

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 65 (1947)
Heft: 12

Artikel: Die neue Signalisation im Simplontunnel
Autor: Oehler, Karl
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-55846>

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: 15.03.2025

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

Die neue Signalstation im Gotthardtunnel

Von Dr. sc. techn. KARL OEHLER, P.-D. an der E. T. H., Zürich
DK 656.257(494)

A. Die Ausgangslage

Der Gotthardtunnel mit seiner Länge von 16 km zwischen den Stationen Göschenen und Airolo erwies sich schon vor dem Kriege dem wachsenden Verkehr zwischen dem Norden und Süden Europas nicht mehr gewachsen. Zwecks Steigerung der Leistungsfähigkeit wurde schon in den Zwanzigerjahren erwogen, in Tunnelmitte eine besetzte Blockstelle zu errichten; dieser Vorschlag hätte aber zu hohe Personalkosten ergeben. Der automatische Block mit Gleisisolierung, wie er verschiedentlich mit gutem Erfolg ausgeführt worden ist¹⁾, würde eine Unterteilung in acht Abschnitte erfordern, von denen für den Betrieb nur zwei nötig wären, so dass diese Lösung wegen zu hohen Anlagekosten fallengelassen werden musste. Man begnügte sich im Jahre 1938 mit einer Zwischenlösung, indem man in Tunnelmitte eine von Göschenen aus ferngesteuerte Blockstelle errichtete. Wegen der Länge der Blockabschnitte wurde jeweils der erste Abschnitt in Fahrrichtung mit einer Achszählrichtung ausgerüstet und sowohl die Achszähler als auch die vier Blockfelder in der Blockstation in Göschenen aufgestellt, wo sie direkt auf die Signalhebel einwirken konnten. Für die Steuerung und Rückmeldung der Signale, sowie für die Auslösung der elektrischen Tastensperren wurde ein 8 km langes Kabel mit 50 Adern von Göschenen bis zur Tunnelmitte eingezogen²⁾.

B. Die Aufgabe

Die erwähnte Anlage mit ferngesteuerter Blockstelle in Tunnelmitte bewährte sich im normalen Betrieb gut, ergab aber keine Erleichterung, wenn wegen Bauarbeiten einspurig gefahren werden musste. Der immer intensiver werdende Verkehr liess aber bald keine genügend grosse Lücken mehr, um die Unterhaltarbeiten auszuführen, sodass Betrieb und Unterhalt sich gegenseitig zu stören begannen. Tatsächlich musste für den Unterhalt des Tunnels, der Fahrleitung und des Oberbaues an 150 Tagen im Jahr ein Gleis zeitweise stillgelegt werden. Da aber die Betriebsverhältnisse diese Stilllegung meist nicht während einer ununterbrochenen Normalarbeitszeit von acht bis neun Stunden zuließen, ergaben sich durch Arbeitsunterbrüche sowie durch vermehrte Ein- und Ausfahrten bedeutend erhöhte Kosten, ganz abgesehen davon, dass auch der Betrieb durch die nicht zu vermeidenden Verspätungen beträchtliche Verluste an Lokomotiv- und Wagenstunden erlitt. Abhilfe konnte nur dadurch geschaffen werden, dass der eingleisige Betrieb wenigstens auf die Hälfte der Tunnellänge beschränkt wurde, während der Block so ausgebaut werden musste, dass er auch für den eingleisig betriebenen Tunnelabschnitt die nötige Sicherheit gewährleistete.

Auf Grund dieser Sachlage entschloss man sich, in der Tunnelmitte zwei Weichenpaare einzulegen (Bild 1) und durch Einbau der notwendigen Sicherungsmittel eine vollständige Tunnelstation zu schaffen, die von Göschenen aus fernbedient werden sollte. Gleichzeitig waren die Einrichtungen in Göschenen und Airolo so zu ergänzen, dass die bei eingleisigem Verkehr vorkommenden Ein- und Ausfahrten auf dem falschen Gleis fahrstrassenmässig³⁾ gesichert werden. Bei normalem zweigleisigem Verkehr wollte man die Signale in der Tunnelmitte vollständig automatisch arbeiten lassen, sodass sie alsdann von Göschenen aus nicht bedient werden müssen. Der eingleisige Betrieb sollte sich auf jeweils eine Tunnelhälfte beschränken, sodass sich bei Unterhaltarbeiten vier verschiedene Betriebsmöglichkeiten ergaben. Die vorhandenen Kabeladern durften nicht vermehrt werden. Für

¹⁾ z. B. für die Strecke Zürich HB - Oerlikon, vgl. SBZ Bd. 128, S. 199* (1946), speziell Bild 10, S. 203.

²⁾ SBZ Bd. 116, S. 259* (1940).

³⁾ Fahrstrassenmässig gesichert ist eine Fahrt, wenn sämtliche befahrenen Weichen in der richtigen und die in den Nachbargleisen liegenden Weichen in abwesen der Stellung festgelegt, sowie feindliche Fahrten durch entsprechende Signalstellung ausgeschlossen sind, bis die betreffende Fahrt beendet ist.

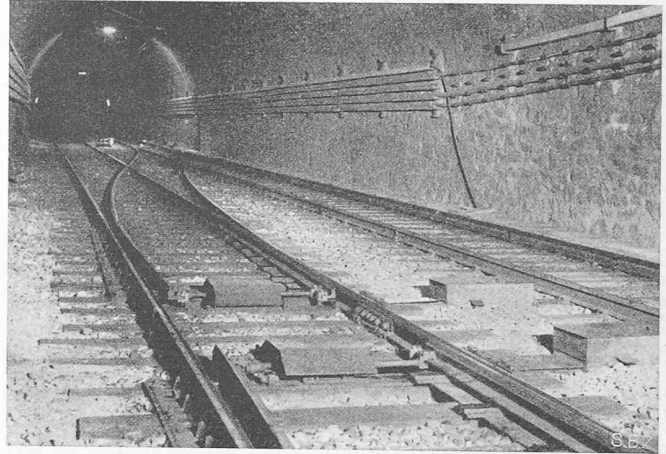


Bild 1. Die mit elektrischen Antrieben und Spitzenverschlüssen ausgerüsteten Weichen in der Mitte des Gotthardtunnels

die neue Fernsteuerung standen also 50 Adern im Signalkabel zwischen Göschenen und Tunnelmitte, sowie vier Adern im Streckenkabel zwischen Göschenen und Airolo zur Verfügung.

C. Die Lösung

1. Die Tunnelstation (Bild 2)

Es wäre ohne weiteres denkbar gewesen, nur die Einfahrten in die Tunnel-Signalstation durch Signale zu decken, wie dies z. B. bei Abzweigstellen üblich ist. Um jedoch beispielsweise bei Ausserbetriebsetzung des Gleises 2 einem Zug I (Bild 3) die Einfahrt in den eingleisigen Abschnitt nicht zu verwehren, obwohl der Gegenzug II wegen Belegung der Blockstrecke durch Zug III noch nicht in den zweigleisigen Abschnitt vorrücken kann, wurden besondere Blocksignale in etwa 1000 m Entfernung von den Weichen in Form von Ausfahrtsignalen aufgestellt (Signale G und F). Dadurch ergibt sich die Eigentümlichkeit, dass die Entfernung von den Ausfahrtsignalen zu den Weichen grösser ist als die der Einfahrtsignale mit etwa 100 m. Der hinter den Weichen liegende, bis zum Ausfahrtsignal reichende Abschnitt wird somit als ein

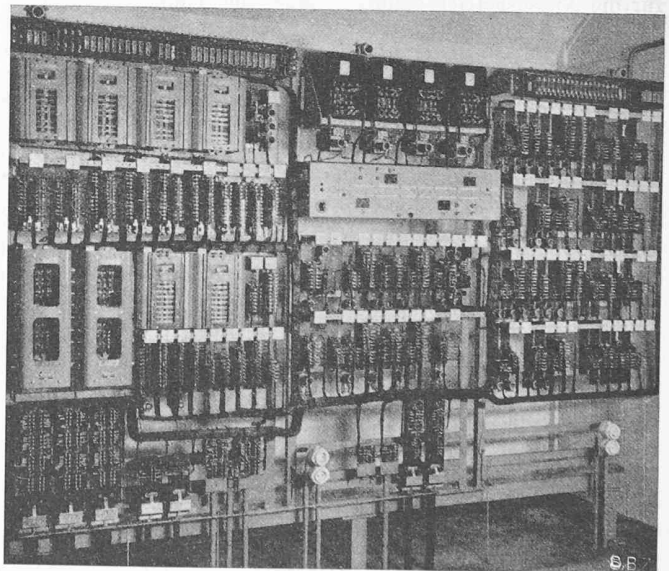


Bild 2. Die gesamte Relaisapparatur der ferngesteuerten Signalstation in Tunnelmitte

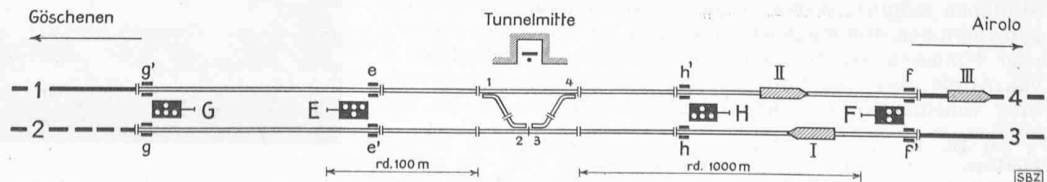


Bild 3. Lageplan der Signalstation in Tunnelmitte

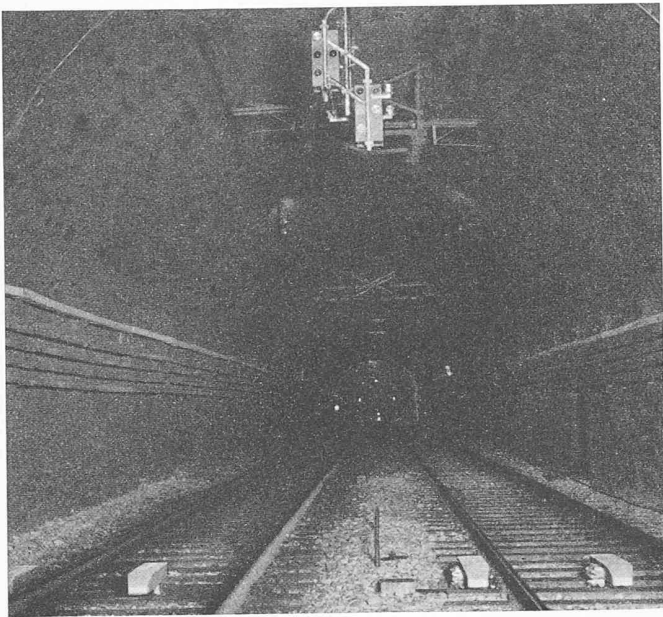


Bild 4. Einfahrtsignal mit Ausfahrsvorsignal der Signalstation Gotthard. Beide Gleise sind für automatische Zugbeeinflussung ausgerüstet (wegen wahlweise eingleisigem Betrieb)

weiterer kurzer Blockabschnitt verwendet, der aber im Gegensatz zu den Streckenabschnitten vollständig isoliert ist.

Nur die Einfahrtsignale werden bei eingleisigem Betrieb von Göschenen aus gestellt. Die Ausfahrtsignale sind reine Blocksignale, die — allerdings von Göschenen aus gesteuert — immer automatisch auf Fahrt gehen, sobald der dahinter liegende Streckenabschnitt frei ist. Dabei muss aus besonderen Gründen das vorliegende Einfahrtsignal vorher einmal auf Fahrt gestanden haben. Bei normalem zweigleisigem Betrieb gehen dagegen auch die Einfahrtsignale automatisch auf Fahrt, sobald der dahinter liegende isolierte Stationsabschnitt frei und durch die Ausfahrtsignale die Blockbedingung⁴⁾ erfüllt worden ist.

Für die Steuerung der Tunnelstation befinden sich im Befehlstellwerk der Station Göschenen (Bild 7) zwei Schalter für die Ausserbetriebsetzung je eines der Tunnelabschnitte 1, 2, 3 oder 4, ein Schalter für die beiden Einfahrtsignale E $\frac{1}{2}$ und H $\frac{1}{2}$ und ein Schalter für die Anfrage und Zusage freier Bahn für Zugfahrten auf den Tunnelgleisen 3 oder 4 zwischen den Signalstationen Gotthard und Airolo, wenn diese Hälfte des Tunnels eingleisig betrieben wird.

Schliesslich ist noch ein besonderer Schalter eingebaut, der gestattet, sämtliche Signale der Signalstation auf Halt zu werfen und die Streckenläutwerke und Achszähler ausser Betrieb zu nehmen, während gleichzeitig dann die Weichen 1 bis 4 der Tunnelstation von einer kleinen Gleistafel aus, die sich in der Stellwerkkammer der Tunnelstation befindet, mittels Tasten örtlich bedient werden können (Bild 5). Besondere Schalter für die Weichenpaare sind in Göschenen nicht vorgesehen; die Weichen laufen je nach Betriebszustand automatisch in die richtige Stellung, sobald der Fahrstrassensignalschalter des betreffenden Einfahrtsignals umgelegt wird. Der Beamte in Göschenen hat sich also um die Stellung der Weichen selbst nicht zu kümmern, er dirigiert lediglich die Zugsbewegungen mit Hilfe der Signale, während die Weichen automatisch in die der gewollten Bewegung entsprechende Lage gestellt werden.

Da sich der Signalhebel E/H im selben Stellwerkapparat befindet, wie der Ausfahrtsignalhebel der Ausfahrt Göschenen Richtung Tunnel, ist bei eingleisigem Betrieb ein direkter elektrischer Verschluss zwischen diesen Signalen der beiden Stationen möglich, sodass besondere Zustimmungsvorrichtungen wegfallen. Bei eingleisigem Betrieb auf einem der Gleise 3 oder 4 müssen jedoch das Signal E und das Ausfahrtsignal B von Airolo über eine Anforderungs- und Zustimmungseinrichtung voneinander in Abhängigkeit gebracht werden. Zu die-

⁴⁾ Die Blockbedingung ist erfüllt, wenn nicht nur die Blockstrecke von allen Achsen geräumt, sondern auch der vorhergehende Zug durch das am Ende der Blockstrecke stehende Signal im Rücken gedeckt ist.

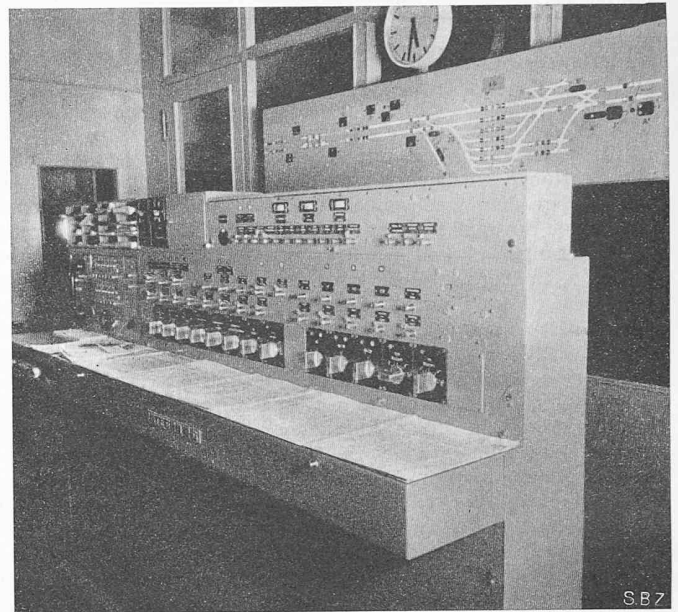


Bild 7. Das Befehlstellwerk für die Station Göschenen für die Fernsteuerung der Signalstation Gotthardmitte

sem Zweck sind in Göschenen der schon erwähnte Anfrage- und Zustimmungsschalter und ein analoger Schalter in der Station Airolo vorgesehen (Bild 8).

Wie schon weiter oben erwähnt, wird der eingleisige Betrieb auf einem der vier Abschnitte durch Umlegen des betreffenden Schalters im Befehlstellwerk Göschenen eingeleitet. Für die Abschnitte 3 und 4 muss jedoch die Station Airolo mitwirken. Daher befindet sich auch dort ein Schalter für den eingleisigen Betrieb der Abschnitte 3 und 4, der normalerweise in der Grundstellung festgelegt ist. Durch Umstellen des betreffenden Schalters in Göschenen wird er frei und gleichzeitig wird der Wärter durch ein akustisches und optisches Zeichen auf die verlangte Umstellung aufmerksam gemacht.

Die vier Tunnelabschnitte 1, 2, 3 und 4 sind entsprechend ihrer Länge mit Achszählung (Bild 6) als Freimeldeeinrichtung ausgerüstet worden. Da die Zählung jeweils hinter dem betreffenden Signal stattfinden muss, vor dem der Zug unter Umständen anzuhalten hat, ergeben sich auf jedem der beiden Gleise vier Zählstellen, die je nach Bedarf eingeschaltet werden.

Für die Uebermittlung dieser Befehle und Meldungen von Göschenen nach Airolo und umgekehrt, sowie auch für die automatische Steuerung des Ausfahrtsignals F in Tunnelmitte von Göschenen aus musste eine entsprechende Verbindung zwischen Airolo und Göschenen hergestellt werden. Da hierfür nur vier Streckenadern zur Verfügung standen,

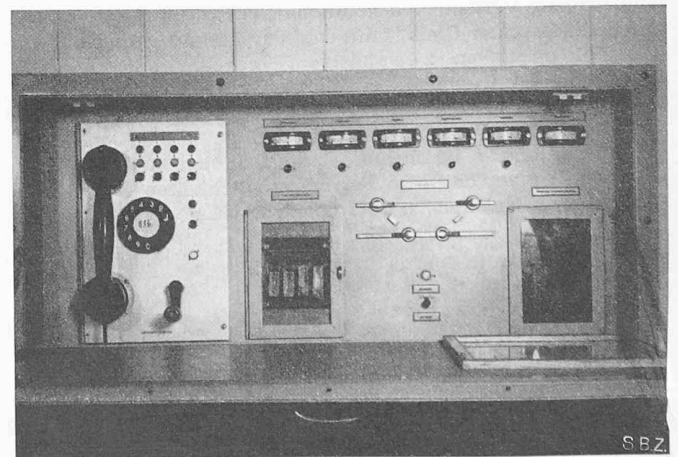


Bild 5. Kontrolltafel der ferngesteuerten Signalstation in Tunnelmitte mit Bedienungsstand für die lokale Betätigung der Weichen

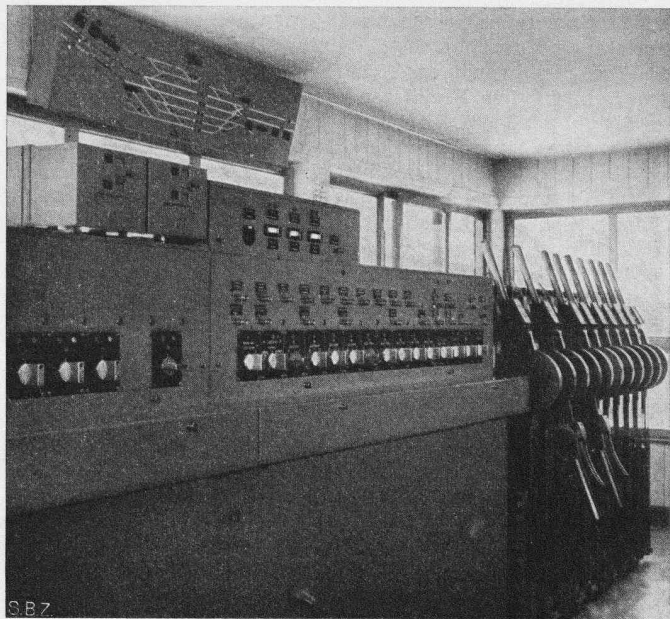


Bild 8. Das Wärterstellwerk Airolo

hat man ein Fernübertragungssystem gewählt, das mit nur zwei Adern auskommt, wobei die verschiedenen Befehle und Meldungen nacheinander über Schrittschalter angeschaltet werden.

Die Sicherheit, die der Eisenbahnbetrieb erfordert, liegt in den Stationseinrichtungen selbst; auch die Station in Gotthardmitte stellt in sich eine vollständige Sicherungsanlage dar, die falsche Befehle nicht ausführen kann.

2. Göschenen

Entsprechend den für die Station Göschenen zu erfüllenden Bedingungen war es nicht mehr möglich, den aus dem Jahre 1923 stammenden Apparat, Bauart AEG, im Freigabestellwerk zu belassen. Dieser Apparat, der als reines Freigabestellwerk mit Fahrtenwähler- und Freigabeschaltern ausgerüstet war, wurde ersetzt durch ein neues Schalterwerk des schweizerischen Systems INTEGRA (Bild 7), bei dem für jede Fahrrichtung nur ein Fahrstrassenschalter notwendig ist, während das Gleis durch gleichzeitiges Drücken einer Taste gewählt wird. Dadurch war es möglich, die bisher 16 Fahrtenwähler- und Freigabeschalter durch vier Fahrstrassenschalter zu ersetzen und den frei werdenden Raum für die neu einzubauenden Steuerschalter für Gotthard-Mitte sowie die Weichenschalter für den Weichenkopf am Tunnelportal zu verwenden. Das abhängige Stellwerk, das bisher Signalstellwerk war, wurde als reines Zustimmungsstellwerk umgebaut in dem Sinne, dass die Fahrstrassenschalter am neuen Befehlstellwerk gleichzeitig auch die Signale Ein- und Ausfahrt steuern.

Entsprechend der Bedingung, dass die Ein- und Ausfahrten auf einem falschen Gleis ebenfalls fahrstrassen-

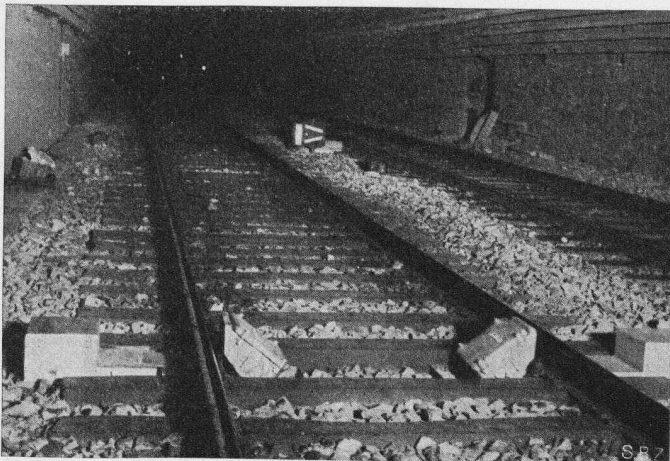


Bild 6. Induktive Impulsgeber für die Achszählung

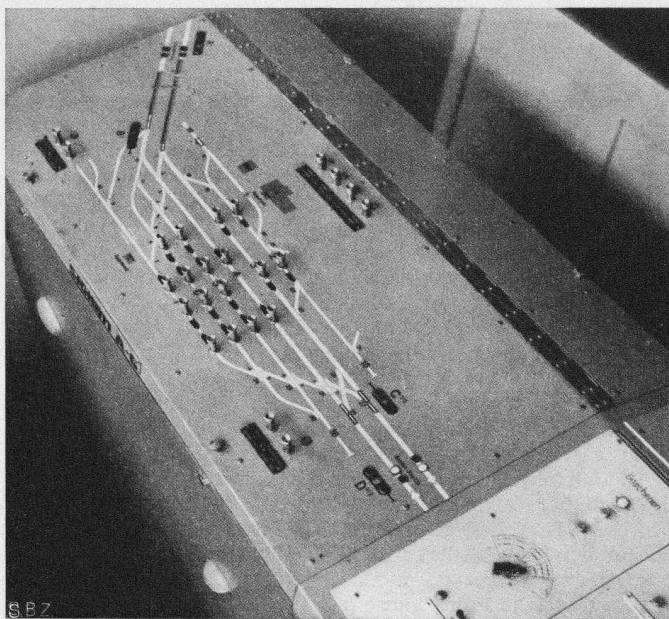


Bild 9. Das Tastenfreigabewerk Airolo in Pultform

mässig durchgeführt werden können, mussten die fünf Weichen vor dem Tunnelportal, die bisher im Wärterstellwerk mechanisch verschlossen wurden, dort herausgenommen und in das neue Befehlstellwerk eingeführt werden. Dieses moderne schweizerische Stellwerk enthält keinerlei mechanische Verschlüsse und lässt somit ohne weiteres die Umschaltung der elektrischen Verschlüsse entsprechend dem jeweiligen Betriebszustand zu. Die Umstellung der Verschlüsse wird gleichzeitig mit der Einleitung des eingleisigen Betriebes durch Einstellung des Schalters für die Ausserbetriebsetzung des Gleises 1 oder 2 betätigt, so dass der Beamte sich damit nicht zu bemühen hat. Ebenso wenig hat sich der Beamte zu überlegen, ob das Einfahr-, bzw. Ausfahrtsignal, auf Ablenkung oder gerade stehen muss. Auch diese Umstellung in den elektrischen Verschlüssen geschieht vollständig automatisch. Die Betätigung der Schalter ist für den Beamten also genau die gleiche, wie wenn zweisepuriger Betrieb vorhanden wäre, nur mit der Ausnahme, dass das Ausfahrtsignal nunmehr in Abhängigkeit vom Signal G der Tunnelstation gebracht wird.

Um den Beamten des Befehlstellwerkes in den Zugs-pausen von der Bedienung der Weichen des Weichenkopfes unter dem Tunnelportal zu entlasten, kann diese Bedienung durch Umlegen eines Lokalschalters im Befehlstellwerk auf das Wärterstellwerk übertragen werden. Die dort befindlichen Weichenschalter sind zu diesem Zwecke nicht entfernt worden; sie wurden jedoch aus den mechanischen Fahrstrassenverschlüssen genommen und mit Hebelsperren ausgerüstet, die die Festlegung der Weichenschalter in der Endlage gestatten. Gleichzeitig wurde der Weichenkopf isoliert, so dass auch das Umstellen der Weichen unter einem Manöverzug nicht mehr möglich ist.

Mit diesen Verbesserungen Hand in Hand ging der Ersatz der Semaphor-Signale der Station Göschenen durch Lichttagessignale, so dass die Station Göschenen, mit Ausnahme des abhängigen Wärterstellwerkes und der Antriebe der übrigen Weichen, über eine Sicherungsanlage verfügt, die die neuesten Erkenntnisse verwirklicht.

3. Airolo

In Airolo befand sich ein mechanisches Wärterstellwerk, das von einem mechanischen Freigabewerk in Abhängigkeit stand. Sowohl die Signale, als auch die Stellvorrichtungen der Weichen waren mechanisch.

Da wegen der Umschaltbarkeit der Verschlüsse und der neuen Abhängigkeiten von Göschenen ohnehin neue Stellwerkeinrichtungen erforderlich gewesen wären, wurde ein grosser Teil des mechanischen Apparates im Wärterstellwerk abgebrochen und an dessen Stelle ein elektrisches Schalterwerk aufgestellt (Bild 8). Nicht nur die Weichen des Nordkopfes des Bahnhofes, deren Verschlüsse bei eingleisigem Betrieb umgeschaltet werden müssen, wurden mit elektrischen

Weichenantrieben ausgerüstet. Auch im Südkopf wurden die entfernteren Weichen elektrisch zentralisiert, um die schwierigen Unterhaltarbeiten während der schneereichen Winter wenigstens teilweise zu vereinfachen. Da gleichzeitig auch die andern Signale, soweit dies nicht schon vorher geschehen war, nunmehr ebenfalls gegen Lichtsignale ausgewechselt wurden, lag es nahe, auch die Fahrstrassenschalter in das neue Stellwerk zu übernehmen und sie gleichzeitig als Fahrstrassensignalschalter auszubilden. Die noch übrig bleibenden mechanischen Stellvorrichtungen der Weichen wurden mit Hebelsperren ausgerüstet, so dass die Abhängigkeiten zwischen den mechanischen Weichenhebeln und dem neuen elektrischen Stellwerk ebenfalls auf elektrischem Wege hergestellt wurden. Die mechanischen Hebel besitzen daher heute ebensowenig mechanische Verschlüsse wie die elektrischen Weichenschalter.

Da für das Freigabestellwerk im Bahnhofgebäude nur sehr wenig Raum zur Verfügung stand, wurde es in Form eines Tastenstellwerks ausgebildet; der Stellwerkapparat erhielt Pultform, wobei auf der Pultoberfläche das Gleisbild des Bahnhofs aufgemalt ist (Bild 9). Für jedes Gleis sowie für jede Einfahr- oder Ausfahrtrichtung ist je eine Taste vorhanden, durch deren Drücken die entsprechende Fahrstrasse ausgewählt wird. Durch Rückmeldelampen wird angegeben, welche Fahrstrasse gewählt war, so dass der Beamte sich über den Zustand in seinem Bahnhof jeweils vollständig Rechenschaft geben kann.

Remarques sur les nappes souterraines en régime permanent*)

Par CHARLES JAEGER, Ing., Dr. ès sc. techn., Privat-Doctent à l'E. P. F., collaborateur du Laboratoire de recherches hydrauliques E. P. F., Zurich

DK 551.495.5

Pendant près d'un demi siècle, on a calculé les nappes souterraines en partant de la théorie de Dupuit, qui suppose un «écoulement par tranches», dans lequel les vitesses situées sur une même verticale sont toutes égales entre elles. Les hypothèses de la théorie de Dupuit ont été reprises et développées par Forchheimer, Sichardt et nombre d'autres encore pour les écoulements permanents, par Boussinesq et Weber pour les écoulements non permanents. Or, les recherches expérimentales, mesures en nature ou essais sur modèles effectués en ce domaine, prouvent de façon concordante que la théorie de Dupuit, acceptable en certains cas comme première approximation, conduit en nombre d'autres cas à des résultats erronés. Sur ce point l'accord semble fait; mais il cesse, dès qu'il s'agit de substituer une théorie nouvelle aux méthodes anciennes. C'est sans doute la raison pour laquelle on continue à faire usage, parfois sans discernement suffisant, des formules de Dupuit, tout en sachant qu'elles sont sujettes à caution.

Nous allons d'abord montrer qu'on peut traiter le problème des nappes souterraines à surface libre comme un cas particulier des écoulements à surface libre, compte tenu de l'existence d'un potentiel des vitesses. Puis nous verrons quelles conséquences diverses cette vue nouvelle comporte pour l'étude des nappes.

1) Les nappes souterraines libres considérées comme un chapitre des écoulements à surface libre. Le théorème du débit maximum (fig. 1)

La théorie des courants liquides à surface libre¹⁾ définit (fig. 1), outre le débit Q du courant, sa hauteur d'énergie moyenne H^*_σ calculée à partir d'un horizon fixe et sa quantité de mouvement totale γS (γ = poids spécifique). On peut, à l'aide des grandeurs Q , H^*_σ , S , h et x (où h est la hauteur d'eau mesurée verticalement) et x l'abscisse d'une section σ , imaginer la surface à cinq dimensions:

$$\Gamma^*(Q, H^*_\sigma, S, h, x) = 0.$$

L'étude des propriétés géométriques de cette surface nous renseigne sur les propriétés physiques des écoulements liquides.

*) Le manuscrit a été remis à la rédaction le 15 janvier 1946.

¹⁾ Ch. Jaeger: Contribution à l'étude des courants liquides à surface libre, «Bulletin Technique de la Suisse Romande», 7 et 21 août 1943. Voir aussi: «Revue Générale de l'Hydraulique», No. 33 et 34. mai-août 1943 et Beitrag zur Untersuchung von Wasserabflüssen in Gerinnen mit freiem Wasserspiegel. Bemerkungen zum Problem von Boussinesq: «Wasserkraft und Wasserwirtschaft», tome 38, No. 12, 15 décembre 1943, page 293. — Ch. Jaeger: Remarques sur quelques écoulements le long de lits à pente variant graduellement. «SBZ», tome 114, No. 20, 11 novembre 1939, page 231.

Mit Hilfe der Signalstation Gotthard und des Ausbaues der Stationen Göschenen und Airolo ist es gelungen, eine Einrichtung zu schaffen, die unter Verwendung modernster Mittel alle notwendigen Sicherheiten bietet und gleichzeitig dem Betrieb viele Freiheiten und Möglichkeiten zur glatten Bewältigung aller Betriebsbedürfnisse gibt. Die Bedienungseinrichtungen sind einfach und konzentriert gestaltet, so dass den Beamten trotz der zahlreichen verschiedenen Möglichkeiten alle unnötige Denkarbeit abgenommen wird und daher keinerlei Schwierigkeiten entstehen. Die bisherigen Erfahrungen haben die in diese neue Anlage gesetzten Erwartungen voll bestätigt und lassen eine erhebliche Senkung der Kosten des Tunnelunterhaltes erwarten, so dass die aufgewendeten Kosten in wenigen Jahren amortisiert werden können. Damit ist erneut die Tatsache bewiesen, dass moderne Sicherungsanlagen Betriebsmittel darstellen, d. h. dass sie nicht nur der Sicherung des Betriebes, sondern ebenso auch seiner Verbesserung und Verbilligung dienen.

Die Anlage wurde im Jahre 1946 unter der Bauleitung des Sektionschefs für Sicherungsanlagen im Kreis II der Schweizerischen Bundesbahnen, Ingenieur F. Winiger, erstellt. Sämtliche Sicherungseinrichtungen wurden vom Personal der INTEGRA, Studien- und Projektierungsgesellschaft AG., Wallisellen, entworfen und ausgeführt, während die Fernübertragungseinrichtung zwischen Göschenen und Airolo durch die Albiswerk Zürich AG. geliefert wurde.

De cette étude, nous retiendrons ici les faits suivants Il existe sur la surface $\Gamma^* = 0$ des points, où l'on a simultanément

$$(1) \quad \frac{\partial Q}{\partial h} = 0, \quad \frac{\partial H^*_\sigma}{\partial h} = 0 \quad \text{et} \quad \frac{\partial S}{\partial h} = 0.$$

Nous appelons hauteur critique la hauteur d'eau $h = h_c$ correspondant à ces points et énonçons le principe suivant:

Lorsque les conditions aux limites ne s'y opposent pas, il s'établit toujours quelque part, le long de l'écoulement à surface libre considéré, une hauteur critique $h = h_c$, telle que les équations (1) soient toutes trois satisfaites simultanément dans une même section transversale du canal.

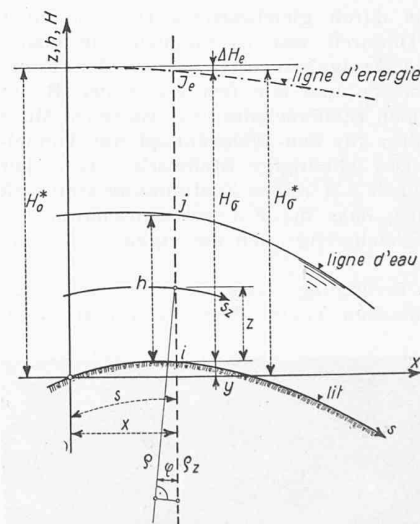


Fig. 1

Nous avons appelé cet énoncé le principe de Bélanger-Böss généralisé. Si l'on tient compte, en outre, du théorème de Bernoulli et de l'équation des quantités de mouvement projetées, on constate que la section critique ($h = h_c$), lorsqu'elle existe, sépare l'écoulement en deux tronçons: l'écoulement à l'aval de la hauteur critique est, en première approximation du moins, sans influence sur l'écoulement amont: on dit que l'écoulement est dénoyé. Il correspond au débit maximum

compatible avec les conditions aux limites du problème. Il sera noyé, si la hauteur critique ne s'établit nulle part.

Il est possible, dans l'hydraulique des nappes souterraines à surface libre, de définir les cinq grandeurs Q , H^*_σ , S , h et x et d'imaginer, pour elles aussi, une surface $\Gamma^* = 0$, en sorte que l'existence des théorèmes généraux et des principes énoncés plus haut reste acquise à la théorie des nappes souterraines également.

Tout au plus avons nous à examiner encore les conditions particulières, qui différencient — au point de vue physique et mathématique — les nappes souterraines des autres