Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 78 (1960)
Heft: 13

Artikel: Der Donnerbühl-Tunnel in Bern: die Arbeiten nach dem Schildverfahren
Autor: Ruppanner, H.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-64858

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: 08.08.2025

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

ORGAN DES SCHWEIZERISCHEN INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINS S.I.A. UND DER GESELLSCHAFT EHEMALIGER STUDIERENDER DER EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE G.E.P.

Der Donnerbühl-Tunnel in Bern

Schluss von Seite 211

Die Arbeiten nach dem Schildverfahren

Von **H. Ruppanner,** dipl. Ing., in Firma Prader & Cie. AG., Zürich

DK 624.191.6

1. Bemerkungen über die Schildbauweise

Der erste nach der Schildbauweise ausgeführte Tunnel ist der Thames-Tunnel zwischen Wapping und Rotherhithe bei London, erbaut in den Jahren 1825—1842 (Schild ohne Druckluft). Seither wurden in den verschiedensten Ländern, hauptsächlich in den USA, in England, Deutschland und Frankreich, weit über hundert grössere und kleinere Tunnel nach der Schildmethode aufgefahren. Unter den ausgeführten Tunnelbauten seien als neueste Beispiele die beiden Tunnel für die U-Bahn in Hamburg [1]) mit einem Aussendurchmesser von 6,40 m und einer Länge von zusammen ungefähr 550 m genannt (Bauzeit 1958—1959, Schild ohne Druckluft).

In der Schweiz wurde bisher nur ein Schildvortrieb ausgeführt, nämlich beim 1040 m langen Sulgenbachstollen [2]) für die Kanalisation der Stadt Bern, der zum Teil in fester Molasse, zum Teil in Moräne mit hohem Grundwasserspiegel liegt. In diesem letzten Teil von 240 m Länge wurde ein Schild mit Druckluft mit einem Durchmesser von 4,05 m verwendet (Bauzeit 1922—1926).

Als im Jahre 1894 beim Bau des einspurigen, 760 m langen Emmersbergtunnels [3]) bei Schaffhausen sandiger Baugrund und Wasser angetroffen wurde, hatte man die Schwierigkeiten durch Anwendung von Druckluft überwinden können. Im Arbeitsraum wurde eine Art Schild eingesetzt, jedoch nicht so, dass von einer Schildbauweise gesprochen werden könnte.

1) Ausführliche Darstellung von *G. Mandel* in SBZ 1959, S. 705.
2) Ausführliche Darstellung von *C. Andreae* in SBZ, Bd. 91, S. 157 und 173 (1928). Weiteres Bd. 81, S. 253; Bd. 90, S. 318; Bd. 93, S. 177.
3) Ausführliche Darstellung von *F. Hennings* in SBZ Bd. 24, S. 67 und 75 (1894).
4) Beschreibung von *O. H. Ammann* in SBZ Bd. 111, S. 251 (1938).
5) Profile usw. SBZ Bd. 106, S. 160 (1935).
6) Profile usw. SBZ Bd. 106, S. 158 (1935).

Die wohl bekanntesten, nach der Schildbauweise erstellten Tunnelbauten sind der Holland-Tunnel (1920—27), der Lincoln-Tunnel (1934—45 erste [4]) und zweite Röhre, 1952 bis 1957 dritte Röhre), der Queens Midtown-Tunnel (1936 bis 1940), der Brooklyn-Battery-Tunnel (1940—50), alle in New York, sowie der Mersey-Tunnel [5]) bei Liverpool (1925 bis 1934) und der Schelde-Tunnel [6]) in Antwerpen (1930 bis 1933).

Die Frage, ob sich für ein Tunnelbauvorhaben in losem kiesigem, sandigem oder tonigem Material der Einsatz eines Schildes als notwendig erweist, hängt von verschiedenen, in jedem Einzelfall eingehend zu prüfenden Faktoren ab. Die grundsätzlichen Vorteile, welche die Schildbauweise bieten kann, lassen es zweifellos angezeigt erscheinen, in manchen Fällen deren Anwendung zu erwägen. In losem Material mit geringer Ueberdeckung stellt sie die sicherste Baumethode dar, falls eine künstliche Bodenverfestigung nicht in Betracht kommt. Gegenüber andern bergmännischen Tunnelbaumethoden ist durch die Anwendung des Schildes eine Reihe von Ursachen eliminiert, die zu Firstsenkungen und Setzungen führen können. Die Setzungen werden auf das kleinstmögliche Mass beschränkt. Die endgültige Tunnelverkleidung folgt kurz hinter der Brust, also nur kurze Zeit nach dem Aushub, womit einer Hauptanforderung des Tunnelbaues in losem Material entsprochen ist. Es verbleibt ferner keinerlei Holzeinbau hinter der Verkleidung.

Die Baugrundverhältnisse, die beim Donnerbühltunnel erwartet werden mussten, lassen sich wie folgt umschreiben: Sand, Feinsand, wenig kiesiges Material, Lehm, teilweise geringe innere Kohäsion; der geringen Durchlässigkeit wegen für eine Baugrundverfestigung durch Injektionen nicht geeignet; der Baugrund lässt nur geringe Bodenpressungen zu, was namentlich für die Beurteilung von

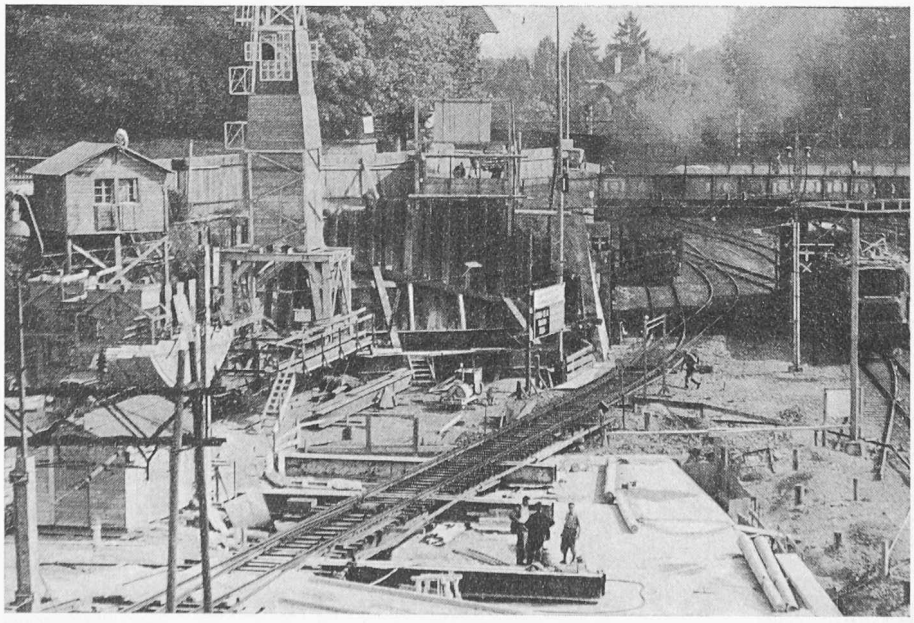

Bild 44. Ansicht der Baustelle beim Westportal. Im Vordergrund die Anschlusstrecke des Tunnels, welche im Tagbau erstellt wird, im Hintergrund der Schacht

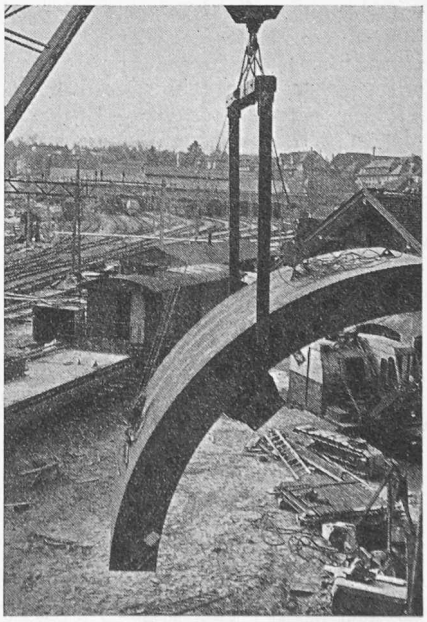

Bild 46. Transport eines Schildelementes in den Schacht mit Hilfe des 25-t-Eisenbahnkrans der SBB

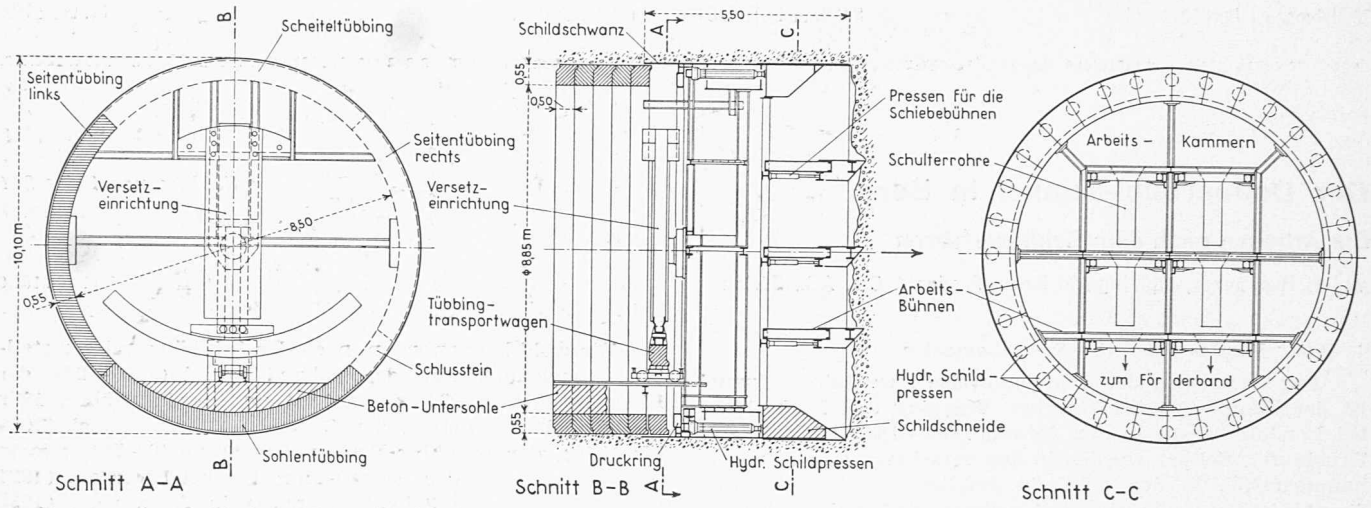

Bild 48. Längs- und Querschnitte des Schildes, Masstab 1:200

Zwischenstadien während des Baues von Bedeutung ist; nach den ausgeführten Sondierungen musste der Grundwasserspiegel tief liegen, im ungünstigsten Fall nicht erheblich über der Aushubsohle, und es war nur sehr geringer Wasserandrang zu erwarten.

Die eingehenden Studien führten die Arbeitsgemeinschaft *Prader & Cie. AG.* und *Locher & Cie. AG.*, Zürich, zur Ueberzeugung, im vorliegenden Fall die Schildbauweise als die sicherste Baumethode zu betrachten und daher in Vorschlag zu bringen.

2. Die Vorbereitungsarbeiten

Mit den Installations- und Bauarbeiten wurde am 1. Dezember 1958 begonnen. Neben anderen Umständen liess es die Lage des Tunnels als zweckmässig erscheinen, die Bauarbeiten vom Westportal her in Angriff zu nehmen (Bild 44). Die westliche Zufahrtsrampe war zur Zeit des Arbeitsbeginnes noch nicht erstellt. Daher wurde auf der Axe des zukünftigen Tunnels unmittelbar westlich der Bühlstrasse (vgl. Bild 1, S. 165) ein Schacht mit einem Grundriss von 7,0 m×11,6 m bis auf eine Tiefe von 12 m unter der Oberfläche abgeteuft (Bild 45). Die Schachtabmessungen ergaben sich einerseits aus dem Tunnellängsprofil und anderseits aus den Dimensionen des Schildes, für dessen Montage im Schacht genügend Raum geschaffen werden musste. Das Abteufen des Schachtes im sandigen Boden erfolgte mit Hilfe gerammter Profilträger ohne Schwierigkeiten, bis in einer gewissen Tiefe Wasser angetroffen wurde. Der weitere Aushub bis zur Schachtsohle wurde durch den unerwarteten und starken Wasserzufluss aus einer kiesigen Zone wesentlich erschwert. Der Wasserandrang betrug über eine längere Zeitperiode zwischen 20 und 25 l/s. Der sich nun bemerkbar machende Erddruck erforderte schnellstens den Einbau der für die Schildmontage entsprechend ausgebildeten, armierten Betonsohle. Ende März 1959 war der Schacht für die Montage des Schildes bereit. Die Grösse des Tunnelquerschnittes bestimmte die Dimensionen der Schildkonstruktion und machte es notwendig, den Schild in mehreren Teilen auf den Platz zu bringen. Diese Teile wurden mit Hilfe des 25-t-Eisenbahnkrans der SBB in den Schacht abgelassen und dort zusammengebaut (Bild 46). Nach Fertigstellung der Schildmontage erfolgte die äusserst heikle Arbeit der Entfernung des Rammträgereinbaues an der Tunnelbrust und das Vorschieben des Schildes in die eigentliche Ausgangsstellung (Bild 47). Diese Vorbereitungsarbeiten waren Anfang Juni 1959 beendet.

3. Der Schild

Der Schild wurde nach Plänen und Berechnungen der Unternehmung Bauges. *Hallinger KG., Gelsenkirchen,* in Schweisskonstruktion ausgeführt. Er ist eine aus statischen Gründen kreisrunde Röhre von 5,50 m Länge und einem Aussendurchmesser von 10,10 m (Bild 48). Die Schneide enthält einen innern Stahlring, um eine grössere Steifigkeit des Schildes zu erreichen, und dient gleichzeitig als Auflager für die 32 eingebauten hydraulischen Schildpressen. Der grosse Querschnitt des Schildes erforderte den Einbau einer dreistöckigen Bühne, die durch drei vertikale Trennwände versteift ist und den gesamten Arbeitsraum in 12 Arbeitskammern aufteilt. Die Zwischenbühnen sind zum Teil als bewegliche Schiebebühnen ausgebildet und mittels hydraulischen Pressen aus- und einschiebbar. Diese konstruktive Massnahme erleichtert den Abbau der Tunnelbrust, wenn diese wegen geringer Standfestigkeit des Baugrundes mit Holz eingebaut werden muss.

Der Schildschwanz enthält keine Aussteifungen, sondern ist so dimensioniert, dass er in der Lage ist, jenen

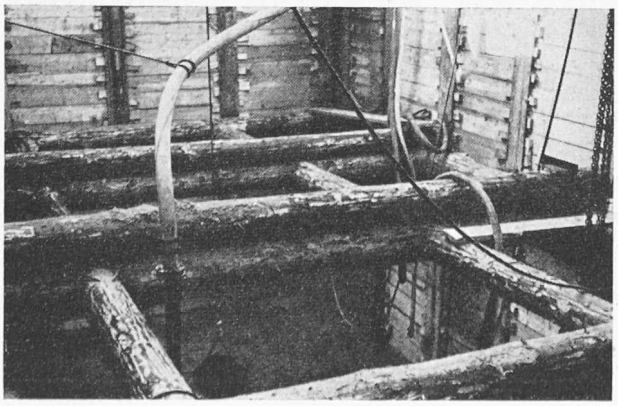

Bild 45. Die Verspriessung im unteren Schachtteil vor dem Einbau der Betonsohle

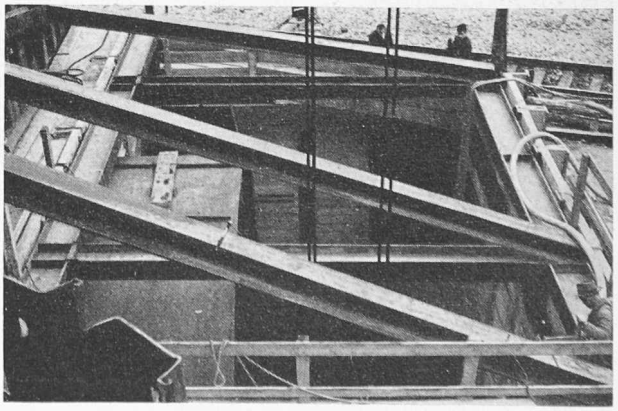

Bild 47. Obere Schachtabspriessung aus Stahlprofilträgern, der vordere Teil des Schildes ist montiert

Gebirgsdruck aufzunehmen, der auf den Raum zwischen dem letzten Aussteifungsring des Schildes und dem fertig verkleideten Tunnel wirkt. In diesem Teil befindet sich der bewegliche Druckring, auf welchen sämtliche Pressen arbeiten. Im hintern Teil des Schildes ist die Erektorbühne eingebaut, auf welcher die hydraulisch gesteuerte Versetzeinrichtung für das Verlegen der Eisenbetontübbinge montiert ist.

Die statische Berechnung eines Schildes ist sehr komplexer Art, denn es sind nicht nur der Erddruck auf den Schild zu berücksichtigen, sondern auch die gewaltigen Pressenkräfte, welche den Schild auf die verschiedensten Arten beanspruchen. Die Dimensionierung der Schildteile muss sich daher zur Hauptsache auf die Erfahrung stützen, welche bei ausgeführten Schildarbeiten gewonnen wurden. Die 32 hydraulischen Pressen, welche im Schild des Donnerbühltunnels eingebaut sind, erzeugen bei 400 atü Pumpendruck zusammen eine Druckkraft von rund 3200 t. Das gesamte Schildgewicht beträgt rund 185 t.

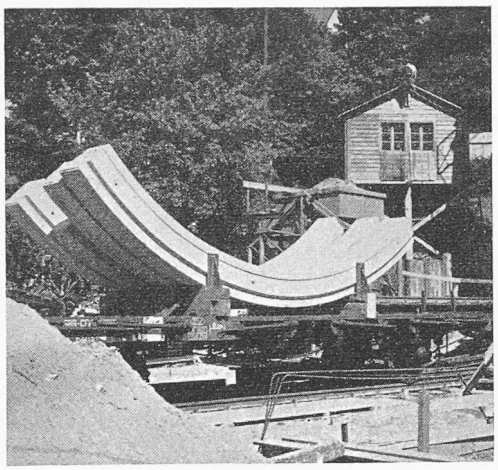

Bild 49. Der Antransport der Tübbinge erfolgt ringweise auf Bahnwagen

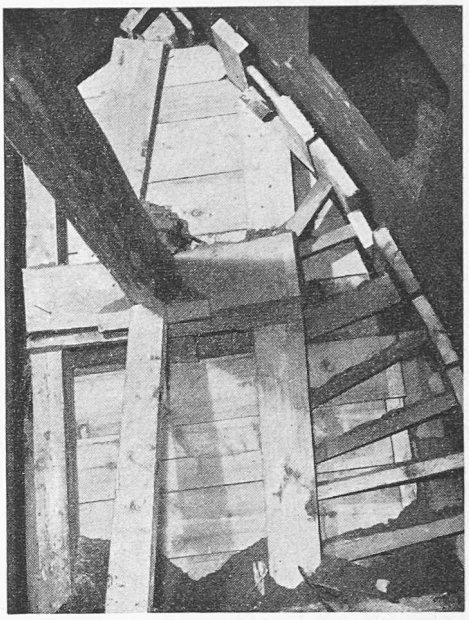

Bild 50. (rechts). Brusteinbau im Schildscheitel

4. Die Tunnelverkleidung

Ueber diese wurde bereits in den vorangehenden Abschnitten berichtet. Zu ergänzen bleibt nur, dass die Ringbreite von 50 cm jedes Tübbingringes (bei einer erforderlichen Ringstärke von 55 cm) mit Rücksicht auf die Gewichte der zu versetzenden Einzelteile (Bild 49) gewählt wurde. Das Gesamtgewicht eines kompletten Ringes beträgt rund 20 t. Der Hohlraum, der sich beim Vorschieben des Schildes im hintern Schildteil zwischen umstehendem Gebirge und ausgebauter Tunnelröhre bildet, muss sofort mit geeignetem Material gefüllt werden, um Auflockerungen des Gebirges und damit Setzungen zu vermeiden.

5. Die Arbeitsvorgänge beim Vortrieb

Nachdem die Vorarbeiten für das Anfahren des Schildes aus dem Schacht heraus beendigt sind, lassen sich folgende Arbeitsvorgänge unterscheiden, die sich zeitweilig überschneiden können:

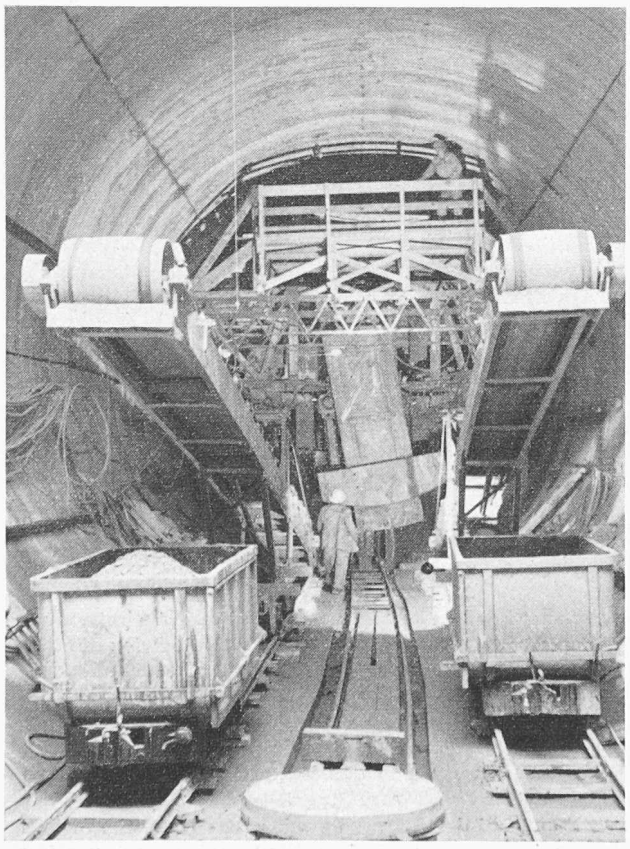

Bild 51. Der Abtransport des Aushubmaterials erfolgt mittels Förderbändern und Rollwagen

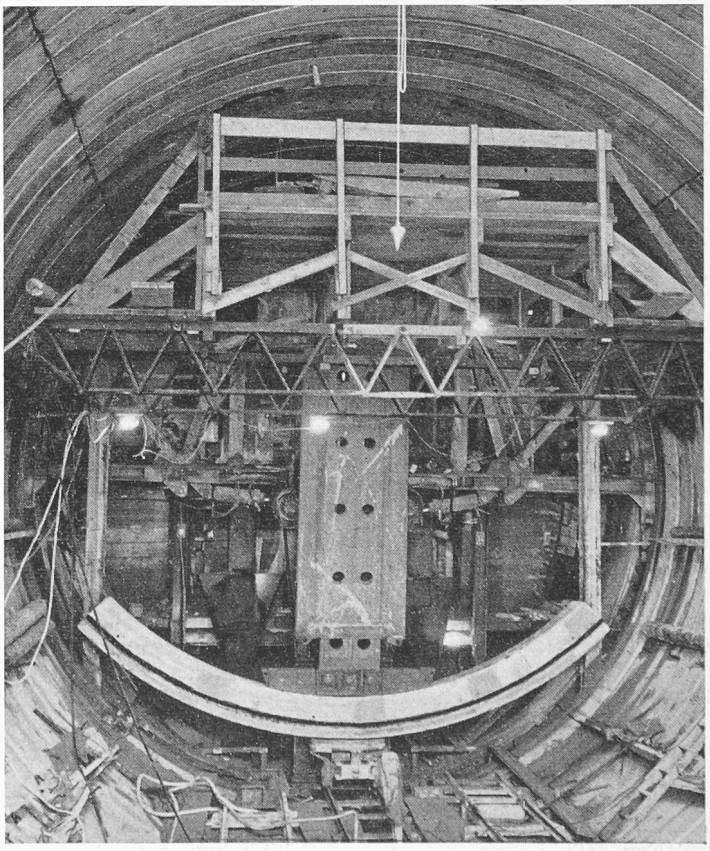

Bild 52. Ansicht des Schildes mit den Arbeitsbühnen und der hydraulisch gesteuerten Versetzeinrichtung für das Verlegen der Tübbinge

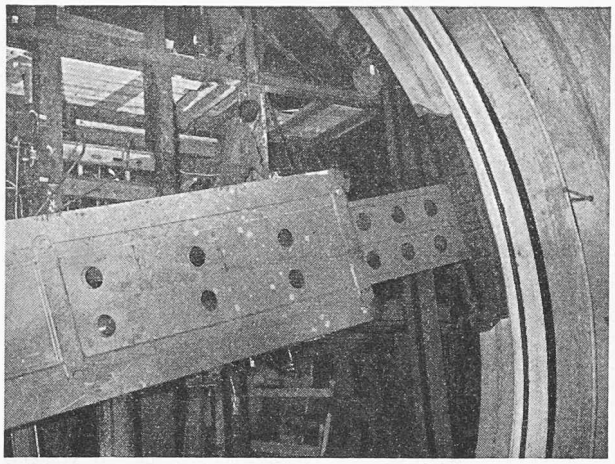

Bild 53. Versetzen eines Seitentübbings

a) Aushub und Einbauen der Tunnelbrust. Das sandige, kiesige oder tonige Material wird an der Brust von Hand abgebaut. Der allenfalls notwendige Brusteinbau (Bild 50) richtet sich nach der Standfestigkeit und Lagerungsdichte des Gebirges. Der Aushub fällt durch vertikale Schutterrohre in den untersten Arbeitsraum und wird über Förderbänder in Rollwagen verladen (Bild 51), die auf den Gleisen zum Schacht fahren. Dort wird er umgeladen, mittels eines Turmkrans in Silos befördert und mit Lastwagen abgeführt. Auf diese Weise wird die Tunnelbrust um die Breite eines Tübbingringes vorversetzt.

b) Das Vorschieben des Schildes. Mit Hilfe der 32 eingebauten Schildpressen, die sich über den Druckring auf den letzten versetzten Tübbingring und damit auf die bereits ausgebaute Tunnelröhre abstützen, wird der Schild um rd. 50 cm in das vor der Schneide anstehende Gebirge hineingedrückt. Vorhandener Brusteinbau wird auf die Schiebebühnen abgestützt, die sich dann nach beendigtem Vorschub in eingefahrener Stellung befinden. In der vorgeschobenen Lage des Schildes überdeckt der Schildschwanz noch ungefähr die Hälfte des zuletzt versetzten Tübbingringes. Ein schwieriges Problem stellt sich in der richtigen Steuerung des Schildes. Sie wird ermöglicht, indem die Pressen nach Massgabe des am Schildmantel und an den Schneiden auftretenden Widerstandes und entsprechend der einzuhaltenden Vortriebsrichtung mit unterschiedlichen Drücken arbeiten. Die Fahrtrichtung kann zudem durch ein Verstellen des Schildschwanzes gegen den Schildvorderteil korrigiert werden. Das Tunnelprofil ist grösser gewählt als das für einen doppelspurigen Bahntunnel benötigte Lichtraumprofil, damit die Ungenauigkeiten bei der Steuerung toleriert werden können. Das Steuerpult mit den Regulierventilen und den zugehörigen Armaturen ist im Schild selbst eingebaut, während die hydraulischen Pumpen vor dem Portal installiert sind.

c) Versetzen der Tübbinge. Der Druckring wird mittels der Schildpressen vom letzten Tübbingring weggezogen, wodurch im Schildschwanz genügend Platz für den Einbau des nächsten Tübbingringes entsteht. Die einzelnen Tübbinge von rund 5 t Gewicht werden mit dem Turmkran direkt vom Bahnwagen in den Schacht hinunter gelassen, auf einem Wagen zum Schild gefahren und der Versetzmaschine (Bilder 52 und 53) übergeben. Zuerst wird das Sohlelement versetzt, dann folgt das eine Seitenelement und anschliessend das Scheitelelement, das durch eine Stützkonstruktion in der richtigen Lage gehalten wird. Dadurch wird der Versetzarm frei, um das fehlende zweite Seitenelement und anschliessend den Schlusstein in den Ring einzusetzen. Nach Beendigung der Versetzarbeit wird der Druckring an den Tübbingring angepresst, die Längsverbindungsschrauben werden angezogen, und der Hohlraum zwischen Tübbingverkleidung und Schildschwanz wird mit Mörtelinjektionen gefüllt. Damit ist ein voller Arbeitszyklus beendigt, und es wird nach dem oben geschilderten Arbeitsvorgang das nächste Vorschieben um 50 cm in Angriff genommen. Die Baugleise, auf welchen die Transporte erfolgen, liegen auf einer Untersohle aus Beton, welche wöchentlich nachgezogen wird. Nach vollendetem Tunnelvortrieb wird eine Kiesschicht aufgebracht sowie das Schotterbett für den definitiven Gleisunterbau.

Bild 54. Fertig verkleidete Tunnelstrecke, Ansicht in Richtung zum Schild

*

Ueber die Leistungen und Erfahrungen können zurzeit noch keine schlüssigen Angaben gemacht werden, weil die eigentliche Vortriebsarbeit erst im Monat August aufgenommen worden ist. Nach dem vorgesehenen Bauprogramm müssen im Mittel täglich 2 Tübbingringe versetzt werden, wobei in einer Tag- und einer Nachtschicht gearbeitet wird. Die Zusammensetzung und die Lagerungsdichte des Baugrundes variieren stark. Bis Ende Januar 1960 sind im fast durchwegs feinen kohäsionslosen Sand rund 75 m Tunnel aufgefahren worden.

Adresse des Verfassers: Ing. *H. Ruppanner,* Waisenhausstr. 2, Zürich 1

Von der ganzen Aufsatzreihe «Donnerbühltunnel» ist ein Sonderdruck zum Preise von 3 Fr. erhältlich.

Das Projekt des Hotzenwaldwerks der Schluchseewerk-AG.

DK 621.29

Pumpspeicherkraftwerke ergänzen auf technisch und wirtschaftlich vorteilhafte Weise im Verbundbetrieb die thermischen und die Laufwasserkraftwerke. In noch höherem Masse werden mit Kernenergie betriebene Kraftwerke zur wirtschaftlichen Deckung des Energiebedarfs dieser Ergänzung bedürfen. Selbst so energiereiche Länder wie England und USA haben deshalb in den letzten Jahren den Bau von Pumpspeicherkraftwerken in Angriff genommen.

Der Südabfall des Schwarzwaldes zum Hochrhein ist für den Bau speicherfähiger Hochdruckwasserkraftanlagen hervorragend geeignet. Hier entstand bereits von 1929 bis 1953 in mehreren Bauabschnitten das Schluchseewerk, dem mit