

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 84 (1966)
Heft: 20

Artikel: Das Tunnelvortriebs-System Hughes für grosse Bohrdurchmesser
Autor: Rutschmann, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-68907>

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: 28.04.2026

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

Das Tunnelvortriebs-System Hughes für grosse Bohrdurchmesser

Von **W. Rutschmann**, dipl. Ing., Zürich

DK 624.191.2

Berichtigungen siehe H. 25, S. 476

1. Einleitung

Am Morgen des 19. März 1966, kaum 18 Stunden nach dem Durchschlag der Kalotte des Käferbergtunnels der Schweizerischen Bundesbahnen zwischen Zürich-Höngg und Oerlikon, wurde etwa 50 km östlich Farmington (New Mexico) der Tunnel 1 des Navajo Indian Irrigation Project durchgebohrt. Diese beiden Vortriebe sind vergleichbar in bezug auf die geologischen Verhältnisse, weil in beiden Fällen flach gelagerte, mittelharte Sandsteine und weiche Mergel zu durchlöchern waren, ferner in bezug auf die theoretischen Ausbruchflächen, 32 und 35 m² bei der Kalotte des Käferbergtunnels und 28,8 und 31,8 m² beim Navajotunnel 1. Überdies wurden beide Tunnel nur von einem Portal aus vorgetrieben. Projekt und Bauausführung der beiden Tunnel aber unterscheiden sich in wesentlichen Punkten: Der 1,85 km lange eigentliche Kalottenvortrieb des Käferbergtunnels wurde konventionell (Bohren, Sprengen, Räumen) durchgeführt, und die Ausbrucharbeiten dauerten vom Vortriebsbeginn bis zum Durchschlag 23½ Monate. Der 3,06 km lange Navajotunnel 1 wurde mit einer Hughes-Tunnelvortriebsmaschine innerhalb von 8¼ Monaten gebohrt.

Der Vergleich der beiden Tunnelvortriebe will lediglich deutlich zum Ausdruck bringen, welche Leistungssteigerung ein modernes Vortriebssystem gegenüber dem konventionellen Verfahren zu erbringen vermag bei einem theoretischen Tunnelquerschnitt von rd. 30 m² und beim Durchlöchern von leicht gebrächem bis gebrächem, mittelhartem Gestein. Dieses neue und erfolgreich eingesetzte System gelangt nachfolgend zur Darstellung.

2. Das Navajo Indian Irrigation Project

Das nach dem in seiner Reservation im südöstlichen Utah, im nordöstlichen Arizona und nordwestlichen New Mexico lebenden Stamme der Navajo Indianer benannte 135 Mio Dollar-Bewässerungsprojekt (Bild 1) bildet einen Bestandteil des «Upper Colorado River Storage Project». Das Projekt, dessen Bearbeitung und Bauleitung dem Bureau of Reclamation obliegt, umfasst die Anlagen zur Bewässerung von rd. 450 km² Boden in einer sehr niederschlagsarmen Gegend südlich des San Juan Rivers zwischen Shiprock und Farmington. Es ist auch beabsichtigt, Wasser für industrielle Zwecke verfügbar zu machen. Im Rahmen dieses Projektes ist der Bau von zwei Erdämmen, von 21 km Tunneln, von 960 km offenen Kanälen und von 65 km unter Druck stehender Wasserzuleitungen vorgesehen. Der im Jahre 1963 fertiggestellte Navajo-Damm mit dem gleichnamigen See von rd. 2000 Mio m³ Speichervolumen, welcher bisher nur der Hochwasserretention und dem Ausgleich der Abflüsse des San Juan Rivers diente, wird in das Projekt eingegliedert.

In der Seebucht südlich des Erddammes ist das Einlaufbauwerk des Tunnel- und Kanalsystems in Ausführung begriffen. Es besteht aus einem kurzen Einlauf-Drucktunnel mit anschliessendem Abschlussorgan, einem vertikalen Belüftungsschacht und einer Energievernichtungskammer. Dieser Kammer folgt der 3,06 km lange Navajotunnel 1, ein Freispiegel-Tunnel mit 0,5‰ Gefälle, welcher zum Gobernador Canyon führt. Der Canyon wird mittels eines Dükkers durchquert, an welchen der rd. 8 km lange Navajotunnel 2 anschliesst.

3. Die geologischen Verhältnisse im Trasse des Navajotunnels 1

Mit dem Tunnel werden Schichten der tertiären sogenannten San José-Formation durchfahren. Diese praktisch horizontal gelagerten Schichten bestehen aus fein- bis grobkörnigen, schlecht bis mittelmässig verfestigten, dünn- bis grobbankigen Sandsteinen. Zwischen den Sandsteinschichten sind schlecht verfestigte Mergelschiefer eingelagert. Untergeordnet treten auch Tonschiefer auf. Linsenförmige Ausbildung und intensives Ineinandergreifen der Schichten kennzeichnen den Bau dieser Sediment-Formation kontinentalen Ursprungs. Die Druckfestigkeit eines Kernes des zu durchlöchernden Sandsteines wurde mit 450 kg/cm², der Anteil an abrasiven Mineralien (Quarz- und Feldspat) zu mehr als 70% bestimmt.

4. Begründung und Organisation des Bohrvortriebes

Der Navajotunnel 1 gelangte als erstes Objekt des grossen Bewässerungsprojektes zur Ausschreibung und im Mai 1964 zur Vergabe. Die mit der Arbeitsausführung betraute Unternehmung, deren besonderes Interesse seit langem modernen Verfahren des Tunnelbaues galt, zog in Anbetracht der dafür geeigneten Gesteine den Bohrvortrieb in Erwägung. Beim Vortrieb des relativ kurzen Tunnels hätte sich aber ein eigens dafür zu entwerfendes und zu bauendes Vortriebssystem nicht amortisieren lassen, ohne die Tunnelbaukosten untragbar zu erhöhen. So reichte die Unternehmung dem Bureau of Reclamation ein Angebot für den konventionell aufzufahrenden Tunnel ein und eine Ausführungsvariante für Bohrvortrieb. Das Bureau of Reclamation war bereit, den Tunnel bohren zu lassen, sofern die Kosten des gebohrten Tunnels diejenigen des konventionell ausgebrochenen nicht übersteigen würden. Dieser Bedingung konnte entsprochen werden, weil die Hughes Tool Company Dallas/Houston – eine im Bau von Bohrwerkzeugen sowie von Vertikal- und Horizontalbohrmaschinen erfahrene Unternehmung – beabsichtigte, eine weitere Horizontalbohrmaschine zu entwickeln und zu bauen, sofern sich dafür mit einem Versuchsbetrieb auch eine wirtschaftliche Nutzung verbinden liess.

Der in der Folge zwischen Bohrmaschinenhersteller und Bauunternehmung abgeschlossene Vertrag auferlegte der Hughes Tool Company die Pflicht, eine Bohrmaschine zu bauen und der Unternehmung zur Verfügung zu stellen mit einer Netto-Bohrgeschwindigkeit von 3,0 m/h – zu beweisen innerhalb der ersten 150 m des Vortriebes –, ferner alle Bohrwerkzeuge und Ersatzteile zu liefern und für die Dauer des Vortriebes auf der Baustelle einen Spezialisten in der Funktion eines Beraters verfügbar zu halten. Die Bauunternehmung hatte dafür je Laufmeter gebohrten Tunnels einen festen Pauschalpreis zu entrichten und für die Durchführung der Arbeiten das gesamte



Bild 1. Generelle Situation des Navajo Indian Irrigation Project im nordwestlichen New Mexico, USA
 Masstab 1:1500 000

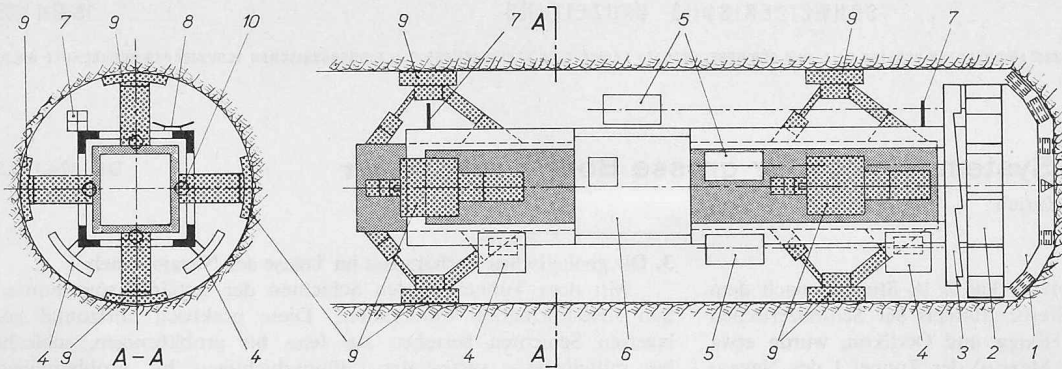


Bild 3. Schema der Grundkonstruktion der Vortriebsmaschine, Querschnitt und Seitenansicht

Bohrkopf

- 1 Werkzeugträger
- 2 Eimer
- 3 Staubabsaugkanäle

Äusserer Rahmen (weiss)

- 4 Fussplatten
- 5 Bohrkopftriebsmotoren
- 6 Steuerkabine
- 7 Rasterplatten für Laserstrahl
- 8 Förderband

Innerer Rahmen (gerastert)

- 9 Anpressplatten
- 10 Vorschubpressen

erforderliche Personal, die elektrische Energie und die Schmiermittel sowie ausser der Bohrmaschine alle für den Tunnelbau erforderlichen Installationen zur Verfügung zu stellen. Der Unternehmung wurde überdies ein Vorkaufsrecht für die während des Bohrvortriebes im Eigentum der Hughes Tool Company verbleibende Maschine eingeräumt. Auf Grund dieses Vertrages lastete das Risiko des Bohrvortriebes überwiegend auf dem Bohrmaschinenhersteller. Dieser war zur Übernahme dieses Risikos bereit, um bei der Arbeitsdurchführung Erfahrungen – auch im Hinblick auf die Entwicklung von Tunnelbohrsystemen für hartes Gestein und grössere Durchmesser – zu sammeln.

Die Hughes Tunnelbohrmaschine wurde mit einem Aufwand von 13 000 Ingenieurstunden innerhalb von elf Monaten konstruiert, im Werk Dallas gebaut und Ende Mai 1965 auf die Baustelle im Gobernador Canyon geliefert (Bild 2).

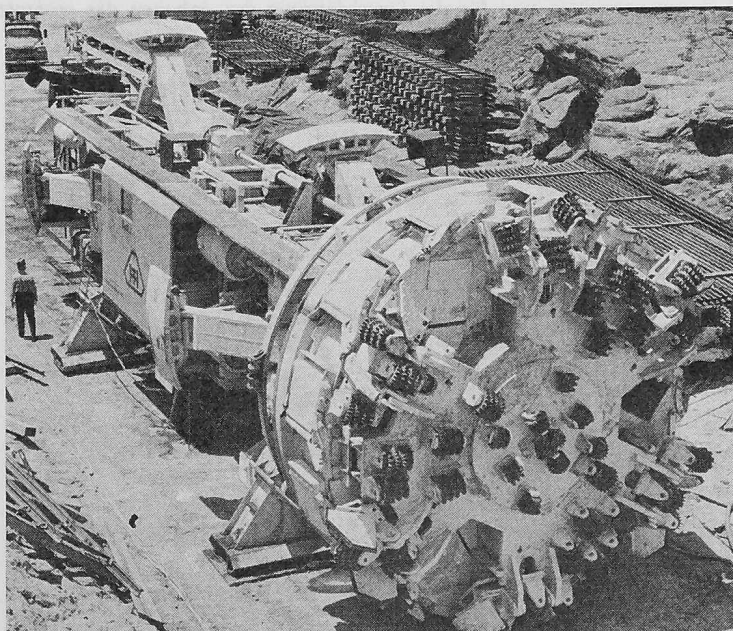
5. Das Tunnelvortriebssystem Hughes für 6 m Bohrdurchmesser

5.1 Dimensionierungsgrundlagen

Der mechanische Tunnelvortrieb erfordert nicht nur den Einsatz einer Tunnel-Bohrmaschine sondern eines Systems, innerhalb welchem die eigentliche Bohrmaschine den Kern bildet. Zu diesem System gehören neben der Tunnelbohrmaschine:

- die Ausrüstung für die Stromversorgung
- die Installationen für die Abfuhr des Bohrkleins
- die Staubbekämpfungs- und Ventilationsanlage
- die Ausrüstung zur Lage- und Höhenkontrolle sowie zur Steuerung der Maschine
- eventuell Installationen zum Einbau der provisorischen Felsicherung, erforderlichenfalls sogar der definitiven Auswölbung des Tunnels
- die Hilfsinstallationen, wie Kompressor usw.

Bild 2. Gesamtansicht der Hughes-Tunnelvortriebsmaschine vor dem Einfahren zur Tunnelbrust



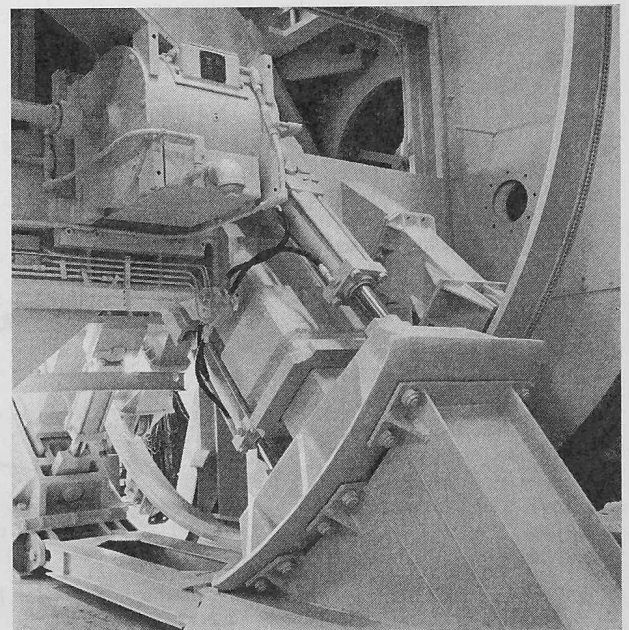
Durch die Festlegung des Tunnelausbruchdurchmessers von 6,05 und 6,35 m, des Tunneltrasses und damit implizite durch die geologischen Verhältnisse sowie durch die vertraglich geforderte Nettobohrgeschwindigkeit von 3 m/h war die Aufgabe des Maschinenkonstruktors bestimmt. Im Hinblick auf erfahrungsgemäss auftretende grössere Druckfestigkeiten von Sandsteinen der zu durchbohrenden Formation und auf eine allfällige spätere Wiederverwendung der Maschine in härterem Gestein erfolgte die Maschinendimensionierung für eine Gesteinsdruckfestigkeit von über 1000 kg/cm².

5.2 Die Bohrmaschine

Die Grundkonstruktion der Maschine (Bild 3) besteht aus einem innern, beim Bohren unbeweglichen und gegen die Tunnelaibung verspannten, und einem äussern Rahmen, welcher den Bohrkopf trägt und während des Bohrens über den innern Rahmen gleitet. Die Verspannung des innern Rahmens erfolgt über insgesamt acht Platten mit hydraulischen Pressen, je vier am vordern und hintern Rahmenende.

Der äussere Rahmen wird mittels vier hydraulischen Pressen von total 630 t maximalem Druck über den inneren Rahmen gegen die Tunnelbrust gepresst. Er verfügt über vier hydraulisch betätigte Fussplatten (Bild 4). Der Bohrkopf ist über das Hauptlager von 2,4 m Aussendurchmesser auf dem äusseren Rahmen abgestützt. Fünf am äusseren Rahmen angeflanschte Elektromotoren (Bild 5) mit je 200 PS Leistung übertragen ihr Drehmoment je über eine Kupplung und ein Untersetzungsgetriebe auf das Antriebszahnrad des Bohrkopfes. Der mit einer Drehzahl von 3,5 bis 5 U/min rotierende Kopf ist mit insgesamt 44 Rollmeisseln – zwei kegelförmigen Zentrums- und 42 Kegestumpmeisseln mit je 2 bis 4 Zahnkränzen oder Disken – bestückt. Diese Werkzeuge wurden eigens für diesen Bohrvortrieb entwickelt und unterscheiden sich bezüglich Form und Lagerkonstruktion von den hergebrachten Meisseln.

Bild 4. Vordere Fussplatten des äusseren Rahmens mit den zugehörigen hydraulischen Pressen, darüber Kupplungsgehäuse (Werkstattaufnahme)



Der Vortrieb vollzieht sich in der Weise, dass nach dem Bohren von jeweils rd. 1,5 m des Tunnels der äussere Rahmen auf seine Fussplatten abgestellt und die Verspannung des inneren Rahmens aufgehoben wird. Der innere Rahmen wird dann durch den stationären äusseren mittels der reversibel arbeitenden Pressen um rd. 1,5 m nachgezogen und wieder verspannt. Nach dem Entlasten der Fussplatten des äusseren Rahmens ist die Maschine wieder bohrbereit.

5.3 Die Stromversorgung

Der Maschine wird Dreiphasenstrom von 2300 V Spannung zugeführt. Die Anspeisung der fünf Bohrkopfmotoren erfolgt direkt. Über einen auf der Maschine montierten Haupttransformator 2300/440 V erfolgt die Anspeisung der Pumpen-Motoren der Hydrauliksysteme und des Maschinen-Förderbandes sowie von zwei Nebentransformatoren 440/220 V für die Klimaanlage der Steuerkabine und 440/120 V für Nebenverbraucher.

5.4 Die Installationen für die Abfuhr des Bohrkleins

Das von der Tunnelbrust auf die Sohle fallende Bohrklein wird von 12 im Bohrkopf eingebauten und mit dem Kopf rotierenden Eimern aufgegriffen, angehoben und auf ein Förderband übergeben. Dieses Band führt über die Bohrmaschine in einen kleinen Silo an ihrem Hinterende.

Beim Vortrieb des Navajotunnels 1 wurde das Bohrklein auf der Schiene abtransportiert. Der Silo entleerte sich auf einen an die Maschine angehängten, rd. 45 m langen Dixon-Conveyer, welcher die unter seinem Förderband zirkulierenden Wagen belud. Beim Bohren gelangten anfangs zwei Züge mit je 7 Förderwagen von 8 m³ Inhalt, gezogen von 12 t schweren Dieselloks, später drei Züge zu je 5 Förderwagen zum Einsatz. In einer Maximaldistanz von 300 m folgte der Bohrmaschine eine verschiebbare Plattform mit zwei parallelen Gleisen, verbunden mit zwei Gabelweichen (Bild 6). Im stationären Zustand war die Plattform auf das darunter liegende durchgehende Tunnelgleis und auf die Tunnellaibung abgestützt. Während der periodischen Verschiebungen wurde die Plattform durch hydraulische Pressen gehoben und auf Rollen mittels einer Lok über das normale Tunnelgleis verschoben. Diese doppelspurige Plattform diente der Bereitstellung der leeren Schutterzüge und der Zugskreuzung. Ein weiteres Kreuzungsgleis war vor dem Tunnelportal 300 bis 700 m von der Deponie entfernt installiert.

5.5 Die Staubbekämpfungs- und Ventilationsanlage

Die Frischluftzufuhr von total 18,5 m³/s zu den Ausbruchstellen erfolgte durch den gebohrten Tunnel. Davon werden am Hinterende der Bohrmaschine 5,5 m³/s abgesaugt und zur Kühlung über die Bohrkopftriebsmotoren geleitet. Weitere 5,5 m³/s werden zusammen mit dem beim Bohren anfallenden Staub an der Tunnel-

brust abgesaugt und durch ein Kanalsystem im Bohrkopf und eine durch den äusseren Maschinenrahmen führende Sekundär-Lutte von 0,6 m Durchmesser abgeführt. Diese ausschliesslich der Staubbekämpfung an der Brust und im Bereich der Maschine dienende Luft wird durch eine ausziehbare Verbindungslutte in die durch den Tunnel führende Hauptlutte eingeführt. Durch diese Hauptlutte wird auch die Restabluftmenge von total 13,0 m³/s abgesaugt. Da beim Vortrieb des Navajotunnels 1 noch keine Staubabscheidungsanlage zur Anwendung gelangte, war die Abluft stark mit Bohrstaub angereichert. In der Hauptlutte von 1,05 m Durchmesser waren zur Erzeugung des deshalb relativ hohen Druckgefälles in Abständen von 750 m je zwei in Serie montierte Luttenventilatoren eingebaut.

5.6 Die Ausrüstung zur Lage- und Höhenkontrolle sowie zur Steuerung der Maschine

Im Bestreben, während des Bohrens jederzeit die Lage und die Höhe des Vortriebes überwachen zu können, gelangte ein neuartiges System zur Anwendung. Von einem seitlich an der Tunnellaibung angeordneten Vermessungsfixpunkt ausgehend, wird ein parallel und in einem bestimmten Abstand zur Soll-Tunnelaxe verlaufender Laserstrahl erzeugt. Dieser Strahl wird von je einer Rasterplatte vorn oder hinten am äussern Maschinen-Rahmen aufgefangen. Aus der Abweichung des Ursprunges der Rasterplatte vom deutlich sichtbaren Durchstosspunkt des Laserstrahles lässt sich die Richtungsabweichung des Vortriebes erkennen. Diese Messungen werden in die Steuerkabine übertragen. Die direkt über dem Abstecktheodoliten angeordnete Laserquelle erzeugt mit einer Betriebsspannung von 110 V einen Gas-Laserstrahl, dessen Streuung auf eine Distanz von 100 m innerhalb eines Kreises von 2,5 cm Durchmesser liegt.

Während des Bohrens hat der Maschinenführer die Maschine so zu steuern, dass der Ursprung beider Rasterplatten vom Laserstrahl getroffen wird. Dies wird ermöglicht durch die Verschiebbarkeit des äussern Maschinenrahmens gegenüber dem innern Rahmen in der Horizontal- und Vertikalebene zur Tunnelaxe. Die beiden Rahmen sind dementsprechend kardanisch miteinander verbunden, und am Vorder- und Hinterende des äussern Rahmens sind für die beiden Verschiebungsrichtungen je die hydraulischen Steuerpressen und die Übertragungsmechanismen angeordnet. Dieses System wurde besonders für die Steuerung beim Bohren in Hartgestein entwickelt, wo sich Richtungs- und Höhenkorrekturen mittels entsprechender Anpassung des Druckes einzelner Vorschubpressen nicht mehr ausführen lassen.

5.7 Hilfsinstallationen

Mit der Maschine können Tunnel von drei verschiedenen Durchmesser gebohrt werden: 6,05 m, 6,35 m und 6,50 m. Diese Durchmesserstellbarkeit ermöglicht eine Anpassung der Stärke der Tunnelauswölbung an die jeweiligen Gebirgsverhältnisse. Die Veränderung wird

Bild 5. Vordere rechtsseitige Abstützungsplatte des inneren Rahmens. Beidseitig der zugehörigen hydraulischen Presse zwei der fünf 200-PS-Elektromotoren (Werkstattaufnahme)

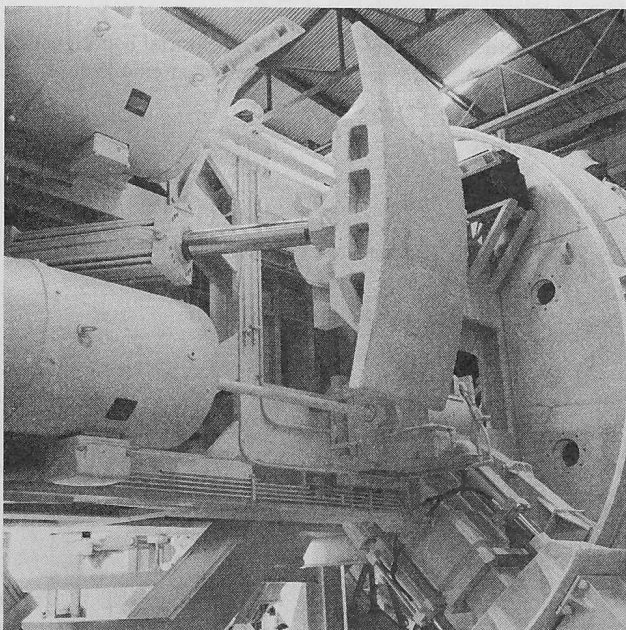
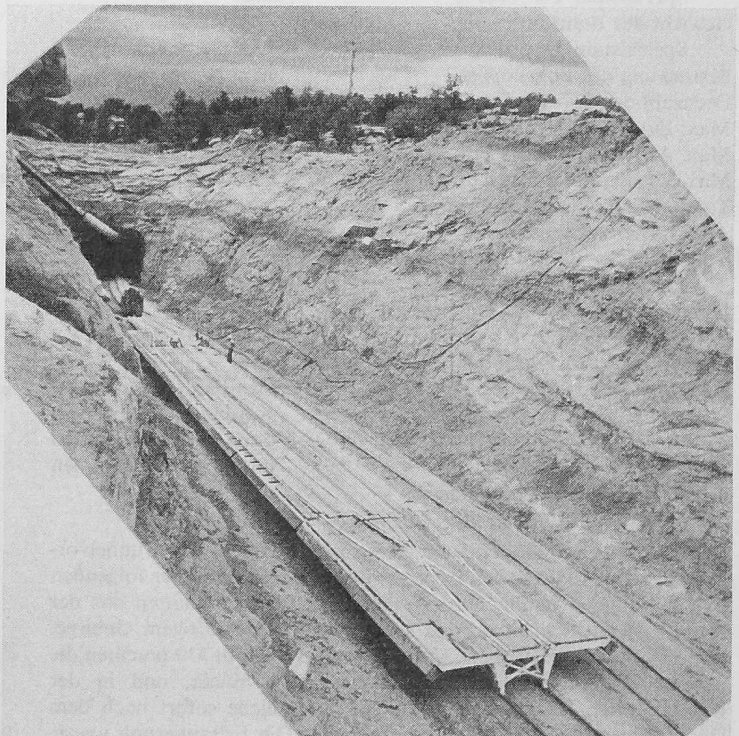


Bild 6. Gesamtansicht der hinter der Bohrmaschine folgenden Doppelspur-Plattform vor dem Einfahren in den Tunnel



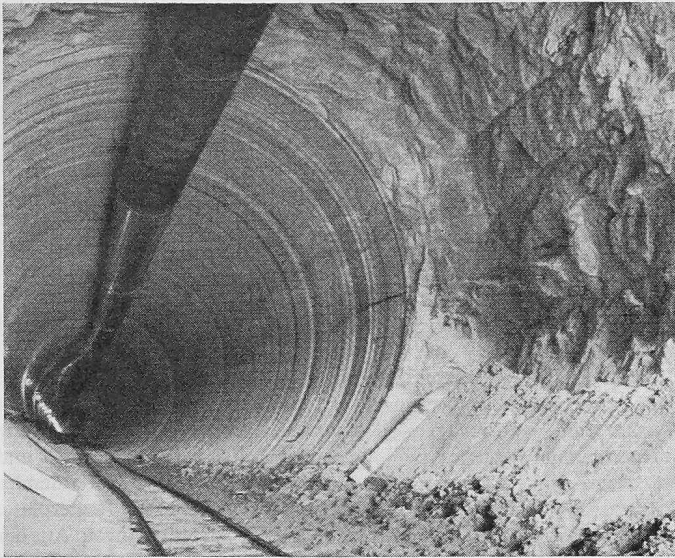


Bild 7. Uebergang von der konventionell ausgebrochenen Ansatzstelle für die Vortriebsmaschine zum gebohrten Tunnel

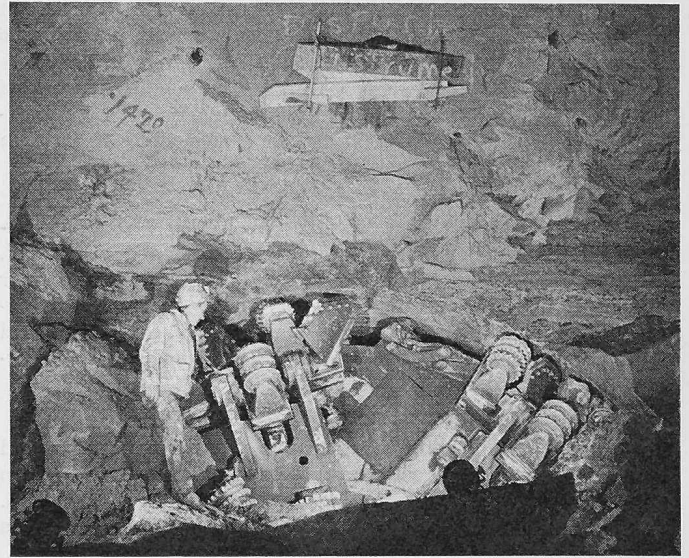


Bild 8. Durchbohren des Navajo-Tunnels 1 in die Energievermittlungskammer des Einlaufbauwerkes

vollzogen durch Aufrichten oder Zurückklappen der sechs Bohrkopf-konsolen, welche die Werkzeuge zum Bohren des Profilumfanges tragen. Zur Durchmesservergrößerung wird die Maschine um 1 bis 2 m von der Brust zurückgezogen und die Verriegelung der Konsolen aufgehoben. Bei langsamer Rotation des Bohrkopfes und praktisch ohne Vorschub werden die Bohrkopf-konsolen mittels hydraulischer Pressen langsam aufgerichtet und, nachdem der dem neuen Durchmesser entsprechende Anstellwinkel erreicht ist, wieder verriegelt.

Auf der Bohrmaschine ist ein Kompressor zur Druckluftzeugung für das Bohren von Felsankerlöchern sowie für andere Zwecke und ausserdem eine Schweissanlage installiert. Da die Unternehmung den Vortrieb und die Auswölbung in zwei zeitlich einander nachfolgenden Arbeitsphasen ausführte und das konventionelle Betonierungsverfahren mit Schalung und Ortsbeton zur Anwendung bringt, verfügt das Vortriebssystem über keine Installationen zum Versetzen von vorfabrizierten Betonelementen für die Auswölbung.

5.8 Die kennzeichnenden technischen Daten des Bohrsystems

Bohrdurchmesser:	6,05, 6,35, 6,50 m
Länge der Bohrmaschine ohne Dixon-Conveyer	19,5 m
Gewicht der Bohrmaschine ohne Dixon-Conveyer total (davon Anteil an Spezialstahl T-1: 85,5 t)	252 t
Gewicht des Bohrkopfes (davon Anteil an Spezialstahl T-1: 31,5 t)	40,5 t
Bestückung des Bohrkopfes	44 Meissel
Drehzahl des Bohrkopfes	3,5 ÷ 5 U/min
Max. Druck der Hydrauliksysteme	420 kg/cm ²
Max. Anpressdruck des Bohrkopfes	630 t
Max. Verspannungsdruck des innern Rahmens	1350 t
Totale Leistung der 5 Bohrkopf-Antriebsmotoren	1000 PS
Totale auf der Bohrmaschine installierte Leistung	1150 PS
Dimensioniert für max. Gesteinsdruckfestigkeit	über 1000 kg/cm ²
Dimensioniert für Nettobohrgeschwindigkeit	3 m/h
Richtungskontrolle	Gas-Laser
Steuerung	Kardanische Verbindung zwischen innerem und äusserem Rahmen

6. Der Vortrieb des Navajotunnels 1

6.1 Geologisch-bautechnische Verhältnisse

Vom SP im Gobernador Canyon, der Basis des Tunnelvortriebes, bis m 195 war das Gebirge standfest. Während der folgenden 135 m erfolgten häufig Niederbrüche von Sandsteinplatten aus der Kalotte, deren Schichtverbund schlecht war, bei klüftigem Gebirge. Der Einbau von Felsankern war notwendig. Nach m 330 tauchten die Sandsteinschichten in den Tunnelquerschnitt hinein, und in der Kalotte traten feuchte Mergelschiefer auf, welche sofort nach dem Durchgang des Bohrkopfes niederbrachen. Die Felsankerung wurde

in der Folge als nicht mehr sicher genug erachtet und ersetzt durch den Einbau von Halbkreis-Stahlbogen, auf welche Holzbretter und Flugpistenbleche gelegt wurden. Bedingt durch die über weite Strecken anhaltende wellige Lagerung der Mergelschieferschicht zwischen den Sandsteinbänken im Bereiche der Kalotte musste man den Bohrdurchmesser zweimal auf 6,35 m vergrössern und auf 46,1% der ganzen Tunnellänge Halbkreis-Stahlbogen einbauen.

Die angetroffene Druckfestigkeit der Sandsteine betrug 350 bis 450 kg/cm². Die vorausgesagte, relativ hohe Abrasivität dieses Gesteins wurde bestätigt.

Abgesehen von lokal auftretendem starkem Tropf fiel kein Wasser an.

6.2 Die Gliederung der Vortriebsschichten

Der Tunnelvortrieb erfolgte wöchentlich während fünf Tagen. Täglich gelangten drei Vortriebs-Schichten zum Einsatz. Jeden Samstag wurden zwei Unterhaltsschichten geleistet. Die Belegschaft einer Schicht im Tunnel setzte sich zusammen aus:

Auf der Bohrmaschine:	1 Maschinenführer
	1 Mechaniker
	1 Elektriker
Neben oder hinter der Maschine:	4 Mineure (Gleis-, Ventilations- und Wasserleitungsverlegung, Silobedienung)
	4 Mineure zusätzlich beim Stahlbogeneinbau
Auf Schutterzügen pro Zug:	1 Lokführer
	1 Bremsler

6.3 Die Vortriebsleistungen

Die Montage der Maschine vor dem Tunnelportal benötigte drei, die nachfolgenden Funktionskontrollen erforderten eine Woche. Die

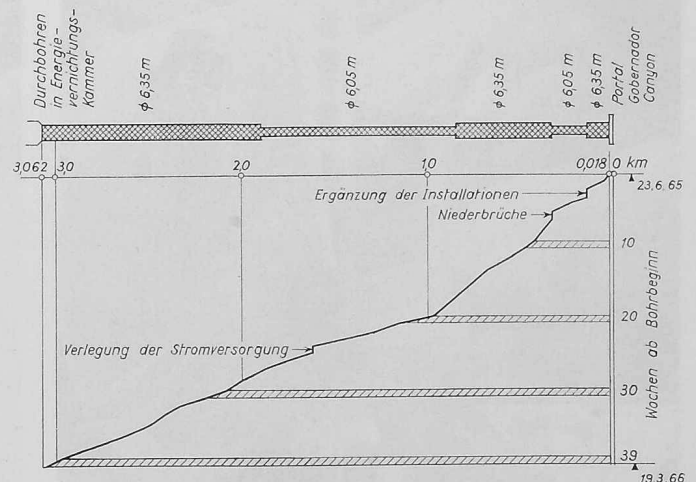


Bild 9. Zeitlicher Verlauf des Tunnelbohrens, Bohrdurchmesser-Zonen

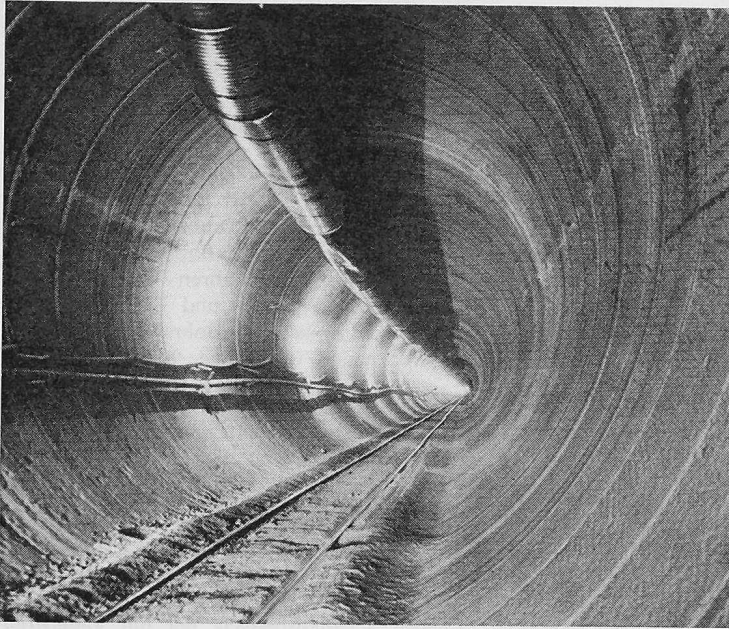


Bild 10. Ansicht des gebohrten Tunnels von 6,05 m Bohrdurchmesser. An der Kalotte Abluftlutte, am Parament Wasserleitung, 2300-V-Hauptkabel für die Stromversorgung der Vortriebsmaschine und Speisekabel der Tunnelbeleuchtung

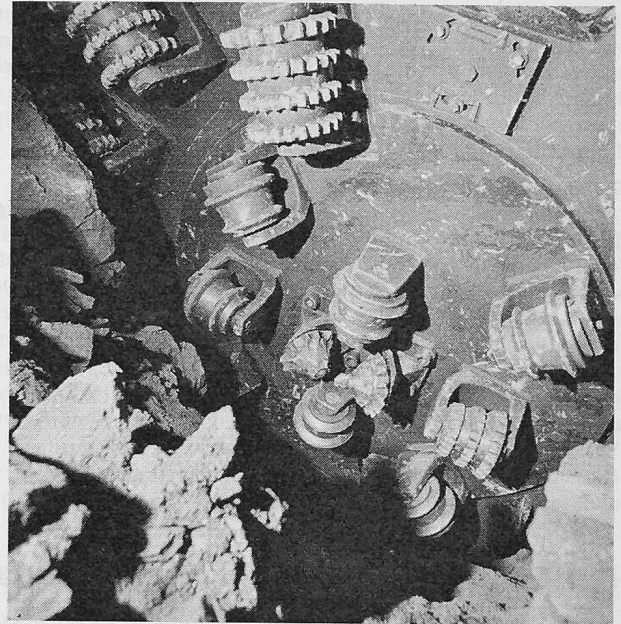


Bild 11. Zentrum des Bohrkopfes mit zwei Kegelmeisseln, in gemischter Anordnung zahn- und diskusbestückte Rollmeissel

Maschine bewegte sich anschliessend selbständig in 1,5 m-Schritten in den vorher konventionell ausgebrochenen, 18 m langen äussersten Tunnelabschnitt, wo der innere Rahmen verankert werden konnte. Der Bohrvortrieb wurde als Versuchsbetrieb mit 6,35 m Tunneldurchmesser am 23. Juni 1965 aufgenommen. Während acht Arbeitstagen wurden 120 m des Tunnels gebohrt (Bild 7). Nach einwöchiger Ergänzung der Installationen begann am 12. Juli 1965 der Leistungsvortrieb mit dem Durchmesser von 6,05 m. Er wurde am 19. März 1966, nach dem Bohren von total 3044 m des Tunnels, beendet (Bild 8). In die Zeit vom 23. Juni 1965 bis zum 19. März 1966 fielen rd. 190 Arbeitstage, davon waren etwa 175 Vortriebstage (Bild 9). Je rd. 5 Arbeitstage mussten aufgewendet werden für die Ergänzung der Installationen, die Verkürzung der Stromzuleitung (Einführung des Hauptkabels durch ein 90 m tiefes Bohrloch statt wie anfänglich vom Portal aus) und zur Überwindung einer stark gebrächen Zone. Während 84% der verfügbaren Vortriebszeit von jeweils Montag- bis Samstag-Morgen war die Maschine technisch einsatzbereit. Die Auslastung der Maschine durch das eigentliche Bohren betrug 27% der Vortriebszeit. Die mittlere Vortriebsleistung betrug:

16,0 m/Arbeitstag

17,4 m/Vortriebstag

Die maximale Vortriebsleistung betrug:

52 m/AT ohne Stahlbogeneinbau

31 m/AT mit Stahlbogeneinbau

Die vertraglich festgelegte Netto-Bohrgeschwindigkeit von 3,0 m/h konnte sehr gut erreicht werden; sie betrug häufig über 4 m/h und erreichte Spitzenwerte von mehr als 5 m/h (Bild 10).

Während des Bohrens des Navajotunnels 1 wurde vom Südrand des Gobernador Canyons aus der Tunnel 2 mit einem Hufeisenprofil von rd. 30 m² theoretischer Fläche konventionell ausgebrochen. Der Vortrieb begann Ende April 1965. Eine Mergelschieferschicht in der Kalotte erschwerte die Arbeiten in hohem Masse und erforderte den Einbau von Felsankern und Stahlbogen. Nach dem Erreichen von rd. m 200, erst Ende Juli 1965, trat der Tunnel in standfesten Sandstein und verlief in der Folge innerhalb dieser bautechnisch-geologisch günstigen Formation. Am Tage des Durchbohrens des 3060 m langen Tunnels 1 war der Tunnel 2 auf eine Länge von rd. 2550 m ausgebrochen. Dies entspricht einer mittleren konventionellen Vortriebsleistung zwischen Ende April 1965 und Mitte März 1966 von rd. 11 m/AT.

6.4 Die Durchführung von Messungen

Im Verlaufe des kommerziellen Tunnelvortriebes durch die Bauunternehmung führte die Hughes Tool Company an der Bohrmaschine ein umfangreiches Messprogramm durch zur Überprüfung der Dimensionierungsgrundlagen und zur Abklärung der optimalen Einsatzbedingungen. Mittels eines Registriergerätes mit 24 Messkanälen wurden wiederholt die Basiswerte des Einsatzes (Andruck auf Brust, Verspannung, Leistung der Bohrkopfmotoren, Bohrkopf-

drehzahl und Nettobohrgeschwindigkeit) und darüber hinaus die Beanspruchung der wichtigsten Konstruktionsteile festgehalten. Dieses Messprogramm umfasste die Datenerhebung an insgesamt 44 Beobachtungsstellen.

Während der ganzen Vortriebszeit konnte der maximale Anpressdruck der Maschine nie ausgenützt werden. Das Bohren der mittelharten Sandsteine erforderte nie mehr als rd. 350 t.

Die vorläufige Vermessung nach erfolgtem Durchbohren ergab einen mittleren Fehler der Höhe und der Lage von je rd. 1,5 cm.

6.5 Die Wirtschaftlichkeit des Bohrvortriebes

Die Wirtschaftlichkeit des Bohrvortriebes wird ganz entscheidend beeinflusst durch die Kosten der Bohrwerkzeuge und der Bohrmaschine.

Vom Beginn der Bohrarbeit bis etwa m 1500 war der Bohrkopf ausschliesslich mit Zahnmeisseln bestückt. Anschliessend gelangten Zahnmeissel zusammen mit Mehrfach-Diskusmeisseln zum Einsatz (Bild 11). Zur Ermittlung der optimalen Werkzeugkombination wurde das Verhältnis der Zahnmeissel zu den Diskusmeisseln sowie die örtliche Anordnung der beiden Typen auf dem Bohrkopf mehrfach gewechselt. Die Zahnmeissel lieferten ein kleinstückigeres Bohrgut – mit einem mittleren Durchmesser von 2 ÷ 3 cm des Maximalornes – als die Diskusmeissel, deren grösste Fraktion mit 5 ÷ 10 cm mittlerem Durchmesser rd. 40% des gesamten Bohrkleins beanspruchte. Beide für diesen Einsatz neu entwickelten Meisseltypen bewährten sich bezüglich Standzeit der Lager und Zähne bzw. Schneiden so gut, dass sie inzwischen in Seriefabrikation übernommen worden sind und nun auch auf Grosslochbohrmaschinen für das Abteufen von Schächten eingesetzt werden. Ausser den aus einer Stahllegierung bestehenden, mit Zähnen oder Disken bestückten Rollmeisseln für weiches und mittelhartes Gestein gelangten dort im harten Gestein mit Hartmetallstiften besetzte Rollmeissel zum Einsatz.

Die mittleren Werkzeugkosten beim Bohren des Navajotunnels 1 lagen deutlich unter 10.— Fr./m³. Die Arbeits- zusammen mit den Material- und Betriebskosten des Bohrvortriebes waren niedriger als die entsprechenden Kosten für den konventionellen Ausbruch. Weitere Einsparungen ergaben sich aus einem verminderten Bedarf an provisorischer Felsicherung und an Auswölbungsbeton infolge des sehr geringen, praktisch nur durch die Kalottenniederbrüche bedingten Überprofils. Bauherr und Unternehmung anerkennen, dass durch den Einsatz der Tunnelbohrmaschine im vorhandenen, leicht gebrächen bis gebrächen Gebirge der Vortrieb nur halb so lange dauerte, wie er beim konventionellen Ausbruch hätte in Rechnung gestellt werden müssen.

Der Vortrieb des Navajotunnels 1 ist nicht repräsentativ bezüglich der Kosten der Bohrmaschine, deren Neuwert in der Grössenordnung von mehreren Mio Franken liegt. Mit der diesen Kosten und der Benützungsdauer entsprechenden Installationspauschale wurde sowohl der Tunnelvortrieb durch die Bauunternehmung wie die Versuche durch den Maschinenhersteller belastet. Es steht aber im

allgemeinen ausser Frage, dass die Gesamtkosten des Bohrvortriebes mindestens im weichen und mittelharten Gestein geringer sind als diejenigen des konventionellen Ausbruches, sofern der Tunnel eine bestimmte Länge aufweist oder die Bohrmaschine beim Vortrieb mehrerer Tunnel im Mindestausmass der wirtschaftlich minimalen Länge eingesetzt werden kann.

7. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Beim Bau des Navajotunnels 1 im Rahmen des Navajo Irrigation Projekts im Norden von New Mexico gelangte ein von der Hughes Tool Company konstruiertes und gebautes neuartiges Tunnelbohrsystem zum Einsatz. Seine besonderen Kennzeichen sind: Der erzeugbare Anpressdruck des Bohrkopfes von 630 t auf die Tunnelbrust von rd. 30 m² Querschnittsfläche, die Möglichkeit dauernder Richtungs- und Höhenkontrolle beim Bohren mittels eines Gas-Laserstrahles, ein im Hinblick auf das Bohren in Hartgestein entwickeltes Steuersystem, eine vollkommen beherrschte Absaugung des Bohrstaubes und die Verstellbarkeit des Bohrdurchmessers zwischen 6,05 m und 6,50 m. Die mittlere Leistung beim Bohrvortrieb des rd. 3 km langen, durch praktisch horizontal gelagerte, mittelharte Sandsteine und weiche

Mergelschiefer führenden Tunnels betrug 16,0 m/AT oder 17,4 m/Vortriebstag. Dabei war auf 46% der Tunnellänge der Einbau provisorischer Felssicherung notwendig. Der Bohrkopf war mit neuentwickelten zahn- und diskbesetzten Rollmeisseln bestückt. Die mittleren Werkzeugkosten lagen deutlich unter 10.— Fr./m³ des gebohrten Gesteins.

Der technisch und wirtschaftlich erfolgreiche Einsatz dieses Bohrsystems stellt einen beachtlichen Schritt dar zur vermehrten Anwendung des Bohrvortriebes für grössere Tunnelquerschnitte und im härteren Gestein. Die Wirtschaftlichkeit des Bohrvortriebes – verglichen mit dem konventionellen Ausbruchverfahren – ist in mittelhartem Gestein auch für zweispurige Strassen- und Eisenbahntunnel gegeben, sofern die noch hohen Kosten des Bohrsystems auf eine bestimmte, fallweise zu berechnende Tunnellänge aufgeteilt werden können.

Photos: W. Rutschmann und Hughes Tool Company

Adresse des Verfassers: W. Rutschmann, dipl. Ing., Elektro-Watt Ingenieurunternehmung AG, 8022 Zürich

Der Schweiz. Werkbund vor neuen Aufgaben

DK 061.2:745

Der im Jahre 1913 gegründete¹⁾ Schweizerische Werkbund (SWB) ist kein Berufsverband, sondern eine Arbeitsgemeinschaft aller an der Gestaltung schöpferisch interessierten Kräfte. Ein derartiger Zusammenschluss war damals notwendig und kennzeichnend für eine Zeit, in der die Form zu zerfallen drohte, der Formenschatz der Vergangenheit gedanklich- und skrupellos ausgebeutet wurde und andererseits das Verhältnis zwischen künstlerischem Gewerbe und der in starker Entfaltung begriffenen industriellen Produktion infolge Fehlens einer richtunggebundenen Konzeption keineswegs bewältigt war. Der schon 1907 entstandene Deutsche Werkbund, der das Vorbild für den SWB und das schweizerische «Oeuvre» war, setzte sich «die Veredlung der gewerblichen Arbeit im Zusammenwirken von Kunst, Industrie und Handwerk» zum Ziel. Dieses verfolgten die Werkbundorganisationen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz auf eigenen Wegen. Dass dabei gelegentlich «übermarcht» wurde oder umgekehrt zeitweise eine gewisse selbstzufriedene Lethargie eintreten konnte, ist aus den ideellen Voraussetzungen und den künstlerischen Temperamenten, mitunter etwas mangelndem Sinn für die Realität, aber auch aus den schwierigen Lebens- und Schaffensumständen während der ersten Kriegs- und Nachkriegszeit grösstenteils erklärlich. Kritik und polemische Auseinandersetzungen, an denen es zu Zeiten nicht fehlte, hatten, rückblickend betrachtet, das Gute, die Werkbundbewegung immer wieder zu beleben und, was wichtig ist, im öffentlichen Bewusstsein zu verankern.

Doch die Zeiten wandeln sich und mit ihnen auch der Werkbund. Vor wenigen Jahren hat der SWB seine *Zielsetzungen* neu formuliert: «Ziel und Aufgabe des Schweizerischen Werkbundes ist die *Gestaltung der Umwelt*: die Siedlung – die Wohnung – das Gerät – das Bild. Der SWB sucht dieses Ziel zu erreichen durch: Auslese und Zusammenschluss schöpferischer Menschen; Erforschung der Bedürfnisse von Individuum und Gesellschaft; Förderung der ästhetischen, zweckmässigen und wirtschaftlichen Gestaltung; Aufklärung, Erziehung und Schulung; kritische Stellungnahme zu aktuellen Fragen». Diesen Satzungen des Werkbundes entspricht eine Reihe von Aufgaben, die, teils aus seiner früheren Aktivität stammend, «innerhalb einer sich dauernd verändernden Umwelt» selbstkritisch geprüft und neu konzipiert werden, teils aber auch als eigentliche Neuerungen von der heutigen Schaffensrichtung des Werkbundes und seiner Mitglieder in der Öffentlichkeit Zeugnis geben sollen.

Dieses künftige Wirken erläuterten kürzlich in Zürich der zweite Vorsitzende des SWB, *Richard P. Lohse*, ergänzt durch weitere Referenten anhand eines *Aktionsprogrammes*, das geeignet ist, die eingangs erwähnten Satzungen des Bundes praktisch zu interpretieren.

Dabei lag es nahe, zunächst an die erstmals 1950 in der Basler Mustermesse organisierte Ausstellung «Die gute Form» anzuknüpfen, um diese periodische Veranstaltung den in der heutigen Zeit sich stellenden Problemen anzugleichen und damit attraktiv zu gestalten. Während vor 16 Jahren der Sinn dieser Sonderschau durchaus zu Recht in der formalen Verbesserung von Gebrauchsgeräten und in der Popularisierung und Verbreitung guter Gebrauchsformen zu sehen war, so mündet heute das vorwiegend der gegenständlichen Form ver-

pfligtete Gestalten in jenen Schaffensbereich, der mit «*Industrial Design*» umschrieben wird. Funktion und Form des schweizerischen Design sind neu zu überdenken. Kennzeichnend für die heutige Lage und zugleich beunruhigend sind folgende Feststellungen von R. P. Lohse: «Im Sektor des industrial Design und der Wohnungsausstattung ist eine eigentliche Verschleisswirtschaft entstanden, die eine echte Typisierung der Erzeugnisse verhindert. Um den Absatz zu heben, wird ein dauernder Formwechsel propagiert, die Qualität ist entsprechend vermindert ... Eine bedenkliche Relativierung der Werte ist die Folge dieser uferlosen Produktion ... Die beruflichen Erfolge dürfen uns nicht darüber täuschen, dass das Bewusstsein der Berufung nur eine geringe Förderung erfahren hat ... Wenn in den zwanziger Jahren die Kontraste (gut oder schlecht) eindeutig erschienen, so überfällt heute die Flut der Gebrauchsgüter den Konsumenten und schaltet das Urteilsvermögen aus ... Es muss die Aufgabe und die soziale Funktion der Mitglieder des Werkbundes sein, das Prinzip der Dauerhaftigkeit vor allem auf dem Gebiet der Wohnung zu erhalten und zu fördern. Es ist dies ebenso eine kulturelle wie politische Aufgabe ersten Ranges».

Diese Beurteilung der Lage bedeutet freilich noch keine Weisung dafür, wie die losgelassenen Geister zu bannen sind. Der Werkbund sieht einen Weg im Pädagogischen. Hierzu Lohse: «Solange der heranwachsende Mensch in der Schule ausschliesslich auf seinen Beruf, auf sein Fortkommen vorbereitet und ihm keine Möglichkeit geboten wird, in seiner Umwelt gute und schlechte Formen, Materialgerechtigkeit und Imitation unterscheiden zu lernen, wird er unweigerlich das Objekt der Auswirkungen der heutigen unkontrollierten Gebrauchsgüterproduktion werden ... Warum ist für den jungen Menschen das Erkennen der Qualität in seiner nächsten Umwelt weniger wichtig, als ein anderes Unterrichtsfach? Auch hier sollte unser Land den Schritt tun, den Schweden längst getan hat: die *Einführung eines Unterrichtsfaches «Wohnen»*. Hier liegt wahrscheinlich ein entscheidendes Problem der Verwirklichung der Ziele des Werkbundes».

Als weiteres Problem auf dem Gebiete des Unterrichtes stellt der SWB heute die *Ausbildung der Designer* in den Vordergrund. Diese besteht nur in einem äusserst beschränkten Rahmen, gleichsam am Rande, weshalb eine Erweiterung des Lehrprogrammes unserer Kunstgewerbeschulen vordringlich geworden ist. Behörden und Industrie müssen diese Aufgabe als eine gesamtschweizerische Aufgabe zu verstehen suchen. Deutschland, England, Amerika, Japan haben teilweise mit massiver finanzieller Unterstützung staatlicher und privater Institutionen die Exportbedeutung der Formgebung für ihre Industrieerzeugnisse erkannt. Die Schweiz darf sich in anbetracht ihrer Konkurrenzlage auf dem Weltmarkt dergleichen Erkenntnissen und Konsequenzen gegenüber nicht verschliessen.

Die Erfahrungen, welche der SWB mit den 1965 zum dritten Male veranstalteten *Lehrerfortbildungskursen* gemacht hat, sind ermutigend. Die Veranstaltungen stiessen bei der Lehrerschaft auf spontane Kontaktwilligkeit. Für pädagogische Zwecke mag der *Schweizerische Warenkatalog «Wohnen heute»* (der seit 5 Jahren in 5000 Exemplaren erscheint) vorerst als Anschauungsunterlage dienen. Doch wird für den Gebrauch in den Schulen spezifischeres Unterrichtsmaterial notwendig werden.

¹⁾ Siehe SBZ 1963, H. 43, S. 758: 50 Jahre SWB.