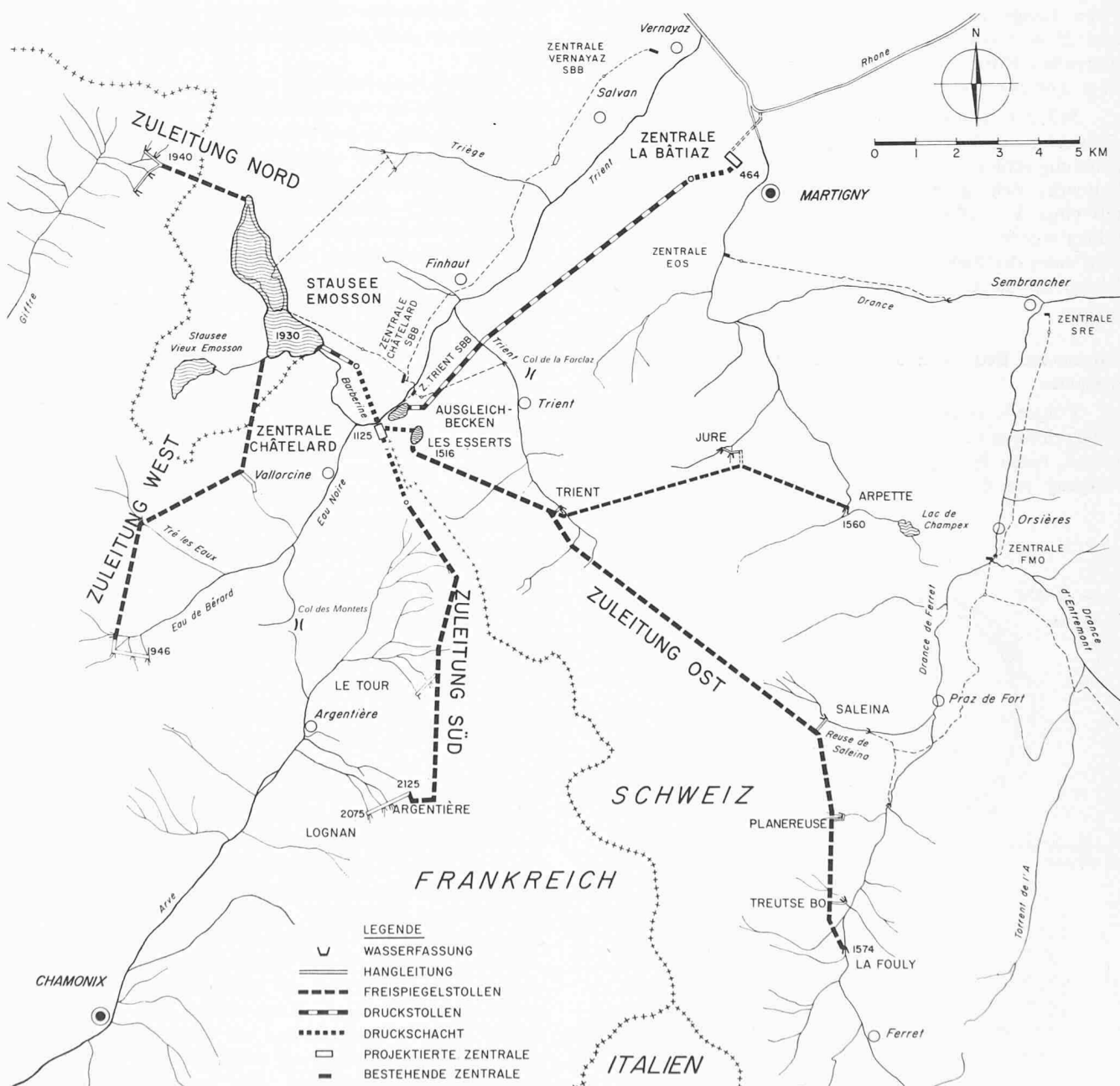
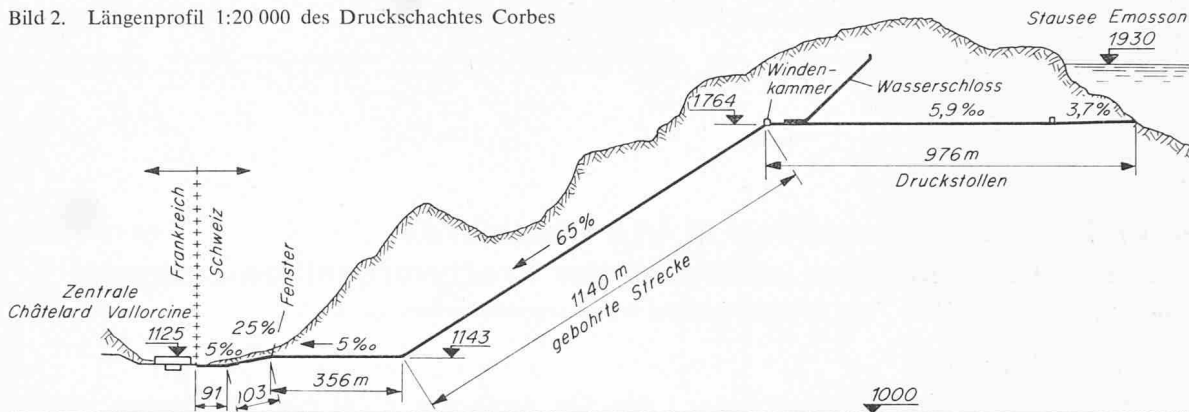


Bild 1. Lage der Kraftwerke Emosson samt Einzugsgebiet 1:150 000 (für den Stausee vgl. das Flugbild in SBZ 1969, H. 24, S. 465)

Bild 2. Längenprofil 1:20 000 des Druckschachtes Corbes



### Der Druckschacht «Corbes» (Bild 2)

Der Druckschacht Corbes bildet die Gefällsstufe zwischen dem Stausee Emosson und der Zentrale Châteldard-Vallorcine. Er besteht aus einem Schrägteil von 1140 m Länge und 65 % Neigung, einem Horizontalstück von 356 m Länge, einem weiteren Schrägteil von 103 m Länge und 25 % Gefälle und einem 91 m langen, zur Zentrale führenden Horizontalteil. Der Panzerrohrdurchmesser beträgt 2,60 bis 2,30 m.

Mit der Ausführung dieses Schachtes wurde die *Bauunternehmung Murer AG*, Erstfeld, beauftragt. Die Unternehmung schlug vor, den mit einer Steigung von 65 % verlaufenden Schrägschacht statt auf herkömmliche Art mittels einer Tunnelbohrmaschine auszubrechen. Dieser Vorschlag wurde vom Bauherrn und der Bauleitung angenommen unter der Bedingung, dass die Unternehmung das volle Risiko für die Gesamtkosten des fertigen Schachtes übernehme.

## Allgemeine Betrachtungen zum Einsatz einer Tunnelbohrmaschine

Folgende Gründe und Gegebenheiten haben die Bauunternehmung bewogen, den erstmaligen Arbeitsvorgang zu wagen, einen Schrägschacht von 1140 m Länge mit einer Neigung von 65 % und einem Ausbruchdurchmesser von

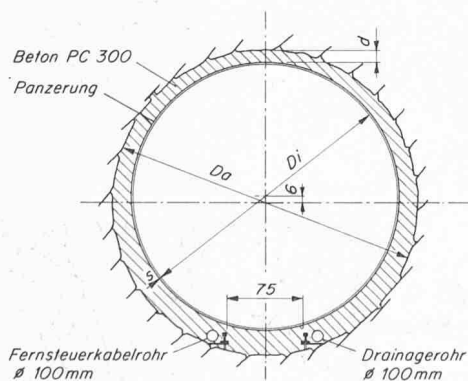
3 m mittels einer Tunnelbohrmaschine zu durchfahren: Es ist heutzutage recht schwierig und kostspielig, die nötige qualifizierte Belegschaft für das Auffahren von Schächten mittels Sprengungen zu finden und einzusetzen. Der Arbeitsvorgang in einem herkömmlichen Schrägschacht zählt trotz etlichen technischen Verbesserungen immer noch zu den schwierigsten und gefährlichsten Arbeiten des Untertagebaus.

Weitere Gegebenheiten waren für den Einsatz einer Bohrmaschine im vorliegenden Falle recht günstig. Einerseits liessen die geologischen Prognosen auf der ganzen Länge des Schachtes einen kompakten, wenig zerklüfteten und kaum wasserführenden Vallorcine-Granit erwarten. Einzubauende, d. h. gebräuche Strecken bei Ausbruch nach herkömmlicher Bauweise wurden von den Geologen mit kleiner als 5 % der Gesamtlänge angegeben, ein Prozentsatz, der bei Ausbruch mit einer erschütterungsfreien Methode sich nur verringern konnte. Zugleich hatte die Unternehmung die Möglichkeit, vorher mit einer Maschine gleichen Fabrikates eine 50 m lange Probebohrung in Horizontallage, jedoch im gleichen Gestein durchzuführen. Diese Bohrung zeitigte aufschlussreiche Ergebnisse und bestätigte gewisse getroffene Annahmen. Andererseits waren auch Bauherrschaft und Bauleitung an der Erprobung neuerer Baumethoden äusserst interessiert und dem Vorschlag des Unternehmers gegenüber entgegenkommend eingestellt. Durch das Vorliegen eines nicht gedrängten Bauprogrammes, das einen solchen Versuch zulies, war eine weitere wichtige Grundbedingung gegeben.

In enger Zusammenarbeit zwischen Unternehmung und Bauleitung wurde schliesslich die Ausführung des Schachtes nach dem in Bild 3 dargestellten Normalprofil beschlossen.

### Aufbau und Arbeitsweise der «Wirth»-Tunnelbohrmaschine im Schrägschacht (Bild 4)

Die Grundmaschine, der die eigentliche Bohrarbeit leistende Teil der Maschine, besteht aus der als Hohlkasten ausgebildeten Verspannvorrichtung, der «Aussenkelly», und der in diesem Hohlkasten gleitenden «Innenkelly». An ihrem vorderen Ende ist der drehbare Bohrkopf gelagert und an ihrem hinteren Ende das Getriebe mit seinen vier Elektromotoren starr angebracht. Aussen- und Innenkelly lassen sich gegenseitig im Längssinn um 75 cm, dem Mass eines «Hubes», verschieben. Die Verspannvorrichtung, oder Aussenkelly, hat die Aufgabe, die ganze Maschine während des Bohrbetriebes im bereits ausgebohrten Teil des Schachtes mittels  $2 \times 4$  im Längsabstand von 2,5 m angebrachten und durch Hydraulikzylinder in Radialrichtung ausfahrbaren Spannschildern zu fixieren. Die gesamte Verspannkraft dieser acht Platten beträgt bis zu 1000 t, was einer spezi-



|                                  |       |      |       |
|----------------------------------|-------|------|-------|
| <i>Da m'</i>                     | 2,85  | 2,92 | 2,98  |
| <i>Di m'</i>                     | 2,40  | 2,50 | 2,60  |
| <i>s mm</i>                      | 20-26 | 20   | 17-20 |
| <i>d m'</i>                      | 0,14  | 0,13 | 0,11  |
| <i>Ausbruch m<sup>3</sup>/m'</i> | 6,38  | 6,70 | 6,97  |
| <i>Beton m<sup>3</sup>/m'</i>    | 1,66  | 1,63 | 1,50  |

Bild 3. Normalprofil 1:75 des gebohrten Druckschachts

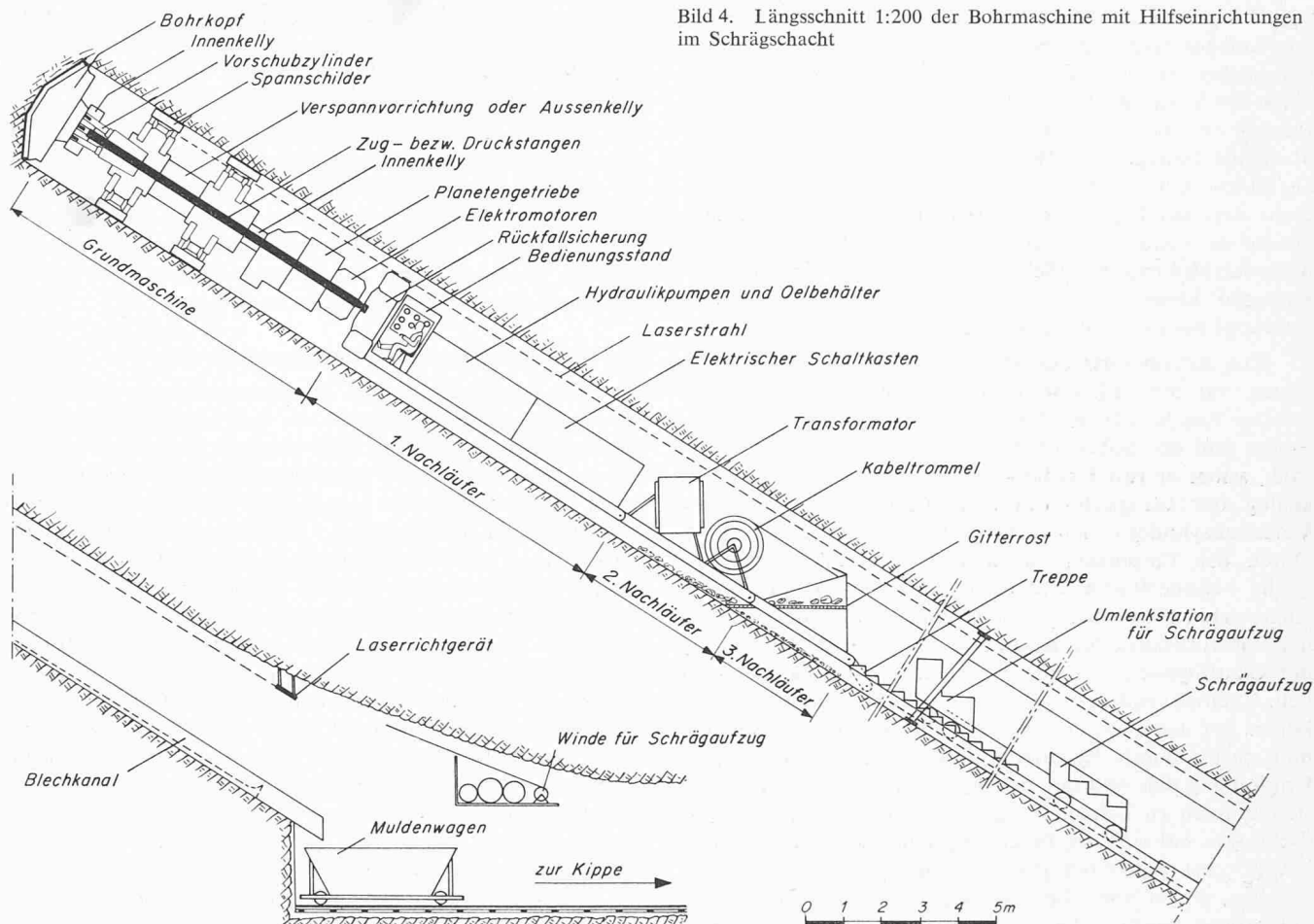


Bild 4. Längsschnitt 1:200 der Bohrmaschine mit Hilfseinrichtungen im Schrägschacht

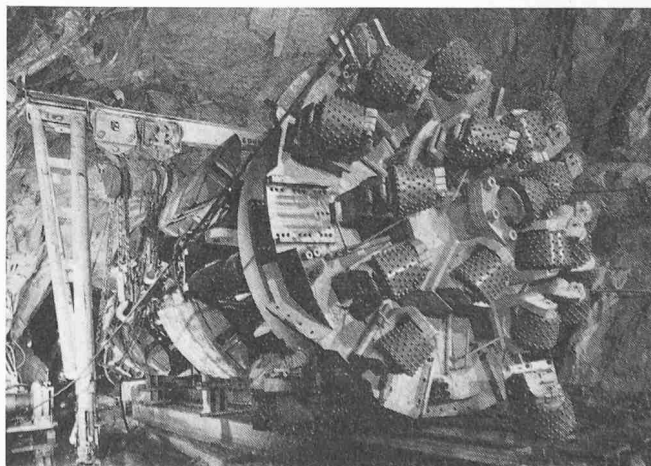
fischen Pressung auf den Fels von  $18 \text{ kp/cm}^2$  gleichkommt. Auf die Aussenkelly stützen sich vier Hydraulikzylinder, die ein Verschieben der Innenkelly gegenüber der Aussenkelly um die Länge eines Hubes und somit das Andrücken des Bohrkopfes an den Fels erlauben. Damit kann der Bohrkopf einen Andruck auf den Fels bis zu 340 t ausüben. Der Bohrkopf, im vorliegenden Fall für Durchmesser von 285 bis 298 cm gebaut, ist mit 24 «Rollenmeisseln» und zwei «Centercuttern» bestückt (Bild 5).

Diese kegelstumpfförmigen Schneidewerkzeuge sind auf dem Bohrkopf so angeordnet und gelagert, dass sie ohne Zwang unter dem Andruck und der Drehung des ganzen Bohrkopfes auf der gesamten Felsoberfläche gleichmässig abrollen. Die Meissel sind so konstruiert, dass jeder einer Maximalbelastung von etwa 12 t standhält, was einem Andruck des Bohrkopfes von 310 t entspricht; ein Andruck, der zum Durchbohren des Schachtes jedoch nie aufgebracht werden musste. Je nach der Härte und der Bohrbarkeit des anstehenden Gebirges können verschiedene Meisseltypen am Bohrkopf angebracht werden. Man unterscheidet hierbei Zahnmeissel für weiche, Diskenmeissel für mittelharte bis harte Formationen und Warzenmeissel, wie sie hier zum Einsatz gelangten, für harte bis härteste Formationen.

Der Bohrkopf selbst wird durch vier Elektromotoren von je 75 kW Leistung über ein Planetengetriebe und eine durch die Innenkelly laufende Hohlwelle mit einer konstanten Drehzahl von ungefähr 12 U/min gedreht. Es ist noch nachzutragen, dass die im Schacht zum Einsatz gelangte Grundmaschine in der Lage ist, Durchmesser von 275 bis 350 cm zu bohren, wobei nur verschiedene Bohrköpfe und für Durchmesser über 320 cm eine grössere Aussenkelly an die Grundmaschine zu montieren sind.

An der Innenkelly der Grundmaschine sind über zwei Zugstangen drei Nachläuferschlitten angehängt. Der erste Nachläufer besteht aus dem Bedienungsstand mit Kommando- und Messvorrichtungen, den Hydraulikpumpen und Ölbehältern, den elektrischen Schaltelementen sowie aus der für das Bohren in der Schräglage erforderlichen Rückfallsicherung. Diese besteht aus einem hydraulisch zusammengepressten Federpaket, welches sich bei Nachlassen des Hydraulikdruckes mechanisch und selbständig ausdehnt und so die Maschine im gebohrten Profil verklemt. Sie hat also die Funktion eines «Bremschuhes» und hat eine dem Eigengewicht der Maschine entsprechende, in Schachtlängsrichtung wirkende Kraftkomponente von 50 t mittels Reibung auf den Fels zu übertragen.

Bild 5. Ansicht der Maschine vor der Montage



Auf dem zweiten Nachläufer sind eine Kabeltrommel, von welcher beim Vorfahren der Maschine ein Hochspannungskabel selbständig abrollt, und ein Transformator 4000/380 V für die Speisung der Anlage mit elektrischer Energie montiert. Die maximale Leistungsaufnahme der Maschine beträgt 446 kW. Der dritte Nachläufer besteht aus einem Gitterrost mit Materialsilo und hat zu verhindern, dass allfällige beim Bohren in gebrächem Fels ausbrechende, mehr als 10 cm messende Gesteinsblöcke in die Materialabfuhrinne im Schacht gelangen und sich dort verklemmen können. Die Gesamtlänge der Maschine vom Bohrkopf bis zum dritten Nachläufer beträgt rund 30 m.

Die Arbeitsweise der Maschine kann nachfolgend am besten mit dem Einschrauben einer Schraube verglichen werden. Die Maschine ist also mittels der Aussenkelly verspannt und der Bohrkopf dreht sich mit konstanter Drehzahl, wobei er pro Umdrehung um ein bestimmtes Mass, analog der Ganghöhe des Schraubengewindes, mit den Vorschubzylindern nach vorne gepresst und geschoben wird. Durch das Einpressen der kleinen Warzen der Meissel in die Felsoberfläche wird diese zersplittert. Bei dem hier eingesetzten Maschinentyp kann einzig die Ganghöhe, d. h. der Bohrfortschritt pro Kopfumdrehung durch Regulierung der Ölfussmenge in die Vorschubzylinder variiert werden. Rückwirkend ergibt sich daraus der Andruck des Bohrkopfes auf den Fels. Die Aufgabe des Maschinisten besteht nun darin, durch Regulierung des Bohrfortschrittes pro Umdrehung den Andruck des Bohrkopfes im wirtschaftlichsten Bereich zu halten. Nach einer gewissen Anzahl Umdrehungen hat sich die Innenkelly um das Mass eines Hubes (75 cm) gegenüber der Aussenkelly nach vorne verschoben, wobei über die Zugstangen alle drei Nachläufer mitgezogen wurden. Der Hub ist nun vollständig ausgefahren. Das Drehen des Kopfes wird jetzt eingestellt und in der Rückfallsicherung der Hydraulikdruck abgelassen, wobei sich diese gegen den Fels verpresst. Anschliessend werden die Spannschilder der Aussenkelly eingezogen. Die ganze Maschine hängt jetzt an der Rückfallsicherung und die vorhin erwähnten Verbindungsstangen zwischen dem ersten Nachläufer und der Innenkelly arbeiten nun als Druckstangen. Danach werden die Vorschubzylinder eingezogen, wodurch die Aussenkelly längs der Innenkelly um die Hublänge emporgleitet. Die Aussenkelly wird neu verspannt, die Rückfallsicherung eingezogen und der Bohrbetrieb kann von neuem beginnen. Dieser Umsetzvorgang dauert etwa fünf Minuten.

Die Zerstörungsarbeit der Meissel an der Felsoberfläche kann am besten mit unzähligen kleinen Hammerschlägen verglichen werden. Die Schläge werden durch das

Abrollen der Meissel bzw. der einzelnen Warzen auf der Felsoberfläche und durch den Andruck der Meissel bzw. deren Warzen auf den Fels gebildet.

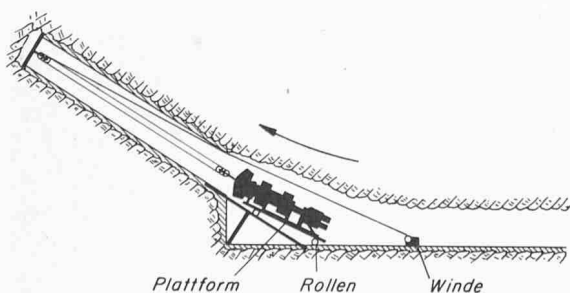
Das Bohrgut fällt auf die Sohle des gebohrten Profils und wird dort vom Wasser, welches zur Meisselkühlung und Staubbinding auf den Bohrkopf gesprüht wird, unter der Maschine hindurch weggespült. Anschliessend durchläuft es den Gitterrost und schiesst in einem aus der Felssohle und einem Abdeckblech gebildeten Kanal durch den Schacht hinunter. Dieser Abtransportvorgang setzt natürlich ein gewisses Gefälle im Schacht voraus.

#### Die Hilfseinrichtungen im Schrägschacht (Bild 4)

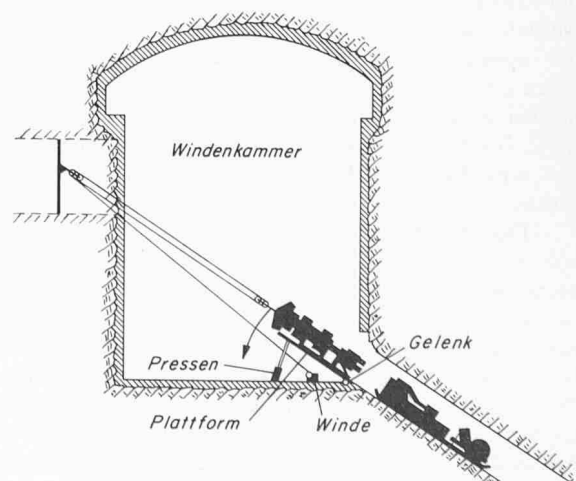
Für den Material- und Personentransport wurde hinter der Maschine im Schacht ein Schrägaufzug installiert. Dessen Geleise wurden im Fels verankert und dienten später für das Einfahren der Panzerrohre. Die Winde des Aufzuges befindet sich am Schachtfuss und die Seilumlenkrolle auf einer Arbeitsbühne, welche ungefähr alle 80 m entsprechend dem Bohrfortschritt der Maschine nachgesetzt wurde. Weiter wurden im Schacht, neben dem Hochspannungskabel, eine Druckluftleitung, eine Wasserleitung für einen Kühl- und Spülwasserbedarf von 250 l/min, eine Ventilationsleitung zur Belüftung sowie eine Telefonverbindung zwischen Winde und Umlenkstation montiert. Das heruntergespülte Bohrgut wurde am Schachtende durch 4 m<sup>3</sup> fassende Muldenwagen aufgefangen und anschliessend durch den 360 m langen Horizontalteil des Schachtes zur Kippe gefahren.

#### Montage und Demontage der Maschine

Das schwierigste Unterfangen der gesamten Installationsarbeiten für die Maschine war das Verbringen der knapp 60 t schweren Grundmaschine in die Schräglage und ihr Ansetzen im Schrägschacht selbst. Zu diesem Zweck wurden vorgängig 30 m des Schrägschachtes herkömmlich ausgebrochen und auf das zu bohrende Profil ausbetoniert, um darin das erstmalige Verspannen der Maschine zu ermöglichen. Die Grundmaschine wurde nun am Fusse des Schachtes auf eine aus Stahlträgern gebildete, mit Rollen versehene Plattform fixiert (Bild 5). Auf dieser wurde sie mit Flaschenzug und Winde in die gewünschte Schräglage gezogen (Bild 6), wobei die vorderen Rollen der Plattform auf der verlängerten Sohle des Schrägschachtes und die hinteren Rollen auf der Sohle des Horizontalschachtes abrollten. War die Maschine nun in Schräglage, wurde sie von der Plattform gelöst und soweit in die Betonröhre hineingezogen, bis sie sich darin selbst verspannen und damit auch vorverschieben konnte. Die Funktion der Rückfallsicherung



Oben:  
Bild 6. Montage der Maschine



Rechts:  
Bild 7. Demontage der Maschine



wurde bis zu deren Einbau durch einen provisorisch am Maschinenrumpf angebrachten Dorn, der in der Schachtsohle abgestützt werden konnte, übernommen. Die Installation der Nachläufer erfolgte in gleicher Weise, wobei die Funktion der Plattform durch die Schlitten selbst übernommen wurde. Infolge ihres wesentlich geringeren Gewichtes nahm die Installation der Nachläufer entsprechend weniger Zeit in Anspruch. Die Installation der gesamten Maschine, inbegriffen deren Transport durch das 360 m lange, enge Horizontalstück, bis zum ersten Bohrversuch benötigte fünf Wochen.

Für die Demontage der Maschine wurde ein ähnlicher Vorgang gewählt (Bild 7). Sie wurde mit Flaschenzug und Winde aus dem Schacht auf der gleichen, in Schräglage montierten und einseitig mit hydraulischen Pressen unterstellten Plattform herausgezogen und auf dieser befestigt. Anschliessend wurden die Pressen schrittweise abgelassen und so die ganze Plattform einseitig abgesenkt. Für den Demontevorgang der ganzen Maschine wurden zwei Wochen benötigt.

### Vermessung und Bohrgenauigkeit

Die Richtung für das Bohren wurde durch ein in der Kalotte installiertes Laserrichtgerät gegeben (Bild 3). War der Laserstrahl mit dem Theodoliten eingemessen und gerichtet, konnte danach auf eine Länge von etwa 300 m gebohrt werden. Dabei hatte der Maschinenfahrer lediglich dafür zu sorgen, dass der Strahl dauernd durch zwei in einem Abstand von 10 m auf der Maschine angebrachte Marken fiel. Allfällige Abweichungen musste er beim Umsetzen der Maschine durch zwei unter dem Getriebe angebrachte regulierbare Hilfsabstützungen berichtigen. Es zeigte



Bild 8. Ansicht des gebohrten Schachtes

sich beim Auffahren des Schachtes, dass Abweichungen bei zuverlässiger und gewissenhafter Arbeit des Bedienungspersonals auf 20 m Länge unter 5 cm gehalten werden können und dadurch ein äusserst regelmässiges und sauberes Profil gebohrt werden kann (Bild 8). Nach etwa 300 m Reichweite musste das verwendete Richtgerät nach vorne versetzt und neu eingemessen werden, da die Streuung des Laserstrahls auf den Zielscheiben zu gross wurde. Die dauernde Richtungsangabe mittels Laserstrahl hat sich sehr gut bewährt, ist sie doch einfach und sicher; zudem ist die Arbeit der Maschinisten jederzeit ohne Aufwand überprüfbar. Die Verwendung von Laserrichtgeräten wird sich auch bei herkömmlichen Vortrieben bezahlt machen.

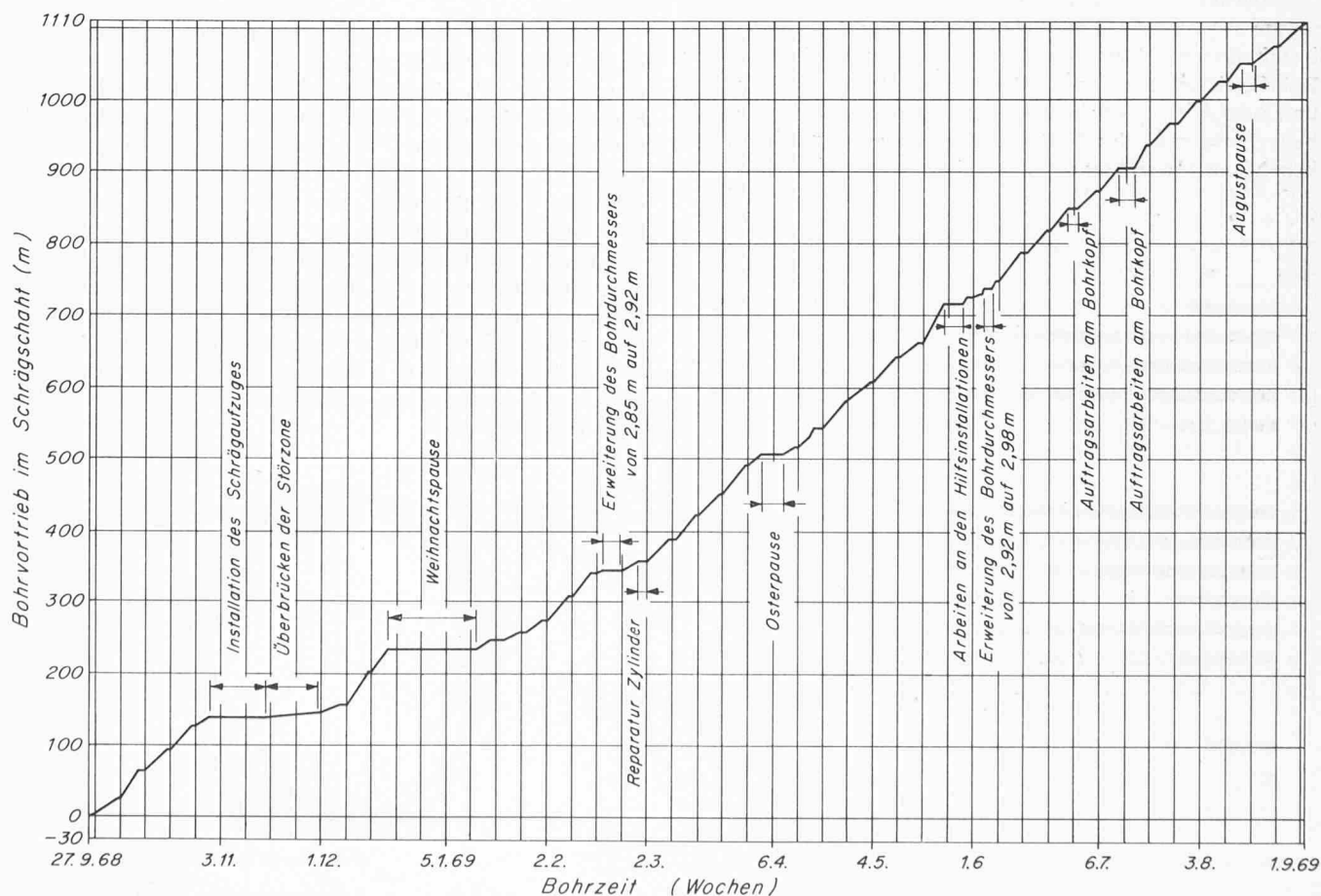


Bild 9. Graphische Aufzeichnung des Bohrfortschrittes im Schrägschacht

## Das Durchfahren des Schrägschachtes

In Bild 9 ist die gesamte Bohrarbeit graphisch aufgetragen. Das Durchfahren des 1140 — 30 = 1110 m langen Schachtes begann am 30. September 1968 und endete mit dem erfolgreichen Durchschlag am 1. September 1969. Es wurden dazu nach Abzug der Arbeitsunterbrüche an Weihnachten, Ostern und an den ortsüblichen Feiertagen 457 Schichten zu zehn Stunden benötigt, was einem durchschnittlichen Bohrfortschritt von 2,43 m pro Schicht oder 4,86 m pro zwanzigstündigem Arbeitstag entspricht. Berücksichtigt man, dass für die Überwindung einer nach 139 m angefahrenen Störzone die Bohrarbeiten der Maschine für einen Monat oder genauer während 44 Schichten eingestellt werden mussten, so ergibt sich ein mittlerer Bohrfortschritt von 5,36 m pro zwischichtigem Arbeitstag oder 120 m pro Monat, was einer sehr guten Leistung in einem konventionell aufgefahrenen Schacht entspricht. In diesen Angaben wurden sämtliche Unterbrüche, bedingt durch Meisselkontrollen und Meisselwechsel, Unterhalt und Reparaturen an der Maschine, Arbeiten an den Hilfsinstallationen, betriebliche Ausfälle usw. mitberücksichtigt.

Im allgemeinen wurde mit einem Andruck am Bohrkopf von 160 bis 170 t gefahren, woraus sich ein mittlerer Bohrfortschritt von etwa 45 bis 50 cm pro effektiver Bohr-stunde ergab. Der minimale Wert betrug in härteren Formationen 38 cm/h und der maximale in weicher Formation 142 cm/h. Der maximal erreichte Tagesbohrfortschritt war 15,75 m. Die Druckfestigkeit des Granites lag, wie Versuche zeigten, um 2200 kp/cm<sup>2</sup> herum. Bild 10 stellt einen 14tägigen Arbeitsablauf in einer normalen Bohrperiode dar. Es geht daraus hervor, dass die Maschine etwa während 61 % der effektiven Arbeitszeit bohrte, 18 % der Arbeitszeit wurden zu Meisselkontrollen, Meisselwechsel, Schmierung und anderen Unterhaltsarbeiten an der Maschine verwendet, 11 % fielen auf Arbeiten an den Hilfsinstallationen, Vermessung usw., die eine Stilllegung des Bohrbetriebes erforderten, und etwa 10 % wurden zum Ein- und Ausfahren des Schichtpersonals benötigt. Der Personalbedarf während des Bohrbetriebes betrug gesamthaft sieben Mann; zwei Mann auf der Maschine, drei Mann für

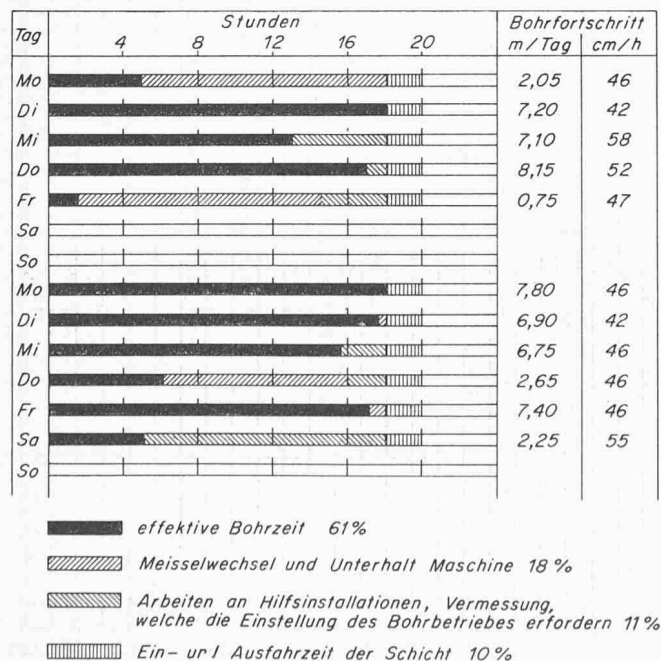


Bild 10. Graphische Darstellung von zwei typischen Bohr-Betriebswochen

Nachinstallation von Geleise, Ventilationsleitungen, für Transporte usw. hinter der Maschine, ein Mann an der Winde und ein Mann zum Wechseln und Kippen der Muldenwagen.

## Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Anhand des Bildes 11 sollen hier die grundsätzlichen wirtschaftlichen Überlegungen des Unternehmers erläutert werden. Der Unternehmer konnte gegenüber der herkömmlichen Methode, natürlich immer unter der Annahme, dass die Maschine den gewünschten Anforderungen entspreche, mit folgenden Einsparungen rechnen. Die auszubohrende Kubatur, beim Panzerungsdurchmesser 260 cm, war gegenüber dem herkömmlichen Profil unter Einrechnung eines Überprofils von 14 cm um 2,8 m<sup>3</sup>/m kleiner, was etwa 28 % der konventionellen Ausbruchskubatur entspricht. Die gleiche Einsparung von 2,8 m<sup>3</sup>/m beim Hinterfüllbeton der Panzerung entspricht sogar 63 % der ursprünglichen Betonkubatur. Weiterhin konnte er annehmen, dass die für den herkömmlichen Ausbruch mit 5 % der Schachtlänge vorausgesagten gebrächen Strecken durch das erschütterungsfreie Arbeiten der Maschine sich wesentlich verkleinern werden, wobei er also Einsparungen bei den Felssicherungen und den nachträglichen Hochdruckinjektionsarbeiten annehmen konnte. Ebenso konnten durch den Wegfall des Nachprofilierens, des Einbringens eines Sohlbetons und durch die leichteren Reinigungsarbeiten im kreisrunden Profil erhebliche Einsparungen erzielt werden. Diesen bei einem Maschineneinsatz vorauszusehenden Einsparungen stand das grosse Risiko gegenüber, erstmals eine Bohrmaschine im Granit und dazu noch in einer Schräglage von 65 % einzusetzen. Dazu kam noch die grosse Unsicherheit in der Annahme des Werkzeugverschleisses und in der Abschreibungsmöglichkeit der Maschine bei einem Einsatz im Granit.

Wie es sich dann beim Durchfahren des Schachtes zeigte, nützten sich die Warzen der Meisselrollen weniger schnell ab als ursprünglich angenommen, jedoch zeigten die Lager der Meissel grössere Abnützungserscheinungen als erwartet. Bei den hier verwendeten Schneidewerkzeugen konnte mit einer Standzeit von etwa 1000 h gerechnet werden, was einer Bohrlänge von 450 bis 500 m entspricht. Die Lager wiesen jedoch nur eine Standzeit von etwa 150 m auf und mussten danach revidiert werden. Es soll hier erwähnt werden, dass der Preis pro m<sup>3</sup> ausgebrochenen Materials bei maschinellem Ausbruch und bei den gegenwärtig noch hohen Meisselpreisen teurer zu stehen kommt als bei herkömmlichem Vorgehen. Dieser Mehrpreis kann jedoch durch die oben erwähnten Einsparungen ausgeglichen werden.

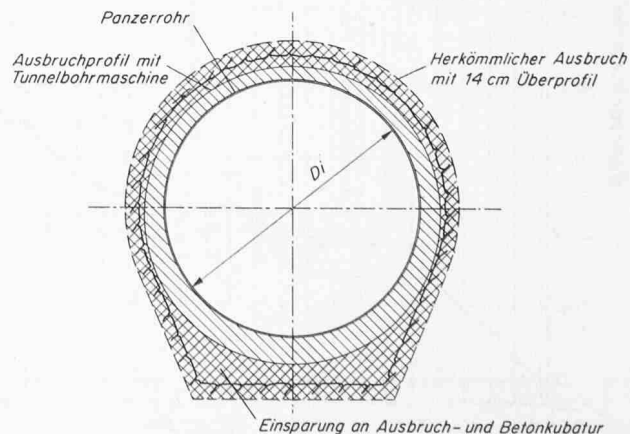


Bild 11. Vergleich des herkömmlichen mit dem gebohrten Profil 1:75

## Das Durchfahren von Störzonen

Wie bereits erwähnt, wurde nach 139 m Bohrarbeit eine Störzone angefahren, welche die Einstellung des Bohrbetriebes erforderte, weil aus dem anstehenden Fels ausbrechende Gesteinsbrocken am Bohrkopf Schäden verursachten.

Störzonen können je nach der Beschaffenheit des gestörten Felsens verschiedenartig überwunden werden. Man kann versuchen, die Zone mit stark vermindertem Andruck zu durchbohren; ein Verfahren, das anwendbar ist, sofern das gebohrte Profil einigermaßen standhält und sofern der notwendige Anpressdruck der Verspannvorrichtung und auch der Rückfallsicherung durch den Fels noch aufgenommen werden kann. Zerfällt jedoch das gebohrte Profil oder ist ein Bohren überhaupt unmöglich, so muss die Störzone mit normalem Vortrieb überbrückt werden. Um den nötigen Arbeitsraum vor der Maschine zu schaffen, muss dieselbe um einige Meter zurückgefahren werden. Hiernach wird die Strecke mit Sprengstoff oder Abbauhammer ausgebrochen, wobei je nach Felsbeschaffenheit Einbaubögen, Liner-plates oder eine einfache Gunithaut zur Felssicherung dienen können. Es muss dabei jedoch darauf geachtet werden, dass sich die Maschine später in dieser Zone verspannen kann, wobei der Druck der Spannplatten auch auf die Einbauten belastend wirkt. Da die Spann-

platten begrenzt ausfahrbar sind, muss ein allfälliges Überprofil durch Beton oder Gunit bis zum Sollprofil aufgetragen werden.

Für das Durchfahren der knapp 4 m langen Störzone wurden zwölf Arbeitstage benötigt. Ein Aufwand, der nicht erstaunt, wenn man bedenkt, dass sämtliches benötigtes Werkzeug und Material über die Maschine und durch ein Mannloch im Bohrkopf nach vorne transportiert werden musste. Die Abfuhr des Ausbruchs hatte durch das gleiche, gegen die Schachtsohle gedrehte Mannloch zu erfolgen. Dieses mühsame Vorgehen zur Überwindung von Störzonen kann aber durch zusätzliche geeignete Hilfseinrichtungen an der Maschine wesentlich erleichtert werden.

## Schlussbemerkungen

Mit dem Durchfahren des Schrägschachtes «Corbes» der Emosson-Kraftwerke mittels einer Tunnelbohrmaschine ist ein beachtlicher technischer und auch sozialer Fortschritt aufgezeigt worden. Ein Fortschritt, der nur möglich wurde dank dem Unternehmungsgeist der Bauunternehmung der Erfahrung und Zuverlässigkeit des Maschinenerbauers und dank der Aufgeschlossenheit der Bauherrschaft und der Bauleitung.

Adresse des Verfassers: F. Aemmer, dipl. Ing., Motor-Columbus S. A., Rue du Léman, 1920 Martigny.

## Der Laser im Bauwesen

Von Dr.-Ing. D. Dettmers, Bremen

### A. Allgemeines

An dieser Stelle<sup>1)</sup> wurden bereits die physikalischen Grundlagen und Eigenschaften des Laser-Lichts beschrieben. Hier wird deshalb nur kurz auf seine entscheidenden Eigenschaften hingewiesen, aus denen sich auch die Anwendungen im Bauwesen ergeben:

- grosse Bündelungsschärfe
- Monochromasie und Kohärenz
- hohe Leistungsdichte.

Einige Beispiele zeigen ihren hohen Grad und die sich daraus ergebenden Möglichkeiten. Ein Strahl öffnet sich auf einer Strecke wie von Zürich nach New York so wenig, dass er am Ziel nur knapp eine Fensterfläche ausleuchten würde. Bei einem Versuch ergab sich auf dem Mond, also in 360 000 km Entfernung, ein Lichtfleck mit einem Durchmesser von nur 1,8 km. Auf einem einzigen Laser-Strahl können 1000 Mio Ferngespräche gleichzeitig geführt oder mehrere 100 Fernsehkanäle untergebracht werden.

In den USA ist eine Laser-Methode entwickelt worden, mit der 44 Buchseiten auf einer stecknadelgrossen Fläche zu speichern sind. Auf vier Spulen mit je 720 m eines besonderen Kunststoff-Films liessen sich alle Texte der Kongressbibliothek in Washington unterbringen. Dazu wären auf dem bisher üblichen Magnetband 190 000 Spulen erforderlich.

Die Holographie bietet hier weitere Möglichkeiten. Auf besonders für die Holographie gefertigten Photoschichten lassen sich theoretisch etwa 1 Mio bit/mm<sup>2</sup> Speicherfläche unterbringen. Eine etwa postkartengrosse Speicherplatte könnte also den Inhalt von mehreren tausend Magnetbändern eines Bandspeichers aufnehmen. Zurzeit erreicht man im Laboratorium 10 000 bit/mm<sup>2</sup> (1 bit ist die kleinste Einheit digitaler Information; es entspricht z. B. einer Entscheidung zwischen den Aussagen «ja» und «nein» oder «eins» und «null»).

<sup>1)</sup> G. Guekos: Laser-Strahlung als Hilfsmittel zur Materialbearbeitung. SBZ 85 (1967), H. 41, S. 741–745.

DK 535.211:624

Im Laboratorium werden bereits Versuche mit Laser-Farbfernsehen gemacht. Dieses besteht aus einem Krypton-Laser, der rotes Licht emittiert, und zwei Argon-Lasern, die im blauen und grünen Wellenbereich arbeiten. Die Firma Hitachi beabsichtigt, einen solchen Fernsehschirm von 3 × 4 m während der Weltausstellung 1970 in Japan in Betrieb zu setzen. Die Farben werden besonders klar und leuchtend sein, da die Laser einen sehr schmalen Spektralbereich besitzen (Bild 1).

Mit einem fokussierten Laser-Strahl lässt sich jedes Material der Erde verdampfen. Es gibt bereits einen Laser, der für die Dauer von 10 ps (10<sup>-11</sup> s) die 500fache Kapazität aller Kraftwerke in den USA entwickelt. Dauerte früher das Bohren von Diamanten für Ziehdielen zum Herstellen von Feinstdrähten zwei Tage, so gelingt es dem Laser in zwei

Bild 1. Farbfernsehen mit Krypton- und Argon-Gaslasern. Der Bildhintergrund ist goldgelb, der vordere Ballon rot, der hintere blau, der Pullover grün (aus «Laser»)

