

# Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens

Technisches Fachblatt des Vereins Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen

Herausgegeben von Vizepräsident Ernst Harprecht, Berlin, unter Mitwirkung von Dr.-Ing. A. E. Bloss, Dresden

96. Jahrgang

1./15. Oktober 1941

Heft 19/20

Fachheft:

## Tunnel.

### Vorwort.

*Der große Apennintunnel bildete einen Abschluß des bisherigen Zeitalters des Eisenbahntunnelbaues. Die Umstellung alter, unzulänglich gewordener Hauptverkehrslinien auf Höchstleistungen wird aber zu neuen, großen Tunnelbauten führen, ebenso der Bau künftiger Schnellbahnnetze.*

*Das vorliegende Heft will mit geschichtlichen Betrachtungen die ältere Tunnelbaukunst und ihre Erfolge in Erinnerung bringen und auf künftige Entwicklungsrichtungen hinlenken.*  
Der Herausgeber.

### Tunnelbahnen im Mittelgebirge und Hügelland.

Von Dr.-Ing. Bloss, Dresden.

Hierzu 6 Bilder auf Tafel 18.

#### 1. Grundsätze der Linienführung von Eisenbahnen.

Beim Bau der Linie Liverpool—Manchester, der ersten Hauptbahn der Welt, hat George Stephenson mit prophetischem Blick die Grundlagen für die Linienführung leistungsfähiger Hauptbahnen festgelegt: größte Steigung 1:200, kleinster Halbmesser rund 1000 m. Eine Art Prophetentum muß man für eine solche gesitige Tat schon voraussetzen, denn die mechanischen Gesetze für Zugkraft und Reibung waren damals noch unbekannt, und Erfahrungen kann Stephenson höchstens insofern verwertet haben, als er aus der beschränkten Leistungsfähigkeit der etwas älteren Linie Stockton—Darlington scharfe Schlüsse zog. Da man sich mit dem Halbmesser von 1000 m und der Steigung 1:200 schon welligem Gelände nicht mehr glatt anschmiegen kann, mußte Stephenson das „Katzenmoor“ mit einem hohen Damm überwinden und zwei Bergrücken untertunneln, also Kunstbauten schaffen, die damals allgemeine Bewunderung erregten. Die Leistungen Stephensons auf dem Gebiet des Eisenbahnbaues stellen sich damit dem Bau der ersten, voll brauchbaren Lokomotive, der bekannten „Rocket“, ebenbürtig zur Seite. Die Grundsätze Stephensons für die Linienführung von Hauptbahnen wurden dann auch auf dem europäischen Festlande übernommen, so für die Linie Leipzig—Dresden, die erste Hauptbahn Deutschlands.

Für die Überwindung größerer Bergeshöhen blieb freilich Stephenson als Gutachter noch längere Zeit bei dem Vorschlage, Seilbetrieb nach dem Muster von Stockton—Darlington einzurichten. Solche Vorschläge wurden bei zahlreichen Vollbahnbauten der Frühzeit erwogen, zum Teil auch ausgeführt. Diese Betriebsweise wurde beispielsweise auf der Steilstrecke Erkrath—Hochdahl mit 1:30 Steigung eingeführt und hat sich dort bis 1926 erhalten. Es klaffte also sozusagen eine Lücke zwischen Flachlandbahnen und ausgesprochenen Steilstrecken. Diese Lücke auszufüllen wurde bald zur Notwendigkeit. So hat man sich schon beim Bau der zweiten sächsischen Hauptbahn, der Linie Leipzig—Hof, entschlossen, die Grundlagen Stephensons zu lockern; als die Linie Leipzig—Hof mit dem Fortschreiten des von Leipzig aus begonnenen Baues in das vogtländische Berg- und Hügelland eintrat, wurde die

größte Steigung auf 1:100 erhöht, der kleinste Krümmungshalbmesser auf 565 m (1000 Ellen) ermäßigt. Und der ungefähr gleichzeitig gebauten Semmeringbahn gebührt der Ruhm, den Sprung bis zu der Steigerung 1:40 gewagt zu haben, die heute noch als Grenzsteigung für Hauptbahnen gilt, auch für Hochgebirgslinien.

In der Freude über die scheinbar unbeschränkte Anpassungsfähigkeit der Eisenbahn schoß man aber etwas über das Ziel hinaus. Während man vorher bange Zweifel gehegt hatte, ob die Eisenbahnen Hochgebirge würden überschreiten können, behandelte man in der Folge manchmal schon Linien im Mittelgebirge oder Hügelland sozusagen wie Gebirgsbahnen. Die größte Steigung und das kleinste Krümmungsmaß wurden oft viel ungünstiger gewählt, als es vielleicht nötig gewesen wäre, nur damit sich die Linie möglichst viel in Geländegleiche halten, sich auch engen und steilen Flußtälern anschmiegen könne. Bezeichnend für das Krümmungsmaß ist, daß den kleinsten zulässigen Halbmesser für die freie Strecke von Hauptbahnen mit 300 m nur noch eine kleine Spanne von dem für Nebenbahnen auf 180 m festgesetzten Kleinsthalbmesser trennte. Dazu kam, daß man auf bescheideneren Bahnen oft Bogen auf Bogen folgen ließ, häufig sogar durchweg mit dem schärfsten zulässigen Halbmesser. Nur in Beschreibungen schweizerischer Neubaulinien konnte man öfter lesen, daß der kleinste Krümmungshalbmesser in soundso viel Fällen angewendet werden mußte. Der schweizerische Bauingenieur sah also den kleinsten Halbmesser als Ausnahmefall an, zu dem man sich zwingen lassen müsse, und er entschuldigte sich halb und halb, wenn er dem Zwang oder der Versuchung erlag. Sonst aber wurde überall nicht nur der kleinste Halbmesser, sondern auch die stärkste Steigung gern voll ausgenutzt, um die Baukosten möglichst niedrig zu halten. Der Bauingenieur lud die Schwierigkeiten sozusagen auf den Lokomotivbauer ab, indem er es diesem überließ, die Zugkraft und die Kurvenbereitschaft der Lokomotiven zu steigern. Diese Ersatzbereitschaft hat indessen ihre Grenzen. Zwar hat der elektrische Betrieb neuerdings Lokomotivleistungen von 8000 PS und mehr zur Verfügung gestellt, und die Gotthardbahn befördert bekanntlich mit solchen Lokomotiven die schweren internatio-

nenal Schnellzüge bergwärts mit derselben Geschwindigkeit, wie sie bei der Talfahrt mit Rücksicht auf Bremsleistung und Krümmungslauf zulässig ist. Die Zugkraft der Lokomotiven findet also vielleicht nur in der Festigkeit der Zugstange und des Kuppelhakens eine letzte Grenze, und auch diese ist nicht schlechthin unübersteigbar, wie die Einführung der selbsttätigen, verstärkten Kupplung in den Vereinigten Staaten lehrt. Die Schwierigkeiten für ein gleiches Vorgehen in Europa wären mehr verwaltungsmäßiger als technischer Art. Viel ernster ist die Grenze, die der kleinste Bogenhalbmesser und damit die Entgleisungsgefahr der zulässigen Fahrgeschwindigkeit und dem Achsstand der Fahrzeuge, damit zugleich der betrieblichen Leistungsfähigkeit einer Bahn setzt. Die Formel  $v = 4\sqrt{r}$ , die die größte zulässige Fahrgeschwindigkeit ( $v$  in km/h) in Beziehung zu dem kleinsten Bogenhalbmesser ( $r$  in m gemessen) setzt, läßt zur Zeit nur noch insofern einigen Spielraum, als die Verhältniszahl 4 noch nicht völlig festgelegt ist, auch für Triebfahrzeuge verschiedener Bauart noch etwas abweichende Werte annimmt. Volle Klärung dieser Fragen muß erst noch die genaue Durchforschung der Entgleisungssicherheit bringen.

Kurz, es hat sich oft als ein Fehler erwiesen, daß man die Grundsätze Stephenson's allzu sorglos aufgegeben, ein schönes Erbe schlecht verwaltet hat. Es hat deshalb auch nicht an stürmischen Neuerern gefehlt, die auf eine sprunghafte Steigerung der Fahrgeschwindigkeit abzielten, fast alle unter Forderung eigener Schnellbahnnetze. Die Einschienenbahn Scherls, der Raketenwagen Opels und der Propellerantrieb Krukenbergs gehören hierher. Es wird dabei nur zu leicht vergessen, daß eine Grundbedingung des Eisenbahnverkehrs in der Erleichterung des Durchgangs- und Übergangsverkehrs liegt, und zum Nachweis der Wirtschaftlichkeit eigener Schnellbahnnetze setzt man nur zu gern eine unbegrenzte Steigerungsfähigkeit des Verkehrs voraus, ungeachtet aller Wettbewerber, mit denen die Schiene heute zu rechnen hat.

Im Grunde genommen beruhen viele Geburtsfehler von Bahnen darauf, daß man es versäumt oder nicht vermocht hat, die von der größten Steigung und dem kleinsten Krümmungshalbmesser stark abhängigen Bau- oder Anlagekosten auf den Verkehrswert der zu bauenden Linie, also auf die zu erwartenden Einnahmen abzustimmen. Ein solcher Zusammenhang ist verhältnismäßig leicht herstellbar. Bezeichnet man die Jahreseinnahmen einer Linie mit  $E$ , die Betriebsausgaben mit  $A$  und das Anlagekapital mit  $K$ , dann ist die Jahresrente des Unternehmens  $z$  in %

$$z = \frac{E - A}{K} \cdot 100 \dots \dots \dots 1) *)$$

Weiter führen wir noch die Betriebszahl  $c$  ein, die man früher als ausschlaggebende Wirtschaftszahl von Bahnnetzen betrachtet hat; sie stellt sich als Verhältnis der Ausgaben zu den Einnahmen dar, allgemein also

$$c = \frac{A}{E} \dots \dots \dots 2)$$

Nun bilden wir aus der Betriebszahl  $c$  die „Überschußzahl“, die die die echten Bruch ausgedrückte Betriebszahl auf 1 ergänzt, also

$$1 - c = 1 - \frac{A}{E} = \frac{E - A}{E} \dots \dots \dots 3)$$

Wir formen weiter Gl. 1) um, indem wir Zähler und Nenner mit  $E$  multiplizieren und erhalten mit einer kleinen Umstellung

$$z = 100 \frac{E - A}{K} \cdot \frac{E}{E} = 100 \frac{E}{K} \cdot \frac{E - A}{E} = 100 \frac{E}{K} (1 - c) \dots \dots 4)$$

Diese Formel besagt: Die Rente eines Bahnunternehmens hängt

\*) Dr.-Ing. Tecklenburg, Der Betriebskoeffizient der Eisenbahnen und seine Abhängigkeit von der Wirtschaftskonjunktur, Berlin 1911.

von zwei Faktoren ab, nämlich von  $E/K$  und  $(1 - c)$ . Das heißt, man soll eine Bahn so bauen oder ausgestalten, daß das Anlagekapital in einem gesunden Verhältnis zu den voraussichtlichen oder erzielten Einnahmen steht, und man muß sie so betreiben, daß sie eine vernünftige Überschußziffer ergibt. Diese Regel kann man übrigens fast mit denselben Worten schon aus dem einfachen Ansatz der Rente ablesen, wenn man der Gl. 1) die Form

$$z = 100 \left( \frac{E}{K} - \frac{A}{K} \right) \dots \dots \dots 5)$$

gibt. Manchmal empfiehlt es sich aber, die Überschußzahl einzuführen.

Die Ausgaben  $A$  enthielten nach früheren Gebräuchen für die Ermittlung der Betriebszahl nur die Betriebsausgaben. Die Überschußzahl rechnet also nur mit dem Rohüberschuß. Es steht aber nichts im Wege, in Gl. 1) die Ausgaben um die Ansätze für den Kapitaldienst, also Verzinsung, Tilgung, Erneuerungsrücklagen und allenfalls Abschreibungen in % des Anlagekapitals zu erhöhen.

Gl. 4) kann als eine goldene Regel für die Ausgestaltung von Bahnen bezeichnet werden. Gewiß ist es nicht einfach, die zu erwartenden Einnahmen einer geplanten Bahn zutreffend zu schätzen. Die Forderung, daß das Anlagekapital auf die zu erwartenden Einnahmen, also auf den Verkehrswert der Linie abgestimmt werden soll, ist zahlenmäßig nur angenähert erfüllbar. Immerhin ergibt sich aber aus Gl. 4) die Lehre, daß es fehlerhaft sein kann, eine aussichtsreiche, wichtige Bahn dürftig anzulegen und auszurüsten. Der Fehler kann oft genau so groß, ja schwerer sein, als wenn man zu großzügig baut, denn unzureichende Betriebsanlagen erhöhen die Betriebskosten und vermindern die Leistungsfähigkeit der Bahn, falsche Sparsamkeit kann also das Gemeinwohl schädigen. Das gilt nicht nur von den Betriebsanlagen der Bahnhöfe, sondern mehr noch von der Leistungsfähigkeit der freien Strecke, die in erster Linie von den Grundmaßen für Steigungen und Krümmungen abhängig ist. Fehler in den Grundsätzen für die Linienführung sind gemeinhin viel schwerer zu beheben als Unzulänglichkeit der Bahnhöfe. Bahnhofserweiterungen sind während der letzten fünf Jahrzehnte auf deutschen Bahnen laufend in großer Zahl durchgeführt worden. Dagegen hatte sich die Meinung fast allgemein festgesetzt, daß die Streckenverhältnisse für alle Zukunft unabänderlich seien.

### 2. Umbau unzweckmäßiger Strecken.

Und doch gibt es in der Eisenbahngeschichte zahlreiche Fälle, daß Eisenbahnen nachträglich umgebaut werden mußten, weil die „goldene Regel“ der Gl. 4) nicht beachtet worden war. In Sachsen war eine Linie in einem stark gewundenen Flußtal nebenbahnähnlich mit 170 m kleinstem Halbmesser angelegt worden; schon nach etwa 35 Jahren ergab sich die Notwendigkeit, ihren verkehrsreichsten Teil durchgängig auf 300 m Halbmesser zu bringen, wobei — und das ist für die vorliegenden Betrachtungen bezeichnend — auch ein Tunnel nötig wurde. In diesem Zusammenhang ist auch der Umbau der sächsischen Linie Heidenau—Altenberg von Schmalspur auf Vollspur erwähnenswert. Der Beweggrund zu diesem Umbau war dadurch gegeben, daß der durchgehende Verkehr, der sich sowohl im Personen- wie im Güterzugdienste allmählich entwickelt hatte, gebieterisch seine Rechte forderte, ein Umstand, der beim Bau der schmalspurigen Linie noch kein ausschlaggebendes Gewicht hatte. Die alte schmalspurige Linie hatte sich dem engen Flußtal und seinen vielfachen Windungen anschmiegen können. Die vollspurige Linie mußte sich von dieser Fessel befreien, so daß zahlreiche Brücken und fünf Tunnel von zusammen 1506 m Länge erforderlich wurden\*).

\*) Hildebrand, Die Tunnelbauten der neuen Vollspurlinie Heidenau—Altenberg, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1939, S. 159.

Während es sich in diesen beiden Fällen immerhin nur um Linien zweiter Ordnung handelte, haben die Italienischen Staatsbahnen auch Hauptschlagadern in durchgreifendem Umbau von unzureichender auf hohe, ja teilweise höchste Leistungsfähigkeit gebracht. Zeugen solchen Fortschritts sind die Giovibahnen, von denen die älteste ursprüngliche nach dem Rat eines belgischen Gutachters Seilantrieb erhalten sollte, ferner die Glanzleistungen der „Diretissima“ Rom—Neapel und der Linie Bologna—Florenz mit dem großen Apennintunnel\*). Die vormaligen Preußischen Staatsbahnen haben mit dem Diestelrasentunnel, der die Spitzkahre über Elm abschneidet, eine hervorragende Abkürzung geschaffen.

Ein vorbildliches Beispiel für die entschlossene Umgestaltung einer wichtigen Hauptbahn hat auch die Schweiz mit der Linie Basel—Olten im Gebiet des Hauensteins gegeben. Es liegt dabei nicht etwa eine Hochgebirgsbahn vor, die neue Bahn durchzieht vielmehr lediglich die Vorberge der nördlichen Kalkalpen. Die ursprüngliche Linie, 1854 bis 1858 gebaut, kletterte mit der Steigung von  $26,260/00$  bis zur Höhe 561,8 m hinauf und durchbrach den Hauenstein mit einem 2495 m langen Tunnel, der gleichfalls in der Steigung von  $26,260/00$  lag. Für die neue, 1915 vollendete Linie wurde die größte Steigung auf  $10,50/00$  festgesetzt, die im Tunnel auf  $7,52/00$  ermäßigt wurde. Die Linie stieg nur noch bis zur Höhe 451,9 m an, aus dem Haupttunnel war mit einer Länge von 8134 m ein Basistunnel geworden. Der Basistunnel war seit dem Simplontunnel zu einem neuen Begriff und zu einer erstrebenswerten Lösung geworden. Die erstiegene Höhe war bei dem Hauenstein-Basistunnel gegenüber dem alten Scheiteltunnel nur um 110 m vermindert, der Gewinn an Linienverkürzung war mit nur 111 m sehr bescheiden. Trotzdem konnten die Fahrzeiten für Schnellzüge um 25 Min., für Güterzüge um 15—20 Min. gekürzt werden. Bei den Vorarbeiten war vorausgerechnet worden, daß mit den Betriebsersparnissen das Baukapital von 25 Mill Fr zu 4% verzinst werden könne.

Bemerkenswert ist an all diesen Abkürzungslinien, daß der Gewinn an Betriebs- und Verkehrswert umfangreiche Tunnelbauten zur unbedingten Voraussetzung hatte. Dabei hatte sich eine grundsätzliche Umstellung der Anschauungen vollzogen. Früher hatte man sich zu Tunnelbauten nach geographischen Gegebenheiten zwingen lassen, jetzt war aus Tunnelbauten und ihrem Anteil an der Linienlänge ein Gegenstand sorgsamer Erwägungen betrieblicher, verkehrlicher und wirtschaftlicher Art geworden, der lästige Zwang hatte dem freien Willen, der umfassenden Erkenntnis das Feld des Entschlusses räumen müssen.

### 3. Beispiele für Tunnelbahnen im Berg- und Hügellande.

Die Linienverbesserungen lassen sich betrieblich in zwei Gruppen scheiden. Manchmal wird die alte Strecke stillzulegen und abzuwerfen, kaufmännisch gesprochen also abzubuchen oder abzuschreiben sein. Häufiger aber wird der Fall eintreten, daß sich an der alten, als unzweckmäßig oder überlebt erkannten Linie im Laufe der Zeit die Ortschaften und ihre Industrie so entwickelt haben, daß die bisherige Linie nicht entbehrt werden kann. In diesem Falle wird eine deutliche Scheidung der Aufgaben eintreten. Die alte Linie wird dem Ortsverkehr weiter zu dienen haben, die neue vorwiegend oder ausschließlich dem Durchgangsverkehr. Daraus erhellt schon, daß solche Abkürzungs- oder Schnellverkehrslinien nur aussichtsreich sein können, wenn der Durchgangsverkehr so stark ist, daß er die hohen Baukosten einer neuen Linie hoher Leistungsfähigkeit tragbar macht. Im allgemeinen wird also eine Schnellverkehrslinie so zu entwickeln sein, daß sie zwei wichtige

\*) Siehe Wernekke, „Italienische Tunnel“, im vorliegenden Heft.

Knotenpunkte verbindet. Dieser Gesichtspunkt erscheint auch für die Schaffung eines allgemeinen Schnellverkehrsnetzes sehr beachtlich. Auch ein solches Netz wird, wenn es viel Verkehr an sich ziehen soll, zahlreiche Knotenpunkte des bestehenden Netzes einbinden müssen. Der Schnellverkehr auf weite Entfernungen, soll er den höchsten erreichbaren Nutzen für die Allgemeinheit entfalten, wird zahlreiche Ansaug- und Umschlagspunkte im bestehenden Netze ausnutzen müssen. In dieser Hinsicht liegen die Verhältnisse anders als beispielsweise bei den Reichsautobahnen, die selbst Großstädte umgehen können, da diese durch Verbindungsstraßen mit einfachen Abzweigungen und Einmündungen angeschlossen werden können. Es ist also leicht möglich, daß ein künftiges Netz von Schnellbahnen im Grunde auf die Schaffung von Linien höchster Leistungsfähigkeit zwischen den bestehenden Hauptknotenpunkten hinausläuft. Der Grundzug des Eisenbahnwesens ist nun einmal die Netzbildung mit nicht zu engen Maschen und festen Verknüpfungen. Nicht einzelne Punkte, sondern Länderflächen müssen erfasst und versorgt werden.

In den folgenden Beispielen sollen nun die grundlegenden Fälle für den Bau von Abkürzungslinien einigermaßen systematisch aufgezeigt werden, wobei die Rolle der Tunnel in den Vordergrund gerückt sei. Die Beispiele sind der Wirklichkeit entnommen, die zu verbessernden Linien sind ausschließlich zweigleisige Hauptbahnen starken Verkehrs. Gänzlich fern liege dabei überhebliche Kritik an historisch Gewordenem, das nur aus seiner Entstehungszeit heraus gerecht beurteilt werden kann. Deshalb soll davon abgesehen werden, Ortsnamen zu nennen, eine allgemeine, andeutende Behandlung möge genügen. In der Regel handelt es sich um Abkürzungslinien zwischen zwei Knotenpunkten. Kann dabei einmal eine mittlere, verkehrsreiche Ortschaft nicht an die neue Abkürzungslinie angeschlossen werden, so ist angenommen, daß sich die Verkehrsbedürfnisse einer solchen übergangenen Ortschaft mit Triebwagen und Nahgüterzügen hinreichend befriedigen lassen. In den behandelten Beispielen würden also die bestehenden Linien beizubehalten sein, aber nur in der Form eingleisiger Hauptbahnen.

Der einfachste Fall ist der, daß die bestehende Bahn eine Wasserscheide ganz erklimmt, sie etwa nur in einem leichten Einschnitt überwindet. Bild 1, Tafel 18, läßt erkennen, daß die nachträgliche Untertunnelung einer Wasserscheide so große Vorteile bringen kann, daß sie wirtschaftlich wird. Die bestehende Linie steigt von dem Anschlußpunkte bei R in 1:100 bis zu der Wasserscheide W zwischen den Flußläufen  $L_1$  und  $L_2$  auf und senkt sich dann zunächst in 1:100, etwa vom Punkte O aber in 1:57 bis zu dem Eisenbahnknotenpunkte F. Diese starke Steigung erfordert bei der Bergfahrt für alle Züge Vorspann- oder Schiebelokomotiven. Zwischen den Punkten R und F weist die bestehende Linie 24 Bogen bis herab zu 330 m Halbmesser auf, Bogen reiht sich an Bogen. Das ist eine Linienführung, die sich in bewegtem Gelände fast stets ergibt, wenn man fordert, daß sich die Bahn so gut wie möglich dem Gelände anschmiegt. Dabei ist nicht unbeachtlich, daß die geschlängelte Gleislage die Linienlänge vergrößert. Vergleicht man eine ununterbrochene Folge von Viertelkreisen mit der gestreckten Geraden, so erkennt man, daß die Schlingellinie um 10% länger ist. Größer noch ist der Mehraufwand für die Unterhaltung der Bogengleise. Die Vorteile der in Bild 1 eingezeichneten Abkürzungslinie drängen sich demgegenüber von selbst auf. Vom Punkte R an kann eine Linie durchweg in der Geraden geführt werden, mit einem einzigen Bogen von 2000 m Halbmesser erreicht sie am Fuß der Rampe den Knotenpunkt F. Das Gefäll beträgt durchweg 1:100, wobei in der Mitte für eine Streckenblockstelle noch eine schwach geneigte Strecke von 1:400 eingeschaltet ist. Der Tunnel braucht nur die verhältnismäßig bescheidene Länge von 7 km. Er beseitigt das

verlorene Gefäll von 42 m, das die bestehende Strecke aufweist, die Streckenlänge zwischen den Anschlußpunkten wird von 19,3 auf 13,0 km vermindert.

Tunnel, die im Gegensatz zu den Wasserscheidentunneln nicht von einem Flußgebiet in ein anderes hinüberwechseln, sondern sich in ein und demselben Flußgebiet bewegen, sind in der Form kurzer, enge Windungen abschneidender „Nasentunnel“ vielfach ausgeführt worden. Aber auch hier können längere, weit ausholende Abschnide- oder Sehnentunnel vorteilhafte Linienverkürzungen ermöglichen. Ein Beispiel zeigt Bild 2, Tafel 18. Eine von A kommende, zweigleisige Hauptbahn mit regem Schnellzugverkehr folgt hinter dem Anschlußbahnhof, der auch eine von B her einmündende, eingleisige Nebenbahn aufnimmt, in nordwestlicher Richtung einem Seitental des Flusses L und erreicht dann, nach Westen umbiegend, bei E einen größeren Bahnhof. Von diesem geht eine zweigleisige Hauptbahn nach D aus, die Haupt-Durchgangslinie A-E-C biegt hinter diesem Bahnhof in südlicher Richtung nach C um, wo sie die Kernlinie eines Haupt-Knotenpunktes bildet. Im weiteren Verlauf nimmt sie dann die allgemeine Richtung nach Südwesten an. Es wäre durchaus erwägenswert, ja verlockend, die Hauptlinie von A aus nach C so zu führen, daß der Umweg über E abgeschnitten wird. Die der Sehne des Umwegbogens folgende, schon südwestlich gerichtete Abkürzungslinie würde zwischen den Abzweigpunkten nur 13 km lang werden, während die alte Linie über E rund 22,5 km Länge hat. Die Richtungsverhältnisse würden außerordentlich günstig. Während die alte Linie über E 26 Bogen bis herab zu 550 m aufweist, wäre für die neue Linie mit nur zwei Bogen großen Halbmessers auszukommen. Eine verlorene Steigung von 51 m, mit der die bestehende Linie behaftet ist, würde bis auf rund 8 m vermindert. Der Bahnhof bei E würde in seiner Bedeutung zwar herabgemindert, andererseits aber auch entlastet. Und wenn auch die Verkehrsbedienug für den Bahnhof E ziemlich weitgreifende Umstellungen nötig machen würde, so wären diese sicher nicht unlösbar. Hauptsache wäre doch, daß der Haupt-Durchgangsverkehr A-C an Flüssigkeit gewinnt.

Nach den bisher betrachteten, kurzen Linienverbesserungen soll nunmehr eine umfänglichere Abkürzungslinie behandelt werden. Bild 3, Tafel 18, gibt ein Beispiel dafür, daß man durch Tunnel starke Steigungen abmindern, dabei aber eine Linie noch verkürzen kann. Eine von einer Großstadt — 650 000 Einwohner — ausgehende Hauptbahn folgt zunächst einem Flußtal mit der Steigung 1:100. Da die Linie neben dem starken Reise- und Güterzugverkehr auch einen dichten Vorortbetrieb zu bewältigen hat, ist sie vom Linienanfang an auf 14 km viergleisig ausgebat. Die viergleisige Strecke endet im Punkt B der Übersichtskarte Bild 3. Von da steigt die Linie als zweigleisige Hauptbahn in dem ursprünglichen Flußtal steiler an, zunächst mit 1:70, dann auf lange Strecken mit 1:40. Im Punkte C wird die Wasserscheide erreicht, worauf sich die Linie mit der größten Steigung 1:100 noch über drei tiefe Quertäler und über die trennenden Wasserscheiden hinwegschwingt, um beim Punkt D in einen wichtigen Hauptknotenpunkt einzulaufen. Die Steigung von 1:40 ist für die Durchgangsgüterzüge so hinderlich, daß diese über andere Linien geleitet werden und erst 40 km westwärts von D nach einem Umweg von 27 km wieder in die Stammlinie einmünden. Wenn man für die bestehende Linie eine Verbesserung in Aussicht nimmt, scheint es zunächst genügend, die starken Steigungen von 1:70 und 1:40 abzuflachen, etwa durch Kehrtunnel im Abschnitt B-C. Diese Lösung würde aber zu einer Verlängerung der Linie führen und damit dem Sinn einer Verbesserung stracks zuwiderlaufen. Aus demselben Grunde wäre es abzulehnen, die Steilstrecke B-C etwa durch eine weiter ausholende Umgebungsbahn auszuschalten. Eine Abkürzungslinie wird sich nur dann in das gegebene Netz

zweckmäßig einschalten, wenn man sie gleich bis zu dem Knotenpunkte D vortreibt. Das wäre die gleiche Lösung, die man in Italien für die Abflachung der alten Giovi-Linie gewählt hat, indem man den Endpunkt der Tunnelstrecke bis Ronco vorverlegt hat. Wie bei dem Roncotunnel wird man auch bei unserem Beispiel mit großen Tunnelnängen zu rechnen haben. Die geringste Länge würde sich für eine Abkürzungslinie zwischen B und D unserer Karte dann ergeben, wenn man sie von A bis B zunächst so anhebt, daß sie über die bestehende Linie hinwegführt, sie dann aber von B bis D einfach geradlinig anlegt. Das wäre eine durchgreifende Lösung, die dem Sinne des Tunnels am besten entspricht. Sie würde in unserem Falle bereits eine überraschend günstige Abflachung ergeben, nämlich auf 1:80. Aber man wäre damit immer noch nicht auf 1:100 als die maßgebende Steigung der bestehenden Linie gekommen. Will man diese zugrunde legen, so muß man mit der Abkürzungslinie etwas nach dem Fuß des Berglandes hin abbiegen. Von dem Scheitel C der bestehenden Linie hat man sich bei der Planung der Abkürzungslinie ganz unabhängig gemacht, für die Quertäler, die von der neuen Linie geschnitten werden, wird man, wenn möglich, solche Kreuzungsstellen suchen, daß die Fluß- und Bachläufe offen unter der neuen Bahn durchgeleitet werden können. Während bei der geradlinigen Verbindung B—D ein einziger Tunnel von rund 14 km Länge entstanden wäre, erhält man für die auf 1:100 abgeflachte Linie vier Tunnel von 7,7 + 1,9 + 4,1 + 2,3 km Länge, zusammen also 16,0 km. Dabei ist noch an drei Stellen jeweils auf größte Zuglänge die Steigung auf 1:400 vermindert. Die Aufteilung der Strecke auf mehrere Tunnel würde dabei den Tunnelbau erheblich beschleunigen und verbilligen. Ein Vergleich der jetzigen Linie mit der tunnelreichen rückt die Vorteile einer tunnelreudigen Linienführung überzeugend ins Blickfeld: Die bestehende Linie ist vom Punkt B über C bis D 26,3 km lang, die Abkürzungslinie nur 21,3 km, Verkürzung also 5 km. Dabei ist das Steigungsverhältnis so weit ermäßigt, daß jeglicher Vorspann- oder Schiebedienst entbehrlich wird und für Durchgangszüge die damit verbundenen Aufenthalte wegfallen. Für die Fahrgeschwindigkeit bei der Talfahrt sind besonders die Richtungsverhältnisse beachtlich. Auf der bestehenden Linie liegen 48 Bogen, rund 50% der Streckenlänge fallen auf Krümmungen bis herab zu etwa 300 m Halbmesser; die Abkürzungslinie weist im selben Bereich nur vier Bogen von 1500 m Halbmesser auf, der Anteil der Gleisbogen beträgt nur 20% der Streckenlänge. Die jetzigen Fahrzeiten lassen sich rund um ein Drittel vermindern. Die auf der alten Linie vorhandene, verlorene Steigung von 47 m würde ganz wegfallen.

Die Vorteile, die mit dieser Abkürzungslinie erreicht werden können, sind also sicher so groß wie die des Hauenstein-Basistunnels. Ja, auch mit der Direttissima Verona—Bologna—Florenz—Rom mit ihrem großen Apennintunnel kann die hier behandelte Linie einen Vergleich aushalten. Die in die vorstehende Untersuchung hereinspielenden Städte haben in einem 80 km langen Linienabschnitt 650 000, 35 000 und 350 000 Einwohner, und die Endpunkte der hauptsächlichsten Schnellzugverbindungen unserer Abkürzungslinie sind Großstädte von 625 000 und 775 000 Einwohnern. Außerdem durchziehen diese Zugverbindungen Industriegebiete hoher Bedeutung. Zum Vergleich sei erwähnt, daß Rom als Hauptstadt des italienischen Imperiums immerhin nur 1,2 Millionen Einwohner hat.

Das hervorstechendste Beispiel einer aussichtsreichen, ja unabweisbar nötigen Abkürzungslinie möge den Abschluß unserer Untersuchung über großzügige, neuzeitliche Linienführung bilden (Bild 4, Tafel 18). Die bestehende Linie ist 1845 bis 1850 als zweigleisige Hauptbahn gebaut. Ihre Endpunkte A und B sind zwei industriereiche Städte mit 110 000 und 45 000 Einwohnern. Die Linie bildet das Mittelglied einer der wichtigsten Nord-Süd-Verbindungen des Altreichs, außerdem liegt auf

ihr ein großer Teil des Verkehrs der im vorhergehenden Beispiel behandelten Fernlinie, es vereinigen sich also hier zwei bedeutungsvolle Linien. Die Strecke A—B des vorliegenden Beispiels ist dadurch außerordentlich stark, ja bis zur Grenze ihrer Leistungsfähigkeit belastet. Das Gelände zwischen A und B ist, wie schon die Übersichtskarte erkennen läßt, durch ein dichtes Netz von Bachtälern gekennzeichnet, die sämtlich tief eingeschnitten sind. Man hat beim Bau der Linie umfangreiche Vorarbeiten mit dem Ziele angestellt, die Linie durch dieses stark wellige, von Natur verkehrsfeindliche, daher auch heute noch wenig erschlossene Gebiet zu führen; von diesem an sich gesunden Gedanken mußte man aber damals abgehen, weil die Hindernisse für die Eisenbahntechnik jener Zeit unübersteigbar schienen. Man hat dabei wohl große Brücken ins Auge gefaßt, nicht aber längere Tunnel. Dafür gab es noch keine Vorbilder. Die Hauptaufgabe der Linienführung bestand kurz gesagt darin, die Wasserscheide zwischen den Flußgebieten  $F_1$  und  $F_2$  zu überwinden. Man hat sich kurzerhand entschlossen, die Linie etwa nach dem Vorbild alter Straßen in der Hauptsache auf der Wasserscheide selbst zu führen, die Linie mußte aber sozusagen auf die Wasserscheide hinaufgequält werden. Auf diese Weise wurde die Linie zwar von Kunstbauten völlig frei, betrieblich jedoch um so schwieriger. Die größte Steigung mochte mit 1:100 noch hingehen, das war auch die maßgebende Steigung für weite Strecken der Stammlinie nördlich von A. Aber die Höhenlage gestaltete sich außerordentlich ungünstig. Die Linie muß von A um 170 m bis zum Scheitelpunkt ansteigen, und sie erhielt mit einigen noch eingelegten Einsenkungen insgesamt 119 m verlorenes Gefäll. Ebenso ungünstig sind die Krümmungsverhältnisse. Es reiht sich Bogen an Bogen, von der Linienlänge liegen nur 38% in der Geraden. Die Bogen haben fast durchgehend 1000 Ellen (565 m) Krümmungshalbmesser. Bei der ungeschützten Lage auf der Wasserscheide wird der Betrieb durch winterliche Unbilden stark gehemmt. Am mißlichsten aber ist für Betrieb, Verkehr und Volkswirtschaft der fast unerträgliche Umweg. Die Städte A und B liegen in der Luftlinie rund 25 km voneinander entfernt, die Reichsstraße zwischen ihnen ist 27 km lang, die Bahnlinie aber nicht weniger als 48,6 km. Die Hauptursache erkennt man aus dem Übersichtskärtchen mit einem Blick. Während die Linie von A aus im allgemeinen die Nord-Südrichtung haben sollte, muß sie, um die Wasserscheide zu erklimmen, von A zunächst weit nach Norden ausholen. Man kann berechnen, daß die Benutzer der Bahn in den 90 Jahren ihres Bestehens für den Umweg eine Summe bezahlt haben, die etwa den doppelten Kosten eines Neubaus gleichkommt. Schon zwei Jahrzehnte nach Eröffnung der Bahn wurden daher dringende Wünsche laut, eine Abkürzungslinie zu schaffen. Der Bau einer solchen Abkürzungslinie A—B bereitet dabei nicht einmal außergewöhnliche Schwierigkeiten technischer Art. Man muß dazu nur den alten Grundgedanken wieder aufgreifen, das zerfurchte Gelände der Bachgebiete  $f_1$  und  $f_2$  anzugehen, diesmal aber unter zielbewußter Einschaltung längerer Tunnelstrecken. Denn ein grundsätzlicher Unterschied ergibt sich dabei klar: Wieder stehen wir vor der Tatsache, daß eine Linie, die in bewegtem Gelände zur Vermeidung von Kunstbauten durchaus auf Geländegleiche ausgeht, wie die bestehende zwischen A und B eine ununterbrochene Folge von Bogen und Gegenbogen mit betriebshemmenden, starken Steigungen und lästigen Umwegen werden muß. Dahingegen wird eine Linie, die Geländehindernissen entschlossen zu Leibe geht, einen häufigen Übergang zwischen Brücken und Tunneln nicht scheuen dürfen. Nach solchen Grundsätzen kann man die Abkürzungslinie A—B gemäß Bild 4 mit der größten Steigung 1:200 bei 2000 m Bogenhalbmesser bauen, und nur am Westkopf des Bahnhofes A ist ein Bogen von 1200 m Halbmesser vorgesehen, der aber schon der Anfahr- und Bremsstrecke des Bahnhofes A zuzurechnen ist, in dem ohnehin

alle Züge halten. Im übrigen ist dann die Linienführung in den ersten 9 km der Abkürzungslinie außer durch Bergkuppen besonders durch den Umstand bedingt, daß das Haupttal des Bachgebietes  $f_1$  in seinem Oberlauf nur eine einzige Stelle aufweist, wo eine Talbrücke zweckmäßig angelegt werden kann. Diese Kreuzungsstelle wird damit zu einem Zwangspunkt der Linienführung. Die Kreuzungsstelle mit dem Bachtal  $f_1$  im Unterlauf zu suchen, würde zu stärkerer Steigung mit verlorenem Gefäll führen. Unsere Abkürzungslinie tritt dann in das stark verästelte Quellgebiet eines Seitentales zum Bachgebiete  $f_1$  ein. Die Hänge zwischen den einzelnen Bächen werden mit kurzen Hang- oder Rückentunneln von 1,05 + 0,35 + 0,25 km Länge durchbrochen. Hierauf folgt zwischen den Bachgebieten  $f_1$  und  $f_2$  ein Wasserscheidetunnel von 3,0 km Länge, an den sich nach einer kurzen offenen Strecke der 3,5 km lange Scheiteltunnel als Haupt-Wasserscheidetunnel zwischen den Flußgebieten  $F_1$  und  $F_2$  anschließt. Die Abkürzungslinie untertunnelt also insgesamt mehrere Nebenwasserscheiden und eine Hauptwasserscheide. Die Gesamtlänge der Tunnel beträgt 8,15 km. Die betrieblichen Vorzüge der Abkürzungslinie sind, an der Ungunst des Geländes gemessen, überraschend. Die neue Linie ist mit 32,8 km Länge um ein rundes Drittel kürzer als die bestehende. Die verlorene Steigung ist von 119 auf 27,5 m abgemindert. Die Zahl der Bogen beträgt von der Mitte des Bahnhofes A bis zum Bahnhof B auf der bestehenden Linie 72, auf der neuen nur 7, der Anteil der geraden Strecken ist für die Abkürzungsstrecke auf 70% der Linienlänge gestiegen. Die größte Steigung von 1:200 und der kleinste Halbmesser von 2000 m auf der freien Strecke verleihen der Abkürzungslinie die Eigenschaft einer Linie höchster Leistungsfähigkeit mit Hochgeschwindigkeiten. Eine genaue Fahrzeitberechnung, der die auf der bestehenden Linie verkehrenden Lokomotiven zugrunde gelegt sind, hat ergeben, daß die Fahrzeit der Schnellzüge in der Richtung A—B von 54 auf 29 Min., die der Güterzüge von 91 auf 50 Min. herabgesetzt wird. In der Gegenrichtung stellen sich die Fahrzeiten auf 48 gegen 25 Min. für Schnellzüge und auf 79 gegen 45 Min. für Güterzüge. Die Vorteile der Abkürzungslinie sind aber damit noch nicht ausgeschöpft. Der erzielbare Fahrzeitgewinn wird erst dann voll in Erscheinung treten, wenn die ganze Stammlinie, wie zu erwarten steht, auf elektrischen Betrieb umgestellt wird. Für das Teilgebiet des Verkehrs mit Schnelltriebwagen würden die vollen Vorteile sofort nutzbar werden.

Der mit den bisherigen Betrachtungen umrissene Beitrag zur Lehre von der Linienführung läßt erkennen, daß Tunnellinien auch im Berg- und Hügelland durchaus erwägenswert, ja aussichtsreich erscheinen. Die Beispiele ließen sich beliebig vermehren, und eine planmäßige Ausdehnung der Untersuchungen auf die Hauptschlagadern im Eisenbahnnetz des Altreiches würde zweckmäßig bei den Übergängen über die Höhenzüge der Waldgebirge einzusetzen haben. Die letzte Entscheidung über die Bauwürdigkeit von Tunneln würden aber den wirtschaftlichen Erwägungen vorzubehalten sein. Diese krönen erst die betrieblichen Untersuchungen.

#### 4. Bauwürdigkeit von Tunnelbahnen.

Es hat in der Geschichte des Eisenbahnbaues Zeiten genug gegeben, wo der Bahnbau gefördert wurde vom Schwung einer allgemeinen Bewegung, so daß wirtschaftliche Erwägungen in den Hintergrund traten oder, genauer gesagt, mehr gefühlsmäßig als rechnerisch erledigt wurden. Solche Bewegungen können auftreten als Flutwellen des Nationalgefühls oder des Volkswohlstandes. Selbst religiöse Bedürfnisse münden gelegentlich in Bahnbauten aus, so z. B. bei Pilgerbahnen. Schließlich haben auch militärische Rücksichten oft die reinen Eisenbahnbelange überdeckt. Ganz werden die wirtschaftlichen Erwägungen dabei nicht verschwinden, sie treten nur mehr in der Form des Unbewußten auf und finden ihre Nahrung in dem

öffentlichen Vertrauen auf die Stetigkeit des allgemeinen Aufschwungs. Der Zeitgewinn ist meist die stärkste treibende Kraft. Besonders sinnfällig ist dabei auch der Wunsch auf Abkürzung des Weges mit Herabsetzung der Fahrpreise und der Frachten wirksam. Nun sind ja wohl alle großen Eisenbahnverbindungen mit Umwegen behaftet, wobei allerdings zu berücksichtigen bleibt, daß der kürzeste Weg nicht immer der günstigste zu sein braucht. Muß doch selbst die Hochseeschiffahrt manchmal von der geodätischen Linie abweichen, kann also der kürzesten Verbindung nicht folgen. Im allgemeinen sind aber die Umwege, die Eisenbahnen machen, recht beträchtlich. Dafür einige Beispiele:

Berlin—Köln:	Bahntarif	577 km,	Luftlinie	476 km,
Berlin—Stuttgart:	„	652 „	„	510 „
Berlin—München:	„	653 „	„	503 „
Dresden—München:	„	543 „	„	360 „

Unter den berühmten Abkürzungslinien der Neuzeit waren wohl vor allem die Schnellbahnen Mussolinis der Notwendigkeit enthoben, ihren Ertrag buchhaltungsmäßig nach Heller und Pfennig nachzuweisen, der Führerwille war die treibende Kraft. Man hat denn auch weder bei der Schnellbahn Bologna—Florenz, die allerdings nicht von Mussolini angeregt, aber doch von ihm mächtig gefördert wurde, noch bei der Linie Rom—Neapel viel von genauen Wirtschaftlichkeitsnachweisen gelesen.

Außer der Gewalt einer allgemeinen Idee kann auch die Wucht der Tatsachen wirtschaftliche Berechnungen für die Neugestaltung einer unzulänglichen Bahnlinie entbehrlich machen, nämlich wenn der Verkehr so gestiegen ist, daß ihn die verfehlt angelegte Linie einfach nicht mehr bewältigen kann. Dieser Fall dürfte bei der Giovi-Bahn vorgelegen haben. Unwillkürlich drängt sich auch der Vergleich mit den in aller Welt zahllosen Bahnhofserweiterungen auf. Die Betriebsentwicklung drängte gebieterisch darauf, niemand verlangte eine Ertragsberechnung dafür, kaum jemand hat eine solche je versucht.

Dagegen ist die Wirtschaftlichkeitsberechnung für den Hauenstein-Basistunnel allgemein bekannt geworden. Sie schloß, wie schon erwähnt, mit dem Ergebnis, daß die Betriebsersparnisse hinreichen würden, die Baukosten von 25 Millionen Fr mit 4% zu verzinsen. Die Hauptposten in der Liste der Ersparnisse bestanden in dem Wegfall des Vorspann- und Schiebedienstes und in der geringeren Zahl der Bremser, die auf der alten Linie für lange Güterzüge bis zu acht betragen hatte. Der gewichtigste Grund für die bessere Linie lag aber nicht in Betriebsfragen: man wollte im Wettbewerb der Lötschberg—Simplonlinie gegen die Gotthardbahn dieser den Sieg sichern. Die Denkschrift der Bundesregierung sprach dies auch offen aus. Wir sehen daraus, daß jede Wirtschaftlichkeitsberechnung stark zeitbedingt ist. Wie wäre es wohl um den Nachweis der Bauwürdigkeit des Basistunnels bestellt gewesen, wenn man den elektrischen Betrieb mit der 8000 PS-Lokomotive der Gotthardbahn sowie die durchgehende Güterzugbremse schon gekannt hätte? Und zum zweiten erkennen wir, daß Verbesserungswünsche unter Umständen bei dem Willen zum Fortschritt weit sicherer geborgen sind als bei dem viel gerühmten kaufmännischen Geist, der gar oft erst durch die Furcht vor dem Wettbewerber wacherüttelt werden muß.

Indessen muß man von jedem Wirtschaftsführer Klarheit über Grund und Wirkung seiner Entschlüsse verlangen. Das gilt auch für die Frage der Bauwürdigkeit von Tunnelbahnen. Einen schätzenswerten Beitrag dazu liefert schon die Berechnung der Zugbeförderungskosten bei der Deutschen Reichsbahn, die wesentlich umfassender ist als die entsprechende Rechnung beim Hauenstein-Basistunnel. Der Rechenvorgang der Reichsbahn geht von einer genauen Fahrzeitermittlung für die verschiedenen Zugattungen aus und berechnet dann nach

Ansätzen aus der allgemeinen Betriebskostenrechnung die einzelnen Kostenanteile: zunächst die sehr stark von der Fahrzeit abhängigen persönlichen Kosten für Lokomotivführer, Heizer und Zugbegleiter, ferner an sächlichen Kosten die für Lokomotiven und Wagen, die von der Fahrzeit und der dadurch bedingten Ausnutzungsmöglichkeit gleichfalls fühlbar beeinflußt werden, schließlich die Kosten für die Pflege des Oberbaues. Diese Kosten werden sämtlich auf 1 t des Zuggewichtes bezogen\*). Für die in Bild 4, Tafel 18, behandelte Abkürzungslinie sind die Ersparnisse berechnet worden, die an Zugbeförderungskosten für den von der alten auf die neue Strecke überzuleitenden Durchgangsverkehr entstehen würden. Sie ergaben sich für die jetzigen Verhältnisse zu rund 1,5 Millionen *R.M.*; dieser Betrag würde sich noch erhöhen, wenn die nach den Streckenverhältnissen mögliche Fahrgeschwindigkeit später voll ausgenutzt werden könnte.

Restlosen Aufschluß über die Bauwürdigkeit einer abkürzenden Tunnellinie kann indessen auch der Vergleich der Zugbeförderungskosten allein nicht bringen. Hierzu sei nur darauf hingewiesen, daß die sächlichen Kosten für die Pflege des Oberbaues und der Fahrzeuge aus den mittleren Verhältnissen bei der Deutschen Reichsbahn abgeleitet sind, während die Tunnellinien besonders günstige Streckenverhältnisse erhalten können und sollen. Ferner muß sich der Verfechter einer Abkürzungslinie mit einem häufigen Einwand auseinandersetzen, daß eine Abkürzungslinie die Einnahmen vermindere. In dieser einseitigen Form ist zwar die Verteidigung einer verteuerten Umwegsabgabe einfach verkehrsfreundlich, wäre also von vornherein abzulehnen. Trotzdem muß der Einwand aber entkräftet werden, nur eben in der Form, daß die Abkürzungslinie trotz der Verminderung der Einnahmen und ungeachtet des hohen Bauaufwandes bauwürdig bleibt. Man kommt also um die Ermittlung der voraussichtlichen Streckeneinnahmen nicht herum. Diese Untersuchung ist, da es sich um den Ersatz einer bestehenden Linie handelt, nach einer für die Abkürzungslinie Bild 4 angestellten Probe nicht allzuschwer, auch mit einer hinreichenden Genauigkeit durchführbar. Schon die Streckenbelastungskarte liefert wertvolle Unterlagen, und Sondererhebungen über die Art des Personen- wie des Güterverkehrs, namentlich über den Anteil hochtarifierten Verkehrs, können ergänzend einspringen. Weiter stößt man auf die Tatsache, daß verkehrsreiche Linien — und nur solche kommen ja für den Bau von Ersatzlinien in Frage — einen hohen Bauaufwand verlangen, ja sogar fordern. Der Beweis für diese, schon an sich einleuchtende Behauptung ließe sich aus der Statistik der vormaligen Sächsischen Staatseisenbahnen auch zahlenmäßig führen. Diese Statistik wies bis zum Weltkriege für jede Betriebslinie das Anlagekapital, ferner die Einnahmen und Ausgaben alljährlich gesondert nach und berechnete daraus die Verzinsung für jede Linie. Es zeigte sich nun, daß gerade die Linien mit dem höchsten kilometrischen Anlagekapital die beste Verzinsung ergaben, daß sie geradezu das wirtschaftliche Rückgrat des ganzen Netzes waren. Dabei hatte sich das Anlagekapital von einem durchaus nicht übermäßigen Anfangswert auf seinen Hochstand erst durch Umbau und Erweiterung der Betriebs- und Verkehrsanlagen gehoben. Das höchste Anlagekapital und der stärkste Verkehr standen eben in unmittelbarer Wechselwirkung. Verfolgt man diesen Gedanken weiter, dann wird man auf die Notwendigkeit geführt, für jede Abkürzungslinie eine möglichst genaue Betriebskostenrechnung aufzustellen, also auch die Ausgaben zu schätzen. Auch das liegt durchaus im Bereiche der Möglichkeit und es ist dafür beachtlich, daß auf Linien, die fast nur dem Durch-

\*) Dr.-Ing. Baumann, Die Ermittlung der Zugförderkosten der Güterzüge als Unterlage für die Wahl der Leitungswege, Org. Fortsch. Eisenbahnwes. 1927, S. 164.

Dr.-Ing. Wilhelm Müller, Fahrdynamik der Verkehrsmittel, S. 118 ff.

gangsverkehr dienen sollen, der hauptsächlichste Kostenanteil verhältnismäßig klein sein wird, nämlich die persönlichen Kosten für die Betriebs- und Verkehrsanlagen. Denn Zwischenbahnhöfe, Kreuzungs- und Überholungsgleise werden in weitaus geringerer Zahl nötig werden als auf Bahnen, die jeglicher Verkehrsart mit starkem Anteil der Nahzüge zu dienen haben. Wir werden also gerade für neuzeitliche Abkürzungslinien eine günstige Betriebs- und Wirtschaftszahl erwarten dürfen. Kurz, wir sind für Abkürzungslinien mit reinem Durchgangsverkehr nicht nur für die Grundsätze der Linienführung, sondern auch für den Nachweis der Bauwürdigkeit bei der goldenen Regel angelangt, die oben in der Form

$$z = 100 \left( \frac{E}{K} - \frac{A}{K} \right) = 100 \frac{E}{K} (1 - c)$$

entwickelt wurde. Nur muß diese Formel, die zunächst lediglich als allgemeiner Anhalt auftrat, nunmehr zahlenmäßig voll ausgewertet werden.

Schließlich bleibe nicht unerwähnt, daß der Wirtschaftlichkeitsnachweis sich auch auf den weiter zu betreibenden Rest der alten Linie erstrecken sollte; aber hier lassen kaufmännisch betrachtet Abbuchungen und Abschreibungen eine gewisse Freiheit in den Ansätzen, damit solche Linien nicht mit dem alten, fortgeschriebenen Anlagekapital belastet bleiben.

##### 5. Von der Tunnelscheu zur Tunnelneugier.

Tunnel sind in weiten Kreisen der Eisenbahn-Bauingenieure unbeliebt. Psychologisch gesehen, bedeutet jeder Tunnelbau einen Sprung ins Dunkle, er ist mit Ungewissheiten verbunden über Art und Größe geheimnisvoller Kräfte, Zwischenfälle und Unfälle drohen beim Bau fast immer. All das läuft dem auf Stetigkeit und Sicherheit eingestellten Empfinden des Eisenbahn-Ingenieurs zuwider. Aber nicht nur der Bau, sondern auch die Erhaltung des betriebsicheren Zustandes leidet unter der Ungewißheit. Nachträgliche Setzungen im Gebirge und ihre Einwirkungen auf die Tunnelröhre sind nicht ausgeschlossen, zersetzende Bergwässer können am Gewölbe nagen. Den chemischen Angriffen ist aber gerade bei den ältesten Eisenbahntunneln Tür und Tor geöffnet, weil zur Zeit ihres Baues die Technik der Abdichtung von Mauerwerk darniederlag. Die alten Eisenbahntunnel haben meistens überhaupt keine Rückendichtung erhalten. Das sind jedoch technische Mängel, die den Willen zum Fortschritt auf den Plan rufen, nicht aber die Scheu vor dem Tunnel nähren sollten.

Ein bekannter und erfolgreicher schweizerischer Tunnelbaumeister, Rothpletz, hat nach seinen reichen Erfahrungen gewisse Mängel des Tunnelbaues behandelt, aber zugleich auf Wege der Weiterentwicklung hingewiesen\*). Die Technik des Tunnelbaues ist auch heute noch nicht abgeschlossen, Fortschritte sind immer noch möglich.

Für den Vortrieb des Richtstollens ist die Maschinenarbeit trotz aller Beengtheit des Raumes auf dem Vormarsch, namentlich in Amerika. Auch im Bergbau gewinnt ja heute die Maschinenarbeit vor Ort mehr und mehr an Boden. So sind für geeignete Gebirgsmassen im Stollenbau schon Sondermaschinen zum Lösen und Laden entwickelt worden. Auch das alte Schmerzenskind des Stollenbaus, das Schuttern an der Stollenbrust, ist der Mechanisierung sicher nicht unzugänglich. Die Aufgabe läuft darauf hinaus, die Zeit vom Lösen der Sprengschüsse bis zum Vorbringen der Bohrmaschinen, also bis zum neuen Angriff, abzukürzen. Eine beachtliche Lösung besteht darin, die beim Sprengen gelösten Schuttermassen gar nicht erst zu Boden fallen zu lassen, sondern sie zu einem möglichst großen Teil in einem hinreichend gepanzerten Rollwagenzug aufzufangen, der beim Sprengen dicht vor Ort aufgestellt wird. Einen Anhalt dafür

\*) Rothpletz, Woran leiden unsere Eisenbahntunnel, wie kann abgeholfen, wie vorgebeugt werden? Schweiz. Bauztg. 1918.

gibt auch für Tunnelstollen Bild 5. Für eine neuzeitliche Durchbildung des Vollaushubs und der Ausmauerung entwickelt Dr.-Ing. Karl Wiedemann\*) wertvolle Richtlinien, und zwar für die Unterfangungsbauweise, früher belgische Tunnelbauweise genannt. Diese Bauweise (eigentlich Baubetriebsart) erscheint für Tunnel im Berg- und Hügelland mit ihren geringen Überlagerungshöhen besonders geeignet. Wiedemann geht bei seinen Grundsätzen, die er bei rund 20 km Tunnel- und Stollenbauten selbst erprobt hat, davon aus, daß der Gebirgsdruck eine Funktion der Zeit ist, so daß er durch eine zweckentsprechende Gestaltung des Entwurfs und des Baubetriebs zeitlich beeinflusst, d. h. in seiner Entstehung und seinem Anwachsen verzögert werden kann. Hierauf hat auch schon Rothpletz nachdrücklich hingewiesen. In jedem Gebirge kann zunächst ein bestimmter Raum für eine gewisse Zeit aufgeschlossen bleiben, ohne daß Abstützung notwendig ist, d. h. ohne daß Gebirgsdruck auftritt und eine eingebaute Unterstützung beansprucht wird. Die Kunst besteht nun darin, diese Zeit so auszunutzen, daß der Kalottenausbruch und der Einbau des Kalottengewölbes einem etwa erforderlichen Firststollen möglichst dicht, im Abstand von wenigen Tagen, folgen. Wiedemann benutzt hierbei das Ringgerüst, das Dipl.-Ing. Kunz aus einem Grundgedanken von Rziha entwickelt hat und das zwei Aufgaben zugleich erfüllt, nämlich den Kalottenausbruch abzustützen und als Lehrgerüst für das Kalottengewölbe zu dienen (Ringbauweise). Wiedemann gibt an, daß im Vergleich zu dem älteren (belgischen) Baubetrieb, für den Dolezalek die Firstsenkungen erfahrungsgemäß zu mindestens 15 cm, in ungünstigen Fällen aber zu 40 bis 70 cm und mehr ansetzt, die Senkungen bei der Ringbauweise nur einen Bruchteil betragen. Dementsprechend verhält sich der Gebirgsdruck. Es kommt eben alles darauf an, das Gebirge nicht erst in Unruhe zu bringen.

Der Idealfall eines Tunnelvortriebs wäre nach Wiedemann der, daß mit der Beendigung des Vollaushubs gleichzeitig das Gewölbe eingebracht werden könnte. Für kleine Stollenquerschnitte liegt das durchaus im Bereich der Möglichkeit. Für das Kalotten- oder Firstgewölbe bei der Unterfangungsbauweise eröffnet sich diese Möglichkeit gleichfalls, wenn man das Gewölbe als Dreigelenkbogen ausbildet, wobei die Halbschalen aus Eisenbeton außerhalb des Tunnel im Reihenverfahren hergestellt und nach völligem Erhärten vom Tunnelmunde aus mit einem besonderen Versetzwagen eingefahren werden (Bild 6). Auf dem Versetzwagen sind Winden zum Ausschwenken und Aufrichten der Eisenbetonschalen angebracht. Die Rückenflächen der Gewölbeschalen werden schon vor dem Einfahren mit der Abdichtungsschicht ausgerüstet, wobei die Scheitelfuge durch Überlappen gleich mit gedichtet wird. Der Zwischenraum zwischen den Gewölbeschalen und dem Gebirge kann dabei klein gehalten werden, er wird alsbald nach dem Versetzen eines Ringes mit möglichst wasserdichtem Beton vollgepumpt. Eine chemisch unangreifbare, gegen Zerrungen nachgiebige und doch mechanisch widerstandsfähige Dichtungsschicht von ausreichender Stärke kann vielleicht unter den neuzeitlichen Kunstharzen gefunden werden.

Der künftigen Fortentwicklung der Tunnelbaukunst ist also das hohe Ziel gesetzt, die Kosten von Tunnelbauten herabzusetzen, die Bauzeit zu verkürzen, die Bestandsicherheit zu erhöhen und die Unterhaltungsarbeiten einzudämmen. Dann wird der wiederbelebte Tunnelbau mit den hochleistungsfähigen Tunnelbahnen im Berg- und Hügelland dazu beitragen, den Wirkungsgrad der Eisenbahnnetze für ihren Dienst am Volke bis zu jenem günstigsten Stande zu heben, den ein hochentwickeltes Wirtschafts- und Kulturleben mit Recht fordern darf.

\*) Dr.-Ing. Karl Wiedemann, Neuere Anwendung der Unterfangungsbauweise im Tunnel- und Stollenbau, Berlin 1940, Wilhelm Ernst u. Sohn.

## Tunnelbauten der Ostmark.

Von Dipl.-Ing. F. Kargl †, Innsbruck.

Inhaltsübersicht:	Seite
Einführung . . . . .	280
1. Der erste Tunnel . . . . .	280
2. Die Tunnel der Semmeringbahn . . . . .	280
3. Die Tunnel der Brennerbahn und der folgenden Linien der Südbahn . . . . .	281
4. Tunnel der Salzburg-Tiroler Bahnen . . . . .	282
5. Tunnel der Arlbergbahn . . . . .	284
6. Tunnel der Wiener Stadtbahn . . . . .	286
7. Linie Eisenerz-Vordernberg . . . . .	287
8. Die zweite Verbindung mit Triest . . . . .	287
9. Der Tauerntunnel . . . . .	288
10. Der Karawankentunnel . . . . .	289
11. Der Wocheinertunnel . . . . .	292
12. Der Bosrucktunnel . . . . .	293
13. Kurze Tunnel der Tauernbahn . . . . .	295
14. Ausklang des ostmärkischen Tunnelbaus . . . . .	296

### Einführung.

Die ostmärkischen Ingenieure haben bei der Errichtung ihrer Alpenbahnen — wie allgemein bekannt — Hervorragendes geleistet und naturgemäß auch an der Entwicklung der Tunnelbaukunst besonderen Anteil genommen.

Es würde zu weit führen, die größeren Tunnelbauten des Landes auch nur aufzuzählen; die folgenden Darlegungen sollen zeigen, wie die Ostmärker an Hand der gewonnenen Erfahrungen auch im Tunnelbau an immer größere Aufgaben geschritten sind und alle Erschwernisse überwunden haben.

Schon bei den frühen Tunnelbauten am Semmering und am Karste (1848 bis 1852) wurde ein besonderer Bauvorgang ausgebildet, der verbessert und vervollkommenet als „österreichische Bauweise“ bei vielen späteren Tunnelbauten angewendet wurde.

In späterer Zeit haben die Ostmärker einen zweiten, stark abweichenden Bauvorgang entwickelt, die „neue österreichische Bauweise“, die sich im schwierigsten Druckgebirge voll bewährt hatte und nach der seit den achtziger Jahren (Arlberg) die meisten Tunnel der Ostmark und viele auch im Auslande erstellt worden sind.

Auch in wissenschaftlicher Hinsicht hat die Ostmark den Tunnelbau weitgehend gefördert.

Professor Frz. R. v. Ržihla der technischen Hochschule in Wien hat mit seinem tiefgründigen „Lehrbuch der gesamten Tunnelbaukunst“ der technischen Welt die erste wissenschaftlich-kritische Darstellung des Tunnelbaues gegeben und damit den Tunnelbau der wissenschaftlichen Forschung zugänglich gemacht. Neben ihm seien nur noch Lorenz und Schön genannt, die über ostmärkische Tunnelbauten der frühen Zeit berichtet haben.

Das Gebirge bleibt den Eingriffen des Menschen gegenüber durchaus nicht untätig, sondern sucht seine Arbeiten in jeder Weise zu erschweren oder ganz zu vereiteln.

Meist lastet das Gebirge infolge seiner Schwere auf dem Tunnelhohlraum, der während seiner Herstellung durch vorübergehende Maßnahmen und für seinen späteren Bestand durch endgültige Vorkehrungen gesichert werden muß. Der Druck des Gebirges ist um so größer, je lockerer und loser sein Zusammenhang ist.

Manche Gebirgsarten erleiden beim Stollenvortrieb chemische Veränderungen; sie ziehen aus der stets feuchten Stollenluft Wasser an und vergrößern dabei ihr Volumen. Solch „blähendes“ Gebirge zerdrückt manchmal die stärksten Holzeinbauten und wirkt selbst auch auf das Tunnelmauer-

werk zerstörend ein, das dann ausgewechselt und erneuert werden muß.

Sehr hartes Gebirge verursacht einen außerordentlichen Verbrauch an Bohrstahl und an Sprengmitteln, während der Arbeitsfortschritt oft recht fühlbar verzögert wird. Im Gebirge mit hoher Innenpressung kommt es hin und wieder zu „Bergschlägen“, wobei größere Platten und Felsstücke mit voller Wucht in das Innere des Stollens geschleudert werden.

Ein steter Begleiter der Tunnelbauten ist das Wasser, das vom kaum lästigen Tropfwasser anschwellen kann zum brausenden Bache mit über 1000 l/sec Wasserführung. Da in solchen Fällen Stollen und Tunnel überflutet sind und die Wässer alle möglichen Verheerungen und Zerstörungen anrichten, müssen die laufenden Tunnelarbeiten eingestellt und vorerst die notwendigen Aufräumungen durchgeführt werden.

Zuweilen treten gasführende Schichten auf, die die Arbeiten besonders stören und erschweren, aber auch Leben und Gesundheit der Belegschaft in hohem Maße gefährden. Trotz aller Voraussicht und aller Gegenvorkehrungen kann es zu Explosionen von „schlagenden Wettern“ kommen, die dann leider auch ihre Opfer fordern.

Die langen Alpentunnel bilden wahre Hochleistungen der Tunnelbaukunst.

Sie liegen meist weit abseits von bestehenden Verkehrslinien und es bedarf schon die Einleitung der Arbeiten, die Unterbringung der zahlreichen Belegschaft sowie die Versorgung der Arbeitsstellen mit den notwendigen großen Baustoffmengen einer guten Vorbereitung und der größten Umsicht, zumal die Zufahrten recht unzulänglich sind.

Mit der Länge des Tunnels häufen sich dann auch jene Erschwernisse, die im Verhalten des Gebirges ihre Ursachen haben; dann entsteht ein zäher Kampf und ein gewaltiges Ringen mit vielfach unbekanntem und unberechenbarem Kräfte- und Gewalten, die nur mit den stärksten geistigen und körperlichen Mühen und Anstrengungen überwunden werden können.

### 1. Der erste Tunnel.

Der erste Eisenbahntunnel der Ostmark ist der 165 m lange Tunnel unter dem Katzbüchel bei Gumpoldskirchen auf der im Jahre 1839 eröffneten Eisenbahnstrecke Wien—Gloggnitz.

Die Zimmerung der Firste bestand aus einem dreiseitigen Sparrenwerke, das in der Form eines Trapezsprengwerkes angeordnet war. Die Sparren erhielten hierbei eine große Länge und mußten, um ihre Durchbiegungen zu vermindern, gegen ein Untergerüst abgestützt werden. Das Trapez machte ferner übermäßige Mehrausbrüche hinter dem gewollten Tunnelprofil unvermeidbar.

In den engen Flußtäälern südlich des Gebirges waren seit 1842 einzelne Eisenbahnteilstrecken errichtet und in Betrieb gesetzt worden, ihrer Verbindung mit den nördlichen Teilstrecken stand das Gebirge hindernd im Wege.

Schon seit dem Jahre 1842 waren Studien zu seiner Be-zwingung betrieben worden, von ihnen verdient heute noch der Vorschlag des Ing. Keißler besondere Erwähnung, der den Gebirgsstock mit einem tiefliegenden, aber 5600 m langen Basistunnel unterfahren wollte. Die Zeit war jedoch nicht reif für den kühnen Plan, der damals unbeachtet blieb.

### 2. Die Tunnel der Semmeringbahn.

Nach langem Kampf und Streit konnte Karl v. Ghega im Revolutionsjahre 1848 endlich mit der Verwirklichung seiner Studien und Pläne beginnen und in der Semmeringbahn jenes viel bewunderte Meisterwerk schaffen, das der

Lokomotive den Weg ins Gebirge frei machte und damit eine neue, ungeahnt fruchtbare Epoche im Eisenbahnwesen einleitete.

Ghega führte die Trasse von Gloggnitz (437 m Seehöhe) in weit ausgreifender künstlicher Schleifenentwicklung mit der anhaltenden Steigung von 25‰ zur Höhe und unterfuhr den Paß (992 m) mit dem 1430 m langen Semmering-Haupttunnel; jenseits senkte er die Bahn in einfacherer Linienführung im Gefälle von 25‰ bis Mürzzuschlag (679 m Seehöhe). Im Zuge dieser 41,8 km langen Bahn waren neben vielen schwierigen und prächtigen Kunstbauten auch 15 Tunnel von zusammen 4591 m Länge — entsprechend 11% der Streckenlänge — zu errichten.

Beim Bau des Haupttunnels wurden neun Schächte sechs senkrechte und drei schiefe — abgeteuft und auf ihrem Grunde Sohlstollen jeweilig nach beiden Richtungen getrieben. Da auch von den beiden Mundlöchern her gearbeitet wurde, waren somit 20 Angriffstellen geschaffen; für die Bauzeit von 36 Monaten ergibt sich sonach eine durchschnittliche Monatsleistung von 39,7 m Tunnelröhre.

Die Schächte hatten vornehmlich möglichst viele Arbeitsstellen aufzuschließen, daneben auch deren Lüftung sowie der Aus- und Einförderung der Ausbruchmassen und der Baustoffe zu dienen. Über den Schachtmündungen waren Wasserhaltungs- und Förderanlagen teils mit Haspel oder Pferdegepöpel, teils mit Dampfmaschinen im Betriebe.

Der Abbauvorgang war jenem vom Gumpoldskirchner Tunnel angeglichen, doch wurden fünf Sparren — anstatt drei — angewendet, wodurch die Länge der Sparren gekürzt wurde; da sich außerdem das Fünfeck dem Umgrenzungsprofil besser anschmiegte als das Dreieck, wurden auch die unvermeidlichen Mehrausbrüche eingeschränkt.

Die das Kennzeichen der „österreichischen Bauweise“ bildende Sparrenzimmerung ist in der Querrichtung des Tunnels recht widerstandsfähig, entbehrt aber einer guten Verbindung in der Längsrichtung und gilt heute als veraltet.

Das Gebirge (Kalk, Dolomit und Mergel) war stellenweise außerordentlich druckhaft, so daß dort die Geviere sehr dicht gestellt werden mußten. Trotzdem ergaben sich — vermutlich wegen zu großer Länge der Vollaussbrüche — Einsenkungen der Firste bis zu 2½ m, die in mühsamer und schwieriger Auffristungsarbeiten behoben werden mußten.

Starker Wasserandrang erschwerte zudem die Arbeiten in beträchtlichem Maße. Alle Versuche, die Firstgewölbe durch Auflegen von wasserdichter Leinwand vor den Gebirgswässern zu schützen, schlugen fehl. Die Fugen der Ziegel-Firstgewölbe waren denn auch schon nach dem ersten Betriebsjahre völlig ausgewaschen und mußten durch Quadergewölbe ersetzt werden. Der Vollaussbruch sowie die Mauerung wurden in einzelnen Abschnitten (Ringen) von rund 8 m Länge ausgeführt, das Mauerwerk wurde aus Ziegeln mit Weißkalkmörtel erstellt.

Die kürzeren Tunnel, wurden z. T. nach der österreichischen, z. T. nach der deutschen Kernbauweise erstellt, wobei sich recht erhebliche Erschwernisse ergeben hatten und vereinzelt auch größere Verbrüche eingetreten waren. Einzelne dieser Tunnel wurden mit Hilfe von Zwischenschächten — der Weinzettelwandtunnel (695 m lang) allein mit sechs solchen — ausgeführt.

Südlich des Semmerings war die Eisenbahn jeweilig in kurzen Teilstrecken erstellt und sogleich auch in Betrieb gesetzt worden, 1844 bis 1857; die letzte Teilstrecke: Laibach—Triest wurde im Jahre 1857 eröffnet. Auf diesen südlichen Linien wurden 14 Tunnel von zusammen 4600 m Länge errichtet, z. T. nach der deutschen Kernbauweise, z. T. nach der englischen Bauweise unter Verwendung einer Langholzzimmerung, aber mit Mittelgespärren.

### 3. Die Tunnel der Brennerbahn und der folgenden Linien der Südbahn.

Die zweite große Gebirgsbahn der Ostmark folgt dem uralten Handelsweg über den Brenner. Im Jahre 1847 hatte der Veroneser Ingenieur Qualizza einen Plan für die Überschienung dieses Passes veröffentlicht, der allerdings in den Teilstrecken Pferdebetrieb in Aussicht nahm.

Erst im Jahre 1862 wurde der Bau der Bahn von der inzwischen gegründeten österreichischen Südbahn-Gesellschaft begonnen. Ihr Baudirektor, der Württemberger K. v. Etzel war mit der ehrenvollen Aufgabe betraut, den schwierigen Bau Innsbruck—Bozen durchzuführen; nach seinem frühen Hinscheiden haben seine Mitarbeiter Wilhelm Pressel und Achilles Thommen die Bahn im Geiste des verewigten Meisters vollendet.

Die Linienführung war durch tiefeingerissene Täler vorgezeichnet, es war aber vorerst zu entscheiden, ob die Bahn in offener Linie oder im Tunnel über die Höhe geführt werden sollte.

Da der wenig geneigte Jochpaß auf rund 7 km Länge sehr flach verläuft, hätte seine Unterfahrung in nur 70 bis 80 m Tiefe unter der Paßhöhe schon einen Tunnel von etwa 11 km Länge erfordert. Nach eingehenden Studien und vergleichenden Berechnungen wurde von der Untertunnelung aus finanziellen Gründen abgesehen und die Bahn offen über die Höhe geführt. Die Brennerbahn ist so die höchste Hauptbahn Europas geworden.

Vor Baubeginn wurden die geologischen Verhältnisse des Geländes im allgemeinen festgestellt, auch hatte der bekannte Wiener Forscher Prof. Eduard Suess die Baustrecke zu geologischen Erhebungen wiederholt bereist und die Ingenieure zu weiteren Studien und Beobachtungen angeregt.

Die Brennerbahn durchfährt in langer Erstreckung kristalline Schiefer und in kürzerer Ausdehnung Granit und Porphyr. Die Schiefer sind namentlich auf der Nordseite zerdrückt und zermürbt sowie von den Bergwässern aufgeweicht, Granit und Porphyr sind hingegen standfest.

Im Zuge der Bahn waren auf 125,4 km Bahnlänge 22 Tunnel von zusammen 5673 m Länge zu erstellen.

Bei den Tunneln der Nordseite wurde die englische Bauweise angewendet, bei der die Langhölzer der Zimmerung auf der Brustseite durch ein Gespärre unterstützt werden, hingegen auf der anderen Seite auf dem fertigen Gewölbe der vorangegangenen Tunnelzone aufliegen; eine Zwischenunterstützung ist nicht vorgesehen. Auf die Anwendung dieser Bauweise dürften manche Erschwernisse zurückzuführen sein, die — wie Prof. v. Ržiha betont — im Tunnelbau bis dahin überhaupt nicht bekannt waren.

Die Tunnel südlich des Brenners wurden unter geringeren Schwierigkeiten nach der österreichischen Bauweise errichtet.

Bei einer Einschnittsgrabung am Schürfes waren große Erdmassen samt dem anstehenden Hochwalde zunächst auf den Bahnkörper und dann weiter bis in die 30 m tiefer fließende Sill abgestürzt, den Fluß um 8 m stauend.

Die begonnene offene Linie wurde daraufhin aufgelassen und ein rund 118 m langer Tunnel eingeschaltet. Trotz aller Vorsicht ging von diesem eine 16 m lange fertige Zone vollständig zu Bruch und mußte neu erstellt werden; die neuen talseitigen Widerlager erhielten hierbei die ungewöhnliche Stärke von 4,75 m.

An der Ausmündung des Mühltales war gleichfalls eine umfangreichere Lehnentrutschung eingetreten, die es ratsam erscheinen ließ, die Bahn in den Tunnel zu verlegen.

Zur Festlegung der neuen Bahnachse waren vom Hange aus Sondierstollen getrieben worden, die Tonschiefer von anscheinend guter Beschaffenheit aufschlossen. Man begnügte

sich daher mit einer recht seichten Lage des Tunnels im Gelände, der eine Länge von 872 m erhielt. Um an Zeit zu gewinnen und einen raschen Fortschritt zu erreichen, leitete man den Bau sogar mit 14 Seitenstollen ein.

Schon beim Vortriebe des Sohlstollens trat indessen starker einseitiger Druck auf, der das Profil stark verformte und stellenweise auch die Zimmerung zerbrach. Beim Vollausbrüche nahm der Druck in besorgniserregendem Maße zu, so daß man alle Mühe hatte, die begonnenen Zonen fertig zu mauern. In den Ringen 12 und 12a der Eingangsstrecke zeigten sich dann am geschlossenen Mauerwerke schwere Zerstörungen, daß ihr Zusammenbruch befürchtet werden mußte. Sie wurden in aller Eile zunächst trocken ausgeschlichtet und sodann vollkommen neu erstellt.

Hierbei wurden vom Hange her in entsprechenden zeitlichen Abständen zunächst fünf Stollen von je rund 4 m<sup>2</sup> Fläche nebeneinander getrieben und darüber in zwei weiteren Stockwerken abermals solche Stollen angelegt. Im ganzen wurden auf diese Art 15 Stollen erstellt, in denen die neuen talseitigen Widerlager bis auf den Halsuntergrund abgeteuft und mit 4,75 m Stärke in Kämpferhöhe aufgemauert wurden.

In der fertiggemauerten Tunnelstrecke zwischen den Ringen 28 und 45 traten so bedeutende Verformungen und Verdrückungen des Querschnitts auf, daß die völlige Erneuerung der 102 m langen Zone notwendig wurde. Da inzwischen aber die Betriebsaufnahme stattgefunden hatte, mußten die Wiederinstandsetzungsarbeiten unter Aufrechterhaltung des Zugverkehrs vorgenommen werden. Um die Arbeiten einigermaßen zu erleichtern, war vorläufig nur ein Gleis in der Tunnelmitte verlegt worden.

Das Profil wurde zunächst auf die ganze Länge mit Mann an Mann stehenden Bogenrüstungen unterfangen und sodann das talseitige Widerlager an acht Stellen durchbrochen. Entlang diesem Widerlager wurden dann Längsstollen getrieben, darin die alte Mauerung in kurzen Zonen abgetragen und die neuen Widerlager mit der ganz außergewöhnlichen Stärke von 6,30 m aufgemauert. Diese schwierigen und gefahrvollen Arbeiten hatten 3½ Jahre Zeit erfordert.

Auf der Brennerbahn wurden die ersten Wende- oder Kehrtunnel angelegt, die für spätere Gebirgsbahnen Vorbild waren.

Beim Kehrtunnel von St. Jodok (468 m lang) wurde ein 125 m langer Seitenstollen etwa 40 m über der Bahnhöhe angeschlagen und knapp vor dem Tunnel mit einem senkrechten Schachte auf die Bahnhöhe niedergebracht. Da auch von den beiden Mundlöchern her gearbeitet wurde, waren vier Angriffsstellen gewonnen.

Das Gebirge, klüftiger Kalk- und Tonphyllit, war meist standfest doch sehr wasserreich. Die Wasserhaltung in den fallenden Strecken war sehr erschwert. Da auch die Lüftung der engen Arbeitsräume trotz künstlicher Bewetterung recht ungenügend war, blieb der Arbeitsfortschritt unbefriedigend und es kostete viel Mühe, den Tunnel fristgemäß fertig zu bringen.

Der zweite Kehrtunnel liegt bei Ast im Pflerschertale. Er ist 761 m lang und verläuft im harten Artonschiefer, der im Innern des Gebirges in harten, mit Quarzitbändern durchzogenen Gneis übergang; infolge der großen Härte des Gesteins war das Schwarzpulver wenig wirksam und der Fortschritt recht gering.

Anfangs war nur ein Seitenstollen aufgefahren. Als aber die Leistungen unbefriedigend blieben, wurde noch ein zweiter eröffnet. Die Stollen waren zur besseren Lüftung 35 und 66 m oberhalb der Bahn angeordnet und mit senkrechten Schächten schließlich auf die Höhe des Firststollens niedergebracht worden. Die 195 m langen Stollen waren selbst wieder zwei- bis dreimal verzweigt, so daß am Schlusse 12 Arbeitsstellen eröffnet waren.

Auf der Brennerbahn wurden auch zwei Tunnel für die Durchleitung größerer Wasserläufe errichtet, und zwar der „Silltunnel“ bei Matrei, der die Sill unter der Bahn hindurchleitet und der „Eisacktunnel“ bei Gossensaß, der den Eisackfluß seitlich der Bahn vorbeiführt, während das alte Flußbett zum Teil für den Bahndamm verwendet werden konnte.

Am 24. August 1867 wurde die der Semmeringbahn durchaus ebenbürtige Brennerbahn dem öffentlichen Verkehr übergeben.

Die österreichische Südbahn-Gesellschaft ergänzte ihr Netz in den Jahren 1869 bis 1871 durch die Errichtung der eingleisigen Linie Villach—Lienz—Franzensfeste, auf der fünf Tunnel, darunter der schwierige, 624 m lange Wasserscheiden-tunnel zu erstellen waren sowie mit der Karstbahn St. Peter—Fiume, auf der gleichfalls fünf schwierige Tunnelbauten notwendig waren.

In der Zeit zwischen 1867 und 1874 wurde eine weitere Nord-Südlinie, die eingleisige Bahn Amstetten—(St. Valentin)—Klein Reifling—Selztal—Villach—Tarvis mit einem Flügel nach Laibach errichtet. Die beiden Hauptwasserscheiden bei Rottenmann und am Neumarkter Sattel konnten in offener Bahn überschritten werden, während auf der nördlichen Zufahrtstrecke 13 kürzere, meist durch Felsnasen und Felsrippen führende Tunnel notwendig waren und ohne nennenswerte Erschwernisse erstellt wurden.

#### 4. Tunnel der Salzburg-Tiroler Bahnen.

Auf der Salzburg-Tiroler Bahn Hallein—Bischofshofen—Wörgl (175 km) wurden in den Jahren 1872 bis 1875 sieben Tunnel von zusammen 2042 m Länge errichtet; die offene Strecke wurde für ein Gleis, die Tunnel aber mit dem doppelgleisigen Profil erstellt.

Unter diesen Tunneln sind bemerkenswert der 923 m lange Ofenauertunnel nächst Golling sowie der 163 m lange Tunnel am Unterstein.

Beim Bau dieses Tunnels zeigten sich anfänglich keine besonderen Erscheinungen, es wurden deshalb die Zimmerung und die Profilmauerung recht sparsam bemessen. Ein Firstverbruch, der einen Hohlraum von über 500 m<sup>3</sup> über dem Gewölbe freilegte, deutete zuerst auf Druckauslösungen im Gebirge hin. Nun wurden die Einbauten bedeutend verstärkt, soweit es noch möglich war, doch nahm das Verhängnis seinen Lauf.

Nicht nur im Tunnel zeigte sich stark erhöhter Druck, auch am Berghange kamen umfangreiche Massen in Bewegung; es wurde die ganze Mannschaft am Hange eingesetzt, der schwere Wald abgeholzt, die Wässer in Rinnen und Gräben sorgfältig gesammelt und die sich bildenden Risse fest zugestampft.

Der drohende Bergsturz konnte dadurch zwar vermindert werden, allein der Tunnel selbst war nicht mehr zu retten.

Da der Eröffnungstermin der Bahn unmittelbar bevorstand, wurde in aller Eile eine behelfsmäßige Linie mit scharfen Bogen offen um den Hang herumgeführt und der öffentliche Verkehr am 6. August 1875 aufgenommen. Um über den Zustand im Innern des Gebirges Klarheit zu bekommen, wurde mit aller Vorsicht ein Sondierstollen in der Tunnelachse vorgetrieben; er ließ erkennen, daß der Tunnel in großer Ausdehnung so völlig zerstört und zerdrückt war, daß eine Wiederinstandsetzung nicht in Frage kam; daher wurde ein neuer, jedoch nur eingleisiger Tunnel von 487 m Länge erstellt und im Mai 1878 in Betrieb gesetzt.

Bei der Zulegung des zweiten Gleises auf der Salzburg-Tiroler Bahn (1909 bis 1917) waren einzelne recht schwierige Arbeiten auszuführen.

Dem Südausgange des Ofenauertunnels folgt knapp eine recht schiefe und ungünstige Übersetzung des Salzachflusses,

wobei für das zweite Gleis ein neues Tragwerk neben das bestehende verlegt wurde. Es ergab sich dabei ein Achsabstand von 6,15 m, während der Gleisabstand im Tunnel nur 3,50 m beträgt.

Der Übergang von 3,50 m auf 6,15 m wurde nun zum größten Teil in den Tunnel verlegt und dieser auf 194 m Länge trompetenförmig erweitert (Bild 1). Der Tunnel liegt im festen Dachsteinkalk (Muschelkalk) und war nur z. T. ausgemauert; die Erweiterung von 46 m<sup>2</sup> auf 60 m<sup>2</sup> Lichtfläche war hauptsächlich durch die Rücksichtnahme auf den ungehinderten Zugverkehr erschwert.

Es wurde im Tunnel ein fahrbares Gerüst von etwa 20 m Länge aufgestellt, das vollkommen verschalt war; durch dieses Gerüst fuhren die Züge wie durch einen Tunnel im Tunnel durch, während an der Außenseite des Gerüsts die Arbeitsbühnen für die Belegschaft angebracht waren. Namentlich die schweren bergfahrenden Züge (10<sup>0</sup>/<sub>00</sub> Steigung), die oft mit zwei Zug- und einer Nachschiebelokomotive befördert werden mußten, erfüllten die Tunnelröhre in kürzester Frist mit erstickenden Rauchgasen, so daß die Belegschaft sehr zu leiden hatte und die Arbeiten nur sehr schleppend vor sich gingen.

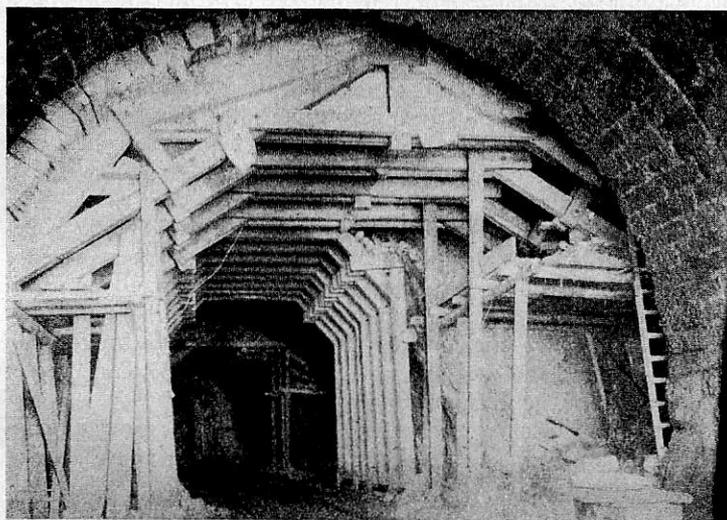


Bild 1. Trompetenförmige Erweiterung des Ofenauertunnels.

Wegen der besonderen Enge des Salzachtales konnte das zweite Gleis in längeren Abschnitten nur getrennt vom bestehenden Gleis auf einem besonderen Bahnkörper geführt werden, wobei sechs neue eingleisige Tunnel von zusammen 2535 m Länge erstellt werden mußten.

Diese neuen Tunnel waren hauptsächlich aus dem Grunde notwendig, um einzelnen hohen und brüchigen Felslehnen entlang des bestehenden Gleises auszuweichen.

Beim Unterstein war besondere Vorsicht geboten; die Trasse für das zweite Gleis war dort recht tief in den Berg gedrückt worden, so daß der neue Tunnel eine Länge von 836 m erhielt. Es ist dieses Gebiet sonach dreimal durchörtert: vom eingestürzten 163 m langen doppelgleisigen Tunnel (1875), vom 487 m langen eingleisigen Ersatztunnel (1878) und vom 836 m langen eingleisigen Tunnel für das zweite Gleis (1912 bis 1915).

Beim Bau des letztgenannten wurde begreiflicherweise größte Vorsicht beobachtet. Von allem Anfang an wurde mit stärksten Einbauten vorgegangen, wobei schwere Druckprofile mit verspannenden Sohlgewölben angewendet wurden. In einzelnen Abschnitten zeigte sich wohl erheblicher Gebirgsdruck, allein durch Kürzung der Ringlängen und durch Belassen der Gewölberüstungen bis zur Beendigung des Nachbarringes konnte der Tunnelbau ohne besondere Erschwernisse bewältigt

werden. Während sich demnach dieser fast regelmäßig und ohne nennenswerte Störungen gestaltete, traten am Hange Bewegungen des Geländes auf. Auf der über dem Tunnel führenden Reichsstraße bildeten sich Längsrisse und die talseitige Straßenhälfte sank ständig tiefer, so daß schließlich im Straßenkörper eine Stufe von rund 80 cm Höhe entstanden war, die nach und nach wieder aufgefüllt werden mußte.

Am Salzachufer wurden zur Vorsicht vier kräftige Stützpfeiler aufgemauert, worauf die Bewegungen im Gelände zur Ruhe kamen. Zweifellos waren im ersterbauten eingestürzten Tunnel weitere Nachstürze in noch bestehende Hohlräume eingetreten; in den beiden eingleisigen Tunneln haben hingegen die sorgfältigen und ständigen Nachmessungen keinerlei Bewegungen der Widerlager und der Firstgewölbe erkennen lassen.

In den Jahren 1873 bis 1875 wurde die im Bau begriffene Salzburg-Tiroler Bahn durch die Linie Bischofshofen—Salztal auch mit den östlichen Eisenbahnlinien verbunden. Der Aufstieg von Bischofshofen in das enge, steil zur Salzach abfallende Fritztal war recht schwierig und erforderte neben einigen kürzeren Tunneln auch den 708 m langen zweigleisigen Kreuzberg-tunnel, der im Werfener Schiefer (sandige Schiefer) liegt. Die Gebirgsverhältnisse waren vorher sehr sorgfältig als durchaus gutartig festgestellt worden, so daß man sich entschloß, den Tunnel in seiner ganzen Länge nach der belgischen Bauweise auszuführen, die man bis dahin nur für ganz kurze Felstunnel zugelassen hatte; der Tunnel ist nur z. T. mit schwachen Mauerprofilen verkleidet, sonst unausgemauert.

Ein weiterer, im Fritztale geplanter Tunnel wurde aufgegeben und als Einschnitt ausgeführt, nachdem sowohl im Sohl- als auch im Firststollen arge Profilverdrückungen aufgetreten waren. Es dürfte hier das Beispiel vom Untersteintunnel abschreckend gewirkt haben.

Bei der Salzkammergutbahn Attnang—Puchheim-Steinach—Irdning (108 km) wurden in den Jahren 1875 bis 1877 außer vielen sonst sehr schwierigen Bauten auch zehn Tunnel von zusammen 2822 m Länge errichtet. In der 6,5 km langen Strecke zwischen Ebensee und Traunkirchen waren die meisten Bauschwierigkeiten zu bewältigen, da hier die Trasse als schwerer Lehnbau rasch nacheinander fünf Tunnel durchfahren muß. Beim Sonnstein war dabei ein 1428 m langer Tunnel notwendig, um die Bahn gegen Steinschlag und Lawinenabgang zu sichern.

Der Tunnel wurde mit Handbohrung begonnen, wobei auch zwei Seitenstollen von 266 m und 439 m Länge aufgefahren waren, um neue Arbeitsstellen zu gewinnen und einen besseren Fortschritt zu erzielen. Das Gebirge (Kalk, Mergel und Dolomit) war indessen so außerordentlich hart, daß mit Handbohrung vor Ort nur 0,74 bis 1,00 m Stollen im Tag erbohrt werden konnten. Als schließlich zu befürchten war, daß der Tunnel nicht bis zum vorgesehenen Eröffnungstermin der Bahn fertiggestellt werden könnte, wurde nach Ablauf eines vollen Baujahres die Handbohrung durch Maschinenarbeit ersetzt. Es wurden zwei hydraulische Drehbohrmaschinen der Bauart A. Brandt beschafft und mit ihnen ein mittlerer Tagesfortschritt von über 2,50 m erzielt. Es war dies die erste maschinelle Bohrung bei einem ostmärkischen Tunnel, die sich auch glänzend bewährt hat.

In der südlichen Strecke der Bahn zwischen Aussee und Obertraun wurde der Bahnkörper im Jahre 1898 durch ein verheerendes Hochwasser stellenweise vollständig zerstört. Es wurde im Tal der Koppentraun auf rund 4,5 km Länge die völlige Neuherstellung der Bahn notwendig, wobei die neue Linie z. T. um 20 m höher gelegt werden mußte als die aufgelassene Linie.

Im Zuge dieser neuen Linie wurde ein nur 200 m langer Tunnel durch den Saarstein errichtet, wobei der Sohlstollen

ausnahmsweise mit Kurbel-Stoßbohrmaschinen betrieben wurde, nur um Zeit zu gewinnen und den unterbrochenen Zugverkehr möglichst frühzeitig wieder aufnehmen zu können.

### 5. Die Tunnel der Arlbergbahn.

Schon zur Zeit der Semmeringstudien beschäftigten sich Industrielle Westösterreichs mit dem Plan einer Bahnverbindung zwischen dem Bodenseegebiet und der Adria, allein das Hochgebirge bildete ein schier unüberwindliches Hindernis und es dauerte 40 Jahre, bis die Arlbergbahn verwirklicht werden konnte.

Von den beiden möglichen Linienführungen (Sanna- und Klostertal—Arlberg und Paznaun- und Montafonertal—Zeynisjoch) wurde die Arlberglinie als die bauwürdigere befunden und zur Ausführung bestimmt.

Der Arlbergpaß (1802 m ü. d. M.) bildet ein flaches Joch von etwa 5 km Ausdehnung, das dann beiderseits rasch abfällt. Die Vorstudien wurden bis auf 1500 m Seehöhe erstreckt und dabei auch der geologische Aufbau des Gebietes mit aller Sorgfalt festgestellt. Da im Bereiche des Passes triassische Gesteine der nördlichen Kalkalpen an die kristallinen Schiefer der Zentralalpen grenzen, war man bestrebt, den Tunnel möglichst weit aus der Berührungszone der beiden Formationen zu rücken.

Neben fünf Trassenstudien mit tieferer Lage des Tunnels war auch ein sogenanntes billiges Projekt veröffentlicht worden, das einen hochgelegenen, jedoch nur eingleisigen Tunnel vorsah.

Die ostmärkischen Ingenieure nahmen gegen diese Halbschärfe scharf Stellung und verwiesen dabei vornehmlich auf die unvermeidlichen großen Betriebserschwernisse in einer so langen engen Tunnelröhre sowie auch auf die höchst ungünstigen klimatischen Verhältnisse in der größeren Höhenlage. Der Plan kam dadurch auch zu Fall und die Erfahrungen in den bisherigen sechs Jahrzehnten haben die Richtigkeit dieser Befürchtungen voll bestätigt. Laugen am westlichen Tunnelausgange (1217 m Seehöhe) hat einen mittleren Jahresniederschlag von 1818 mm und seine durchschnittliche Jahrestemperatur liegt nur während eines Vierteljahres über 10° C; in der größeren Höhenlage des angepriesenen höhergelegenen Tunnels sind diese Verhältnisse noch weit ungünstiger.

Zur Leitung der Baudirektion für den Staatseisenbahnbau wurde Oberbaurat Julius Lott berufen, der einst auch beim Bau der Brennerlinie tätig gewesen war.

Die offenen Bahnstrecken (Innsbruck—Landeck, Landeck—St. Anton und Langen—Bludenz) wurden eingleisig, der 10250 m lange Arlbergtunnel mit den kurzen Anschlüssen zu den Stationen St. Anton und Langen hingegen zweigleisig erstellt.

Baudirektor Lott leitete die Entwurfsarbeiten mit größter Umsicht und Tatkraft und bereitete namentlich den Bau des großen Tunnel aufs gründlichste vor.

In den einsamen und entlegenen Gebirgsorten, an denen der Tunnel münden sollte, entstanden bald ausgedehnte Siedlungen; es wurden Werkstätten- und Lagergebäude errichtet, Kanzlei- und Wohnhäuser erbaut, Wohlfahrtseinrichtungen wie Bäder und Krankenhäuser bereitgestellt; außerdem wurden auf beiden Seiten Wasserkraftanlagen erstellt, um den erforderlichen Kraftbedarf zu decken; zur Sicherheit für wasserarme Zeiten wurden auf der Westseite auch eine Dampfeserve aufgestellt.

Auf der Ostseite wurde der Rosannabach mit einem Nutzgefälle von 132 m ausgebaut, so daß bei 700 l geringster Wasserführung mindestens 900 PS zur Verfügung standen.

Im Westen lagen die Verhältnisse weit ungünstiger; da eine zuverlässige einheitliche Wasserkraft nicht vorhanden war, mußte dort die Kraftgewinnung auf zwei Erzeugungsorte verteilt werden, wobei die Anlagen zur Bedienung der Bohrmaschinen vollständig getrennt von jenen für die Tunnellüftung angeordnet waren. Dies war auch schon durch die Ver-

wendung der Brandtschen Bohrmaschinen geboten, die mit außerordentlich hohem Drucke arbeiten.

Als im strengen und frostreichen Winter 1882/83 die Wasserführung in den Wasserläufen stark zurückging, wurde auf der Ostseite der Ausfall an Kraft durch entsprechende Einschränkung der Tunnelarbeiten ausgeglichen, während im Westen die Dampfeserve durch längere Zeit in Betrieb gesetzt werden mußte.

Die Werkstätten wurden auf beiden Seiten unabhängig von den Anlagen für die maschinelle Bohrung und die Bewetterung durch besondere kleine Turbinen mit Kraft versorgt und waren mit allen erforderlichen Werkzeugmaschinen reichlich ausgerüstet.

Um für den Vortrieb des Richtstollens weitere Angriffsstellen zu schaffen, sollte nächst der Alpe Rauz ein schiefer Schacht von 1160 m abgeteuft werden. Als aber die beiden eingeholten Angebote zu hohe Preisforderungen enthielten, wurde von der Errichtung des Hilfsstollens ganz abgesehen und der Sohlstollen nur von den beiden Mundlöchern her unter raschster Aufnahme der maschinellen Bohrung vorgetrieben.

Der Vortrieb wurde am 24. Juni 1880 im Kleinakkord zunächst mit Handbohrung begonnen und im Oktober des gleichen Jahres die maschinelle Gesteinsbohrung probeweise aufgenommen; auf der Ostseite waren Druckluft-Stoßbohrmaschinen der Bauart Ferroux, auf der Westseite hydraulische Drehbohrmaschinen von A. Brandt aufgestellt. Die beiden Maschinensysteme ergaben übereinstimmende Leistungen, weshalb sie später für den endgültigen Stollenvortrieb ohne weiteres beibehalten wurden.

Ende 1880 wurden die Tunnelarbeiten auf Grund sorgfältig erstellter Vertragsunterlagen endgültig vergeben, worauf bald ein regelrechter Baubetrieb einsetzen konnte. Im Bauvertrage war für den Stollenvortrieb auf jeder Seite und für jeden Kalendertag ein Fortschritt von 3,30 m ausbedungen, die übrigen Tunnelarbeiten sollten nie länger als 180 Tage gegen den Stollen zurückbleiben.

Die Tunnelachse war auf Grund einer vorausgegangenen Triangulation festgelegt und zur Kontrolle auch über Tag abgesteckt worden.

Der Richtstollen war in der Sohle angelegt und wegen des Verkehrs der Förderwagen und der Unterbringung der Luft- und der Wasserleitungen mit 2,75 m Breite bei 2,50 m Höhe ausgestattet worden; der Firststollen war bloß mit 2,50 m Breite angelegt, damit noch zwei zweimännige Mineurgruppen gleichzeitig arbeiten konnten.

Im voreilenden Sohlstollen wurden in Entfernungen von 60 bis 70 m schachtartige Aufbrüche von 1,0 × 1,0 m nach oben ausgeführt und sodann jeweilig nach beiden Richtungen Firststollen getrieben; zwischen den Aufbrüchen waren in rund 20 bis 30 m Entfernung Schuttlöcher hergestellt, durch die die Ausbruchmassen unmittelbar in die im Sohlstollen aufgestellten Förderwagen gestürzt werden konnten.

Firststollen und Vollaussbruch wurden ausschließlich mit Handbohrung ausgeführt, der Vollaussbruch in Ringen von 8,0 m Länge.

Beim Vollaussbruche eines Ringes wurden die tragenden Langhölzer (Kronbalken) nach und nach unter das freigelegte Gebirge eingeschoben und vorläufig durch kurze Stempel unterstützt, mit fortschreitender Ausweitung des Querschnitts konnten immer weitere Kronbalken eingebracht und gleichzeitig der Ausbruch unter steter Auswechslung der kurzen Stempel vertieft werden, bis die Höhe der Brustschwellen erreicht war. Hierauf wurde das Untergerüst eingebracht und der Abbau des Profils beendet. Die Kronbalken waren auf zwei Brustgespärren gelagert und durch zwei Zwischengespärre unterstützt, ihre Zahl schwankte je nach der Gebirgsart zwischen 6 und 14.

Vom Firststollen aus wurde jeder vierte Ring als „Aufbruchring“ in der ganzen Profilfläche ausgebrochen und ausgemauert; erst nach seiner Vollendung durfte einer der beiden Nachbarringe als sogenannter „Anschlußring“ begonnen werden, er brauchte an der dem Aufbruchring zugekehrten Seite kein neues Brustgespärre. Nach Beendigung der beiden Anschlußringe fand der verbliebene mittlere Ring als „Schlußring“ auf beiden Stirnseiten Anschluß an das Mauerwerk und bedurfte nur zweier Mittelgespärre.

Der ganze Abbauvorgang wird als „neue österreichische Bauweise“ bezeichnet.

Das Mauerwerk wurde aus Bruchsteinen mit hydraulischem Mörtel hergestellt, nur in Ringen mit besonders starkem Gebirgsdruck wurde Quadermauerwerk mit Portland-Zementmörtel ausgeführt.

Die durch die Dynamitschwaden, durch die vielen Lampen und durch die Atmung der zahlreichen Belegschaft verbrauchte Tunnelluft wurde durch Einblasen von Frischluft verdrängt und wieder atembar gemacht, wobei die im Bauvertrage vorgesehene Luftmenge von 180 m<sup>3</sup> in der Minute auf jeder Seite ausreichend war. Die Schwaden und Rauchgase vor Ort wurden nach dem Abschließen der Minen durch Zerstäubung ausgiebiger Wassermengen niedergeschlagen.

Vor der Zulassung zur Arbeit wurde jeder Arbeiter ärztlich untersucht und es gelang auf diese Weise, das Einschleppen der gefürchteten Tunnelanämie zu verhindern.

Als höchste Gesteinstemperatur wurden 23° C bei einer Überlagerung von 500 m gemessen, es hat also die Temperatur die Arbeiten nicht behindert.

Der große Arbeitsfortschritt verlangte eine rasche und störungsfreie Förderung der Massen, denn es waren 784 000 m<sup>3</sup> Bergmassen auszufördern und Baustoffe für 287 000 m<sup>3</sup> Mauerwerk in den Tunnel einzubringen, daneben waren noch große Mengen von Holz, Sprengmitteln, Bohrgestänge u. dergl. sowie auch die Belegschaft einzufahren; an Boherschneiden aus bestem Stahl wurden allein 429 000 Stück verbraucht.

In den fertigen Tunnelstrecken waren Lokomotiven mit großem Dampfkessel und tiefliegender Feuerbüchse in Verwendung; der hochgespannte Dampf (15 atü) reichte für die Fahrt im Tunnel vollkommen aus, so daß ein Nachheizen nicht notwendig war. Die Züge fuhren jeweils bis in die am weitesten gegen das Stollenort vorgeschobene Ausweichstellen, von wo aus dann die Förderwagen in die anschließende Stollenstrecke mit Menschenkraft weiter geschoben wurden.

Beim Stollenvortriebe von Osten her war der planmäßige Gefällsbruch früh erreicht, da er nicht in der Mitte des Tunnels liegt; die Bahn steigt auf der Ostseite mit 2<sup>0</sup>/<sub>100</sub> auf 4100 m Länge, auf der Westseite mit 15<sup>0</sup>/<sub>100</sub> auf 5170 m. Der Sohlstollen mußte daher auf eine längere Strecke im Gefälle von 15<sup>0</sup>/<sub>100</sub> getrieben werden; in dieser Strecke konnten die vor Ort beladenen Wagen nicht mehr von Menschen aufwärts geschoben werden. Da nun die Lokomotiven in die Stollenstrecken nicht einfahren konnten, wurde eine besondere Förderart eingeführt.

Zwischen vierrädrigen, niedrigen Wagen wurden Holzstangen von 7,60 m Länge eingeschoben und durch Aneinanderreihen solcher, aus Wagen und Holzstangen gebildeten Ketten konnte die jeweilig notwendige Zuglänge gebildet werden. Die jenseits des Gefällsbruches aufgestellte Lokomotive konnte den beladenen Wagenzug mit Hilfe des Gestänges über die Steigung ziehen. Diese „Stangenförderung“ erstreckte sich am Schlusse auf über 1100 m Länge.

Auf der Ostseite war quarzreicher und granathaltiger Glimmerschiefer, späterhin auch mächtig harter Gneis aufgefahren worden. Das Gebirge war standfest und verhältnismäßig trocken, so daß kein besonderer Aufwand an Zimmerung notwendig war; auch der Vollausschub ging in langen Zonen

— kurze Druckstrecken ausgenommen — glatt und beinahe regelmäßig vonstatten.

Anders waren die Gebirgsverhältnisse auf der Westseite; da war der Glimmerschiefer sehr klüftig und zerrüttet, von graphitischen Einlagerungen durchzogen und reichlich wasserführend. Schon der Vortrieb des Sohlstollens war durch Gebirgsdruck und Wasserzudrang arg erschwert; die schwierigen Stellen mußten mit Handbohrung bezwungen werden, bevor die Maschinen wieder betätigt werden konnten. In langen Strecken mußte eine schwere Stollenzimmerung angewendet werden, um dem Drucke zu begegnen. Beim Ausbruch des vollen Querschnitts verstärkten sich die Erschwernisse in beträchtlichem Maße, so daß ein besonders dichter und kräftiger Holzeinbau notwendig wurde und für die Ausmauerung die größten Mauerstärken herangezogen werden mußten. In diesen schwierigen Strecken wurden die Entfernungen der Aufbrüche auf 100 bis 120 m vergrößert und, um das Gebirge zu entwässern, kurze Querstollen getrieben.

Als die Tunnelröhre in größerer Ausdehnung fertig ausgemauert war, zeigten einzelne Ringe der Westseite Bewegungen der Widerlager; es wurden verspannende Sohlgewölbe eingebaut, worauf die Bewegungen im ersten Tunnelkilometer zur Ruhe kamen. Im zweiten Tunnelkilometer aber mußten sechs Ringe von je 8,0 m Länge vollständig abgetragen und durch stärkere Mauerung in Portland-Zementmörtel ersetzt werden. Auf der Ostseite wurden 1308 m, auf der Westseite 3591 m, zusammen demnach 4899 m Sohlgewölbe erstellt.

Nach der Betriebsaufnahme zeigten sich in einzelnen Druckstrecken abermals Zerstörungen am Mauerwerke und es bedurfte einer mehrjährigen sorgsamsten Instandhaltung, bis alle diese Druckäußerungen bewältigt waren und das Gebirge wieder zur Ruhe gekommen war.

Der Sohlstollen wurde am 19. November 1883, also 14 Monate vor der vertragsmäßigen Frist durchgeschlagen; die Vollendung der übrigen Tunnelröhre erforderte noch 6½ Monate; der in überraschend kurzer Zeit vollendete Tunnel war früher betriebsfähig als die offenen Zufahrtsrampen. Der öffentliche Verkehr wurde am 21. September 1884 aufgenommen.

Der Bau des Arlbergtunnels bildet ein Ruhmesblatt in der Geschichte des ostmärkischen Tunnelbaues.

Die vertragsmäßige Tagesleistung von  $2 \times 3,30 = 6,60$  m Richtstollen wurde dank der vorzüglich arbeitenden Bohrmaschinen und der gewaltigen Sprengkraft des Dynamits bald überholt und betrug im Durchschnitt auf die ganze Bauzeit verteilt 9,34 m.

Zu dieser Glanzleistung hat nicht zum wenigstens auch das wackere Verhalten der gesamten Belegschaft beigetragen, die tagaus, tagein in engen, finsternen Räumen in Nässe und in dumpfer Luft, umlauert von Gefahren aller Art ausharrte und ihrer schweren Arbeit allen Hindernissen und Erschwernissen zum Trotz unermüdlich oblag.

Die gesamten Baukosten des Tunnels betragen rund 19 Millionen Gulden = 1860 fl/m = 3570 R.M./m.

Neben dem großen Tunnel waren auf der 64,2 km langen Arlbergstrecke Landeck—Bludenz noch neun kürzere, einleisige Tunnel von zusammen 1167 m Länge zu erstellen. Zwei der kurzen Tunnel wurden von der Firste aus abgebaut, die übrigen mit durchlaufendem Sohlstollen nach der im großen Tunnel angewendeten Bauweise. Neben den unterirdischen Bauten waren noch zwei Lawinenschutzdächer von 52 und 187 m Länge erstellt worden.

Die z. T. in wildem Hochgebirgsgelände führende schwere Lehnbahn hat im Laufe der Jahre umfangreiche Ergänzungs- und Sicherungsbauten erfordert, um den Bahnkörper vor den Einwirkungen der nie rastenden Naturgewalten zu schützen.

Bis hoch hinauf, selbst bis zum Gebirgskamme wurden solche Bauten gegen Steinschlag, Felsabsturz und Lawinen-

abgang ausgeführt sowie ausgedehnte Aufforstungen durchgeführt, bestehende Wälder wurden als Bannwälder erklärt und ihre Nutzung weitgehend eingeschränkt.

Um die Bahn an drei besonders gefährdeten Stellen besser zu schützen, wurde sie jeweilig in den Tunnel verlegt, wozu zusammen noch 3305 m neue Tunnelröhren erstellt werden mußten.

Am 9. Juli 1892 war westwärts der Station Langen am Arlberge ein Bergsturz niedergegangen, bei dem etwa 400 000 m<sup>3</sup> mergelige Felsmassen aus großer Höhe ins Tal stürzten. Beim Sturze über eine mit hartem Schnee erfüllten Lawinenbahn erreichten sie eine hohe Endgeschwindigkeit, verschütteten die Bahn auf 250 m Länge und durchschnittlich 6 m Tiefe, stürzten noch auf die talseits liegende Reichsstraße und weiter bis in den Alsenzbach, im Weiler Klösterle einige Häuser zerstörend und ihre Insassen begrabend.

Die Betriebsdirektion Innsbruck richtete in aller Eile einen Umsteigeverkehr ein, bei dem die Reisenden die Unfallstelle auf etwa 500 m zu Fuß zurücklegen mußten; gleichzeitig wurde mit der Herstellung einer behelfsmäßigen Umfahrungslinie begonnen und trotz aller Hindernisse und Erschwerungen durch nachstürzende Bergmassen der durchlaufende Zugverkehr am 24. Juli 1892 wieder aufgenommen. Zur endgültigen Sicherung der Bahn wurde im Jahre 1893 der 505 m lange Großtobelstollen unter dem gefährdeten Gebiete hindurchgeführt.

Westlich der berühmten Trisannabrücke, dem kühnsten und stolzesten Bauwerke der Arlbergbahn, lockerten sich im Laufe der Jahre umfangreiche Felswände an der sogenannten „Schwarzen Wand“. Unter Einsetzung einer zahlreichen opferwilligen Mannschaft wurden die Felswände Jahre hindurch überstiegen und untersucht sowie lockere Stellen untermauert; hierbei wurde durch sorgfältige Messungen an zahlreichen Punkten das Gelände aufmerksam beobachtet.

Als diese Messungen schließlich erkennen ließen, daß die Bewegungen im Gebirge in bedrohlichem Maße anstiegen, war es klar, daß eine endgültige Sicherung der Bahn nur durch einen längeren Tunnel möglich war, der denn auch in den Jahren 1912 bis 1914 erbaut wurde.

Wegen der Enge des Tales und der Steilheit der Bergänge war für die Ablagerung der Ausbruchmassen an der Bahnseite kein Platz, es mußte daher im Zuge des großen Seitenstollens ein 130 m langes und 43 m hohes Gerüst über die Rosannaschlucht errichtet werden, das dann auch den Hauptzugang zum Tunnel bildete.

Der 1644 m lange Moltertobelstollen liegt in der einheitlichen Steigung von 23,1‰; der Stollen mußte daher z. T. im Gefälle getrieben werden, was in der westlichen Strecke wegen des starken Wasserandranges ein Ersäufen herbeiführte und die Bereitstellung der maschinellen Bohrung erzwang.

Geböhrt wurde mit Druckluft-Bohrhämmerern der Bauart Flottmann, wobei zeitweilig Tagesfortschritte bis 7,2 m erzielt wurden.

Die Herstellung der beiden Tunnelmündungen war an den zu Rutschungen geneigten Steilhängen und der Nähe des befahrenen Hauptgleises sehr schwierig; es wurden jeweilig kurze Querstollen getrieben (Bild 2) und das schiefe Anschneiden der Lehnen in der Längsrichtung so gut als möglich vermieden.

Östlich der Station Danöfen—Spullersee war der Bahnkörper durch Lawinenabgänge vom außerordentlich steilen Hange des Batzig wiederholt verschüttet und der Zugverkehr auf der Arlbergbahn unterbrochen worden. Es wurden zwar Verbauungen und sonstige Schutzmaßnahmen ausgeführt, allein eine dauernde Sicherung der Bahn konnte nur die Unter-

tunnelung des Gebietes verbürgen, die mit dem 1157 m langen Wildentobelstollen in den Jahren 1912 bis 1914 erreicht wurde.

Im standfesten Gebirge (Kalk- und Partnachschieben) wurde unter einem Kleinstaufwande an Holz (2,5 m<sup>3</sup> Rund- und 0,5 m<sup>3</sup> Schnittholz) die belgische Bauweise angewendet, während im druck- und wasserreichen Schwemmkegel des Spreubaches der Tunnel nach der neuen österreichischen Bauweise unter vielen Widrigkeiten und Hemmnissen erstellt werden mußte. In den schweren Druckstrecken waren die Arbeiten durch den ohne Unterlaß stattfindenden Zudrang eiskalten Wassers sehr beeinträchtigt; der Holzverbrauch stieg auf über 5,5 m<sup>3</sup> Rund- und 1,2 m<sup>3</sup> Schnittholz, selbstverständlich konnten nur schwerste Druckprofile mit durchlaufenden Sohlgewölben dem Gebirgsdrucke widerstehen. Im festen Gebirge waren Druckluft-Bohrhämmer der Bauart Flottmann in Verwendung, im nachgiebigen Gebirge war nur Handarbeit möglich.

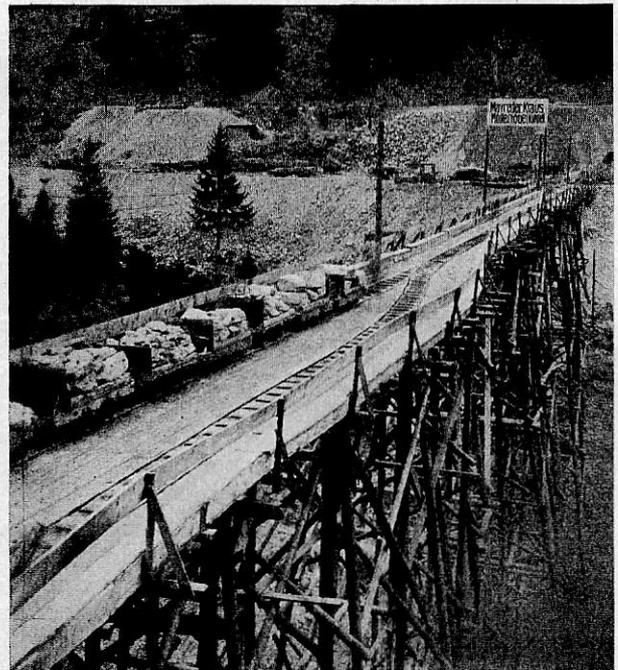


Bild 2. Moltertobelstollen. Zugangsgerüst über das Sannatal zum Seitenstollen.

Im Winter 1924 bis 1925 wurde der Sinnstobelstollen westlich der Station Langen a. A. auf 140 m Länge überwölbt, um den häufigen Verschüttungen durch Lawinen ein Ende zu machen. An zwei anderen gefährdeten Stellen wurden Lawinenschutzdächer in Eisenbeton auf 34 und 40 m Länge erbaut.

## 6. Tunnel der Wiener Stadtbahn.

Beim Bau der Vorortlinie der Wiener Stadtbahn (1893 bis 1898) waren zwei recht schwierige Tunnel von 688 und 212 m Länge unter der Türkenschanze und ein nicht minder schwieriger 746 m langer Tunnel unter dem Höhenrücken von Breitensee zu erstellen.

Die Rücken sind aus feinem, lockerem Sand aufgebaut, der zudem in einzelnen Zonen reichlich Wasser führt; es waren daher die Tunnelbauten von Haus aus recht schwierig einzuschätzen.

Schon beim Vortrieb des Sohlstollens trat großer Druck auf, so daß die Zimmerung durch den Einbau von Innengevieren mit langen Unterzügen verstärkt werden mußte. Beim Vollausschub wurden 14 Kronbalken eingebaut, wovon

die vier obersten eine durchschnittliche Stärke von 0,50 m haben mußten; obwohl der Ausbruch mit einer Überhöhung von mindestens 1,50 m begonnen wurde, gab es am Schlusse immer starke Firstsenkungen, die durch schwierige Aufstufungen behoben werden mußten. Die Senkungen waren in dem weichen und nachgiebigen Gebirge unvermeidlich, denn die Kronbalken mußten mindestens in viermaligen Abschnitten unterfangen werden, bis sie auf die Brust- und Mittelschwellen endgültig gelagert werden konnten; in besonders drückenden Ringen war sogar eine siebenmalige Zwischenunterstützung notwendig. Da der feine Sand durch die Fugen der Zimmerung rieselte, mußten diese in sorgfältigster Weise mit Stroh u. dergl. gedichtet werden. Versuchsweise wurde bei den Türkenschanztunneln sogar ein Einbauschild verwendet; als aber die Mannschaft gut eingearbeitet war, kam man auch mit der üblichen Abbauphase vorwärts. Der rieselnde Sand machte auch eine sorgfältige Verpfählung und Abdichtung der Brust notwendig; der Holzaufwand betrug für den laufenden Meter Tunnelröhre 3,5 m<sup>3</sup> Rund- und 2,7 m<sup>3</sup> Schnittholz.

### 7. Linie Eisenerz—Vordernberg.

Die vollspurige Lokalbahn mit gemischtem Betriebe (Reibungs- und Zahnradbahn) Eisenerz—Vordernberg ist 19,9 km lang, wovon 14,6 km mit Zahnstange befahren werden. Sie zweigt von dem Bahnhof Eisenerz (692 m Seehöhe) der Flügelbahn Hieflau—Eisenerz ab, erreicht im Pwebichtunnel den Scheitelpunkt in 1204 m Seehöhe und senkt sich dann nach Vordernberg (768 m); die größte Steigung beträgt 71<sup>0</sup>/<sub>100</sub>.

Auf der 19,9 km langen Linie waren fünf Tunnel von zusammen 2521 m Länge zu erbauen. Infolge ungünstiger Gebirgsbeschaffenheit und stärksten Wasserzudranges war die Erstellung des Platten- sowie des Pwebichtunnels recht schwierig. Zwei in großer Steigung liegende kürzere Tunnel liegen in der Zahnstangenstrecke, die längeren Tunnel in der Reibungsbahn.

Da die Zahnradlokomotive nur eine Nettolast von 150 t befördern kann, ist die Bahn für den schweren Erztransport nicht sehr geeignet.

### 8. Die zweite Verbindung mit Triest.

Im Hauptbahnnetz der Ostmark klaffte zwischen der Linie Amstetten—Selztal—Villach und der Brennerbahn noch eine weite Lücke, deren Schließung mit der Zeit immer dringender wurde. Nach jahrzehntelangen Kämpfen bewilligte das Wiener Parlament mit dem Gesetz vom 6. Juni 1901 die Errichtung der zweiten Eisenbahnverbindung mit Triest, mit der Westösterreich und Süddeutschland endlich einen Schienenweg zum Haupthafen der Monarchie erhalten sollten.

Der quer über die Ketten der Ostalpen führende Weg erforderte eine viermalige Durchbrechung des Gebirges und außerdem zahlreiche kürzere Tunnel.

Allgemeine Geländeaufnahmen und Untersuchungen der Linienführung waren z. T. bald nach Vollendung der Arlbergbahn durchgeführt worden, so waren allein für die Tauernbahn neun verschiedene Entwürfe erstellt worden.

Die Gebirgsverhältnisse waren sorgfältig erhoben und von hervorragenden Fachgeologen eingehende Gutachten erstattet worden. Im Einvernehmen mit der Wiener Akademie der Wissenschaften war für die geologischen Beobachtungen und wissenschaftlichen Arbeiten eine besondere Tunnelkommission bestellt worden; Mitglieder der geologischen Reichsanstalt hatten die bei den Tunnelbauten gewonnenen Gebirgsaufschlüsse festzustellen, die Bauingenieure aber die weiteren Beobachtungen und genauen Aufzeichnungen durchzuführen.

Die Oberleitung der gesamten Bauten führte Baudirektor K. Würmb, nach seinem Rücktritt sein bisheriger Stell-

vertreter A. Millemoth; Sachbearbeiter für Tunnelbau war Oberbaurat J. Hannack, alle einst am Arlberge tätig gewesen.

Bei den großen Tunneln wurden die Erfahrungen aus den früheren großen Tunnelbauten des In- und Auslandes weitestgehend verwertet. Der Richtstollen (2,50 × 2,20 m) wurde grundsätzlich in der Sohle angeordnet und der Abbau der Tunnelröhre nach der am Arlberge endgültig ausgebildeten „neuen österreichischen Bauweise“ durchgeführt. Für die maschinelle Gesteinsbohrung wurden an Stelle der alten, schwerfälligen Bohrmaschinen z. T. neue, leichtere Maschinenformen verwendet.

Die geodätischen Arbeiten zur Festlegung der Tunnelachsen wurden vom Oberinspektor der Baudirektion A. Tichy z. T. nach einer neuen, von ihm ersonnenen Methode mit außerordentlicher Präzision ausgeführt. Im Gegensatz zur bisherigen Übung wurden bei der Triangulierung auch sehr spitzwinklige und lang gezogene Dreiecke ohne weiteres herangezogen.

Um Zeit zu gewinnen und das Gebirge möglichst gut und weit aufzuschließen, wurden die Richtstollen frühzeitig mit Handbohrung begonnen. Nach Fertigstellung der umfangreichen Vergebungsunterlagen wurden dann die Tunnelarbeiten auf Grund öffentlicher Ausschreibungen jeweilig an leistungsfähige Bauunternehmungen vergeben.

Den Angeboten lagen Übersichtsplan und -Längenprofil sowie Einheitszeichnungen und Bedingungen zugrunde. Die von der Verwaltung vorzeitig ausgeführten fertigen oder nicht völlig fertigen Baubetriebsanlagen wurden dem Ersteher unentgeltlich zur Benutzung beim Tunnelbau übergeben, wobei er verpflichtet war, notwendige Ausgestaltungen und Erweiterungen selbst durchzuführen. Die Entscheidung über deren Umfang war der Eisenbahn-Baudirektion überlassen, die dafür im einzelnen bestimmte Höchstbeträge festgesetzt hatte.

Der Anbotsteller hatte die Preise für die einzelnen Arbeitsgattungen selbst zu ermitteln und in das Preisverzeichnis sowie in das Verzeichnis der herzustellenden Arbeitsgattungen und Mengen einzusetzen. In diesem letzteren Verzeichnisse waren die von der Eisenbahn-Baudirektion ermittelten Mengen vorgedruckt. An Preisen waren einzusetzen:

- |  |  |
|--|--|
| 1. für den Meter Sohlstollen                                   | } abgestuft nach der kilometerischen Lage von der nächstliegenden Tunnelmündung. |
| 2. „ „ „ Firststollen  |  |
| 3. „ „ „ Tunnelröhre   |  |
| 4. „ die übrigen vorkommenden Arbeiten (Nischen, Kammern usw.) |  |

Die zweite Eisenbahnverbindung mit Triest setzt sich aus folgenden Teilstrecken zusammen:

1. die Tauernbahn Schwarzach—St. Veit—Spittal—Millstättersee, die im 8526 m langen Tauerntunnel in 1226 m Seehöhe ihren höchsten Punkt erreicht und das Gasteinertal erschließt;

2. die Karawankenbahn, bestehend aus den beiden nördlichen Zufahrtslinien: Villach—Rosenbach und Klagenfurt—Rosenbach sowie der gemeinsamen Südstrecke: Rosenbach—Assling mit dem 7976 m langen Karawankentunnel;

3. die Wocheinerbahn: Assling—Görz, die die Julischen Alpen mit dem 6339 m langen Wocheinertunnel durchbricht;

4. die Karstbahn: Görz—Triest, die von Görz (90 m Seehöhe) zunächst noch auf 30 m Seehöhe abfällt und dann auf das kahle Karstplateau (315 m) aufsteigen und sich in lang ausgedehnten Schleifenentwicklungen zum Meere senken muß und

5. die Pyhrnbahn Klaus—Steyrling—Stainach—Irdning, die das Tote Gebirge mit dem 4766 m langen Bosruckentunnel durchbricht.

### 9. Der Tauerntunnel.

Der Tauerntunnel (Bild 3 bis 6) durchbricht den Gebirgsstock der Hohen Tauern in 8526 m Länge. Der Richtstollen wurde abweichend von den übrigen großen Tunneln mit 3,0 m Breite angeordnet. Sein Vortrieb war zwar schon im Herbst 1901 begonnen worden, mußte dann aber stark gedrosselt werden, als wegen der großen Erschwernisse bei den südlichen Linien erst die Bewilligung von Nachtragskrediten abgewartet werden mußte.

Im Jahre 1905 wurden die Tunnelarbeiten am Tauern endlich vergeben und dann mit aller Tatkraft betrieben, immerhin war durch mehr als drei Jahre kein zielbewußter und regelrechter Baubetrieb im Gange.

Der Tunnel durchörtert auf der Nordseite vor Erreichung des Grundgebirges auf rund 350 m Länge den Schuttkegel des Höhkarbaches, auf der Südseite auf 550 m Länge zähen Glimmerschiefer.

Der Schwemmkegel des Höhkarbaches besteht aus grobem Blockwerk, dessen Hohlräume mit kleinem Bachgeschiebe und Geschwemmsel ausgefüllt sind. In diesem lockeren Gebirge lasteten oft einzelne gewaltige Blöcke einseitig auf der Zimmerung und übten stärksten Druck aus, das Gebirge war auch förmlich mit Wasser durchtränkt. Die Tunnelröhre mußte im Bereiche des Kegels im raschesten Anschlusse an die Stollenauffahrung sofort endgültig ausgebaut werden.

Wegen der Blockanhäufung war die übliche Art des Abbaues mit Aufbrüchen vom Sohlstollen in die Firste nicht ratsam, weshalb zwei Schächte vom Tag aus bis auf die Sohle niedergeteuft wurden und in der Höhe der Firste Firststollen getrieben wurden. Das außerordentlich druckhafte Gebirge verlangte einen dichten und sehr kräftigen Einbau sowie stärkste Mauerwerksformen mit verspannenden Sohlgewölben; der Abbau wurde in Ringen von 8,0 m Länge durchgeführt.

Am 13. September 1903 brachen bei einem Hochwasser im Höhkarbach größere Wassermassen in den Tunnel ein und flossen, einem reißen Wildbach gleichend, in raschem Lauf ab, im Tunnel sowie auf den Vorplätzen arge Verwüstungen und Verheerungen anrichtend. Die durch den Tunnel abfließenden Wassermassen wurden auf 4000 l/sec geschätzt; die Arbeiten mußten bis auf weiteres unterbrochen werden, um vorerst die Hochwasserschäden zu beheben.

Im Grundgebirge des Tauernstockes, der aus feinkörnigem, hartem Granitgneis besteht, wurde bei Handbohrung ein Tagesfortschritt von 0,6 bis 0,8 m erzielt. Als die Tunnelarbeiten im Jahre 1905 endgültig vergeben worden waren, hatten die mit Hand aufgefahrenen Strecken des Sohlstollens im Norden eine Länge von 4008 m, im Süden von 1127 m erreicht.

Zur Energieversorgung war im Norden eine Kraftanlage am Anlaufbach errichtet, die bei einem Nutzgefälle von 148 m und einer Wassermenge von 250 l/sec eine Leistung von 370 PS ergeben sollte, im Winter aber infolge Wassermangels nur einen Teil davon lieferte. Im Süden war eine solche Anlage am Mallnitzbache (nächst Lassach) errichtet, die bei 150 m Nutzgefälle und 1200 l/sec Wasser eine Leistung von 1800 PS versprach, die im Winter aber auf 900 PS sank.

Als die Einschränkung der Arbeiten aufgehoben wurde, mußten die bisherigen Installationen wesentlich verstärkt werden.

Auf der Nordseite wurden die inzwischen beim Bosrucktunnel frei gewordenen fünf Dampfmaschinensätze aufgestellt, von denen jeweilig drei im Betriebe standen und zwei als Reserve dienten. Auch sonst waren verschiedene frei gewordene Maschinen zum Tauern überstellt.

Auf der Südseite wurden im Werke Lassach zu den vorhandenen zwei Maschinensätzen (je eine Hochdruckfreistrahlturbine von 615 PS und ein Drehstromerzeuger von 512 kVA

Leistung) vorerst ein weiterer auf der Südseite des Karawankentunnels entbehrlich gewordener Maschinensatz aufgestellt. Später wurde wegen der häufigen Störungen und Reparaturen noch ein vierter Maschinensatz überstellt.

Wegen der außerordentlichen Härte des Gesteins kam für den maschinellen Stollenvortrieb nur die mit Druckwasser betriebene Drehbohrmaschine der Bauart Brandt in Betracht,



Bild 3. Wassereinbruch vor Ort des Sohlstollens der Nordseite des Tauerntunnels (Stollenmeter 5949).

deren Druckwasser vor Ort noch unter 80 atü Druck steht; mit diesen Maschinen ist ein mittlerer Tagesfortschritt von 6 bis 7 m erreicht worden, demnach das Zehnfache der Handbohrung. Diese Leistungssteigerung ließ denn auch die Maschinenbohrung im Firststollen ratsam scheinen; der Vollausbruch aber mußte weiter mit Handbohrung ausgeführt

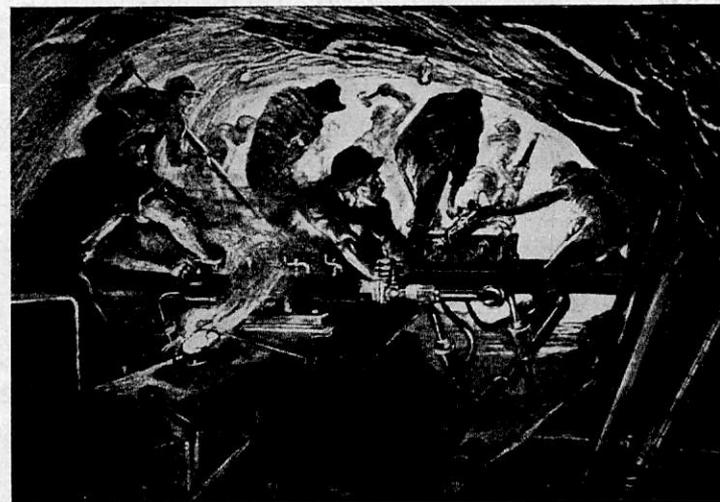


Bild 4. Maschinelle Bohrung im Sohlstollen des Tauerntunnels (Nordseite) mit Brandtschen Stoßbohrmaschinen (nach einer Radierung von Prof. Ludwig Michalek).

werden, da die Bohrmaschinen auf einer Spannsäule aufmontiert sind, die sich gegen die seitlichen Stollenwände stützt, ihre Verwendung setzt demnach einen stollenartig engen Arbeitsraum voraus.

Die Tunnelarbeiten gingen oft in längerer Erstreckung glatt und regelmäßig vonstatten, wenn auch wiederholte Wassereinbrüche den maschinellen Vortrieb vorübergehend zum Stocken brachten. Das Gestein veränderte indessen seine

Art und wurde zusehends härter als der muskovitische Gneis in biotithaltigen übergang. Dieses ohne erkennbare Schichtung verlaufende, porphyrtartig dichte Gebirge stand augenscheinlich unter hoher Spannung, denn als durch die Sprengungen das Gebirge auf der Stollenseite freigelegt war, wurden ohne das geringste vorherige Anzeichen plötzlich und nicht selten unter donnerartigem Krach große Gesteinsplatten von den Ulmen und der Firste weggeschleudert.

Diese Bergschläge erstreckten sich auf mehr als 3 km Länge und erforderten eine besonders kräftige Zimmerung der Firste. In dem sonst gewiß standfesten Gebirge mußte beim Vollaussbrüche oft ein Holzeinbau ausgeführt werden, wie er sonst nur im schweren Druckgebirge notwendig ist und selbst solche schwere Einbauten wurden mitunter zertrümmert oder in ihrem Zusammenhang erschüttert.

Am häufigsten zeigten sich diese unheimlichen Erscheinungen im dritten Stollenkilometer bei rund 1200 m hoher Überlagerung; sie nahmen im weiteren Verlaufe merkwürdiger Weise ab, obwohl das überlagernde Gebirge an Mächtigkeit bis 1500 m zunahm.

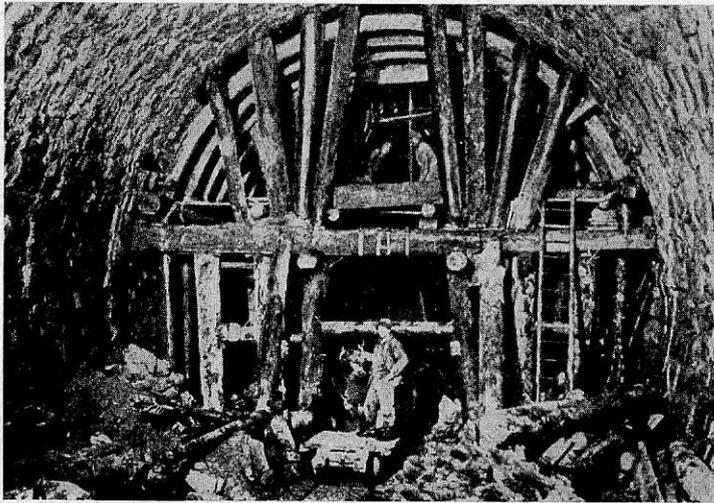


Bild 5. Gewölbemauerung auf der Nordseite des Tauerntunnels.

Die große Härte des Gesteins machte einen außerordentlichen Verschleiß an Bohrstahl und einen großen Verbrauch an Sprengmitteln notwendig, neben Dynamit wurde auch die noch wirksamere Sprenggelatine verwendet. In der Hauptbauzeit sind an einem Tage 1000 Maschinenbohrer in die Werkstätte zum Zurichten gekommen und bis zu 13000 Bohrerseiden in der Handschmiede zugerichtet worden; an Dynamit wurden 580000 kg, an Sprenggelatine 125000 kg verbraucht. Fast eine Million Kubikmeter Tunnelausbruchmassen wurden auf die Halden geschafft, 230000 m<sup>3</sup> Bruchsteine und 2350 Wagenladungen Zement verarbeitet.

Die Gesteinstemperatur hatte man mit 27 bis 28° C erwartet, in der Tat aber wurde sie mit 22,4° C gemessen; die geringen Temperaturen sind zweifellos auf die Einwirkung kalter Quellen zurückzuführen.

Für die Lüftung der Arbeitsstellen war im Bauvertrage das Einblasen einer Luftmenge von 350 m<sup>3</sup> in der Minute vorgeschrieben; danach waren auch die zugehörigen Maschinen und Einrichtungen bemessen. Diese Luftmenge war während der ganzen Bauzeit ausreichend. Für die Lüftung des Tunnels während des späteren Betriebes wurde an seinem Südausgange nächst Mallnitz eine Lüftungsanlage nach System Saccardo eingebaut, die gestattet, in den Tunnel 8000 bis 16000 m<sup>3</sup> Luft in der Minute einzupressen.

Neben dem Haupttunnel waren auf der Tauernbahn noch Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. 96. Jg. (1941), Heft 19/20.

16 kürzere eingleisige Tunnel von zusammen 6150 m Länge zu erstellen.

Um dem Weltkurort Bad Gastein ehestens den lang ersehnten Eisenbahnschluß zu verschaffen, wurden die Bauarbeiten auf der Nordrampe bis zum Bahnhof Bad Gastein emsig betrieben und daselbst am 8. September 1905 der öffentliche Verkehr aufgenommen; die restliche Strecke der Tauernbahn Bad Gastein—Spittal—Millstättersee wurde am 5. Juli 1909 dem Zugverkehr übergeben. Die Baukosten für den Tauerntunnel betragen 3782 Kronen/m = 3600 *R.M.*/m.

#### 10. Der Karawankentunnel.

Der Karawankentunnel (Bild 7 bis 10) durchbricht das gleichnamige Gebirge zwischen Rosenbach in Kärnten (626 m Seehöhe) und Birnbaum im Savetale (614 m Seehöhe) in einer Länge von 7976 m.

Das geologische Gutachten bezeichnete den Gebirgsstock als gefaltetes, durch Längs- und Querbrüche vielfach gestörtes Kettengebirge; es war das Antreffen von Kalken, Mergeln,

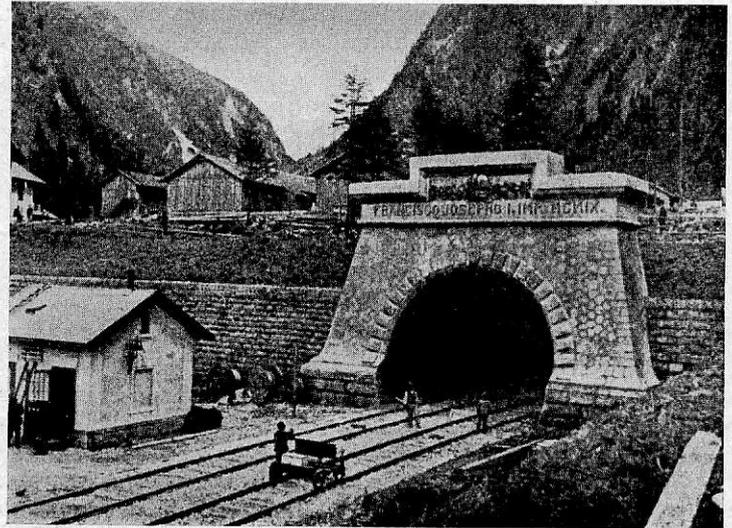


Bild 6. Nordportal des Tauerntunnels.

Schiefern und Dolomiten der Trias sowie von Tonen der Karbonformation vorausgesagt.

Auf Grund dieses Gutachtens erwartete man erhebliche Bauerschwiernisse, allein die tatsächlich auf der Südseite eingetretenen Schwierigkeiten haben darüber hinaus ein Maß erreicht, das diesen Tunnelbau nicht nur zu einer höchst mühsamen und sorgenvollen, sondern auch zu einer sehr gefahrvollen Arbeit gestaltete.

Er gehört zweifellos zu den allerschwierigsten Tunnelherstellungen, die jemals gemeistert worden sind.

Im Tunnelmeter 1090 vom Südportal aus wurden auf fast 2000 m Länge die gefürchteten Karbonschiefer angetroffen, die außerordentlich blähend und druckhaft waren; sie verdrückten oder zerbrachen die stärksten Einbauten, selbst die Stollensohle wurden stellenweise und oft ganz plötzlich in die Höhe getrieben. Zu alledem traten daselbst schlagende Wetter auf, die zeitweise förmlich beklemmend auf der gesamten Belegschaft lasteten und den Fortschritt stark beeinträchtigten.

Von Juni 1901 an war die Auffahrung des Sohlstollens auf beiden Seiten mit Handbohrung im Gange, gleichzeitig wurden die notwendigen Installationen für die Maschinenbohrung in Angriff genommen. Im April 1902 waren die Tunnelarbeiten endgültig vergeben worden, worauf nach kurzer Frist die Maschinenbohrung einsetzen konnte.

Im Bauvertrage war ein täglicher Fortschritt auf jeder

Seite und für jeden Kalendertag von 3,90 m bedungen, außerdem war die minutlich einzublasende Frischluftmenge mit 350 m<sup>3</sup> für jede Seite, demnach mit zusammen 700 m<sup>3</sup>/Minute vorgeschrieben.

Für die Kraftversorgung wurden auf beiden Seiten Wasserkraftanlagen errichtet, und zwar auf der Nordseite eine solche am Rosenbache mit 72 m Nutzgefälle, 600 bis 1000 l/sec Wassermenge und einer Leistung von 575 bis 960 PS sowie eine weitere im Bärengraben mit 78 m Gefälle, 110 bis 440 l/sec Wasser und einer Leistung von 75 bis 290 PS.

In der Rosenbachzentrale waren drei Hochdruckfreistrahlturbinen von je 300 PS mit je einem Drehstromgenerator für 270 kVA Leistung bei 5200 V Spannung aufgestellt; in der Zentrale am Bärengraben war eine Hochdruckturbinen für 290 PS Höchstleistung mit einem Drehstromgenerator für eine Leistungsaufnahme von 210 kVA bei 5000 V Spannung aufgestellt.

Diese zweite Zentrale sollte vornehmlich den elektrischen Betrieb der Steinbruchbahn decken, doch waren die beiden Zentralen so miteinander elektrisch gekuppelt, daß die Bärengrabenenergie in Störungsfällen ohne weiteres auch für den maschinellen Stollenvortrieb und für die Tunnellüftung herangezogen werden konnte.

Auf der Südseite war als Kraftquelle der Rotweinbach herangezogen, der bei einem Nutzgefälle von 26 m und einer Wassermenge von 2500 bis 3200 l/sec eine wirkliche Kraftleistung von 625 bis 800 PS erwarten ließ. Im Krafthause waren drei Spiralturbinen mit liegender Welle von je 400 PS bei 750 Umdrehungen je Minute eingebaut, die mit je einem Drehstromgenerator für 320 kW bei 5000 V Spannung gekuppelt waren. Vom Krafthause wurde der elektrische Strom mit einer 95 km langen Hochspannungsleitung zu den Maschinen am Südausgange des Tunnels geleitet.

Auf der Nordseite wurden elektrische Bohrmaschinen der Bauart Siemens & Halske in Betrieb gesetzt, wobei vier Maschinen auf einem Bohrwagen mit waagerechter Spannsäule aufmontiert waren. In den Kalk- und Dolomitstrecken wurden dabei Tagesleistungen bis 6 m erzielt. Das Gebirge war nicht sehr standfest wenn auch ohne Druck, der Stollen mußte daher durchaus gezimmert werden, wobei die Gespärre in etwa 1,50 m Entfernung angeordnet waren, in gebrächen Zonen wurden sie entsprechend enger gestellt.

In langen Strecken entwickelte sich dabei ein fast regelmäßig verlaufender Baubetrieb, der des öfteren allerdings durch größere Wassereinträge empfindlich gestört wurde. Die Maschinenbohrung mußte dann unterbrochen, die betreffenden Stellen mit Handbohrung bewältigt werden, bis die Maschinen wieder eingesetzt werden konnten. Der Wasserzudrang war namentlich von dem Zeitpunkte an besonders lästig und störend, als der planmäßige Gefällsbruch überschritten war und der Stollen von da ab im Gefälle getrieben werden mußte. Bei einer dreitägigen Betriebsunterbrechung der Pumpenanlage kam dieses Stollenstück zum Ersäufen und es mußte die Pumpenanlage auf 250 l/sec Leistung verstärkt werden, um die Strecke wieder frei zu bekommen und den Stollenvortrieb fortsetzen zu können. Die Pumpen mußten so lange in voller Tätigkeit erhalten und die Wasser so lange auf die Nordseite gepumpt werden, bis auf der Südseite die Tunnelröhre in der Karbonstrecke samt dem Ablaufkanal vollendet waren. Um die Wasser von der Karbonzone sicher fernzuhalten, wurde der Sohlstollen nicht vollends durchgeschlagen, sondern vorerst eine rund 10 m starke Felswand belassen und sogar durch eine wasserdichte Betonwand vollends abgedichtet.

Firststollen und Vollausruch wurden auf der Nordseite durchaus mit Handbohrung ausgearbeitet und der Abbau des Vollprofils nach der „neuen österreichischen Bauweise“ mit

8 m Ringlänge durchgeführt; die Profilmauerung wurde in Bruchstein mit Zementmörtel erstellt.

Ganz anders war die Lage auf der Südseite, wo die Arbeiten von einer Kette stärkster Hemmnisse begleitet waren.

Nach der endgültigen Bauvergebung wurde der Stollenvortrieb anfangs gleichfalls mit elektrischen Bohrmaschinen

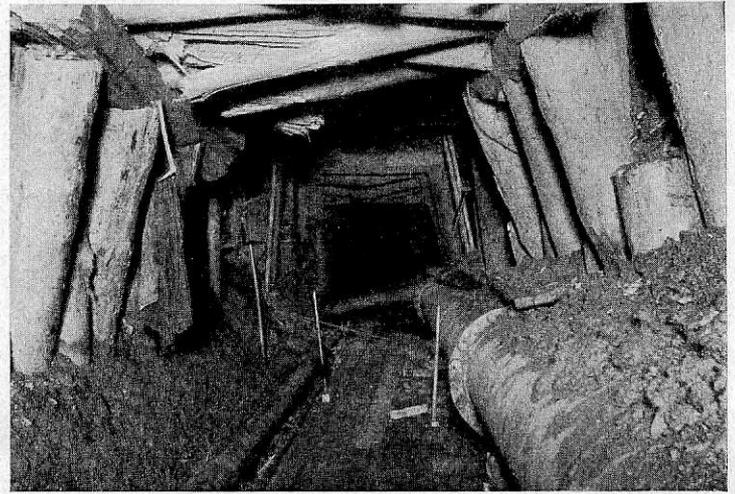


Bild 7. Karawankentunnel, Südseite. Verdrückter Sohlstollen.

aufgenommen, wobei verschiedene Bauarten ausprobiert wurden. Vom Eintritte in die Karbonzone an wurden jedoch nur noch Druckluft-Bohrmaschinen zugelassen, die die Zündgefahr

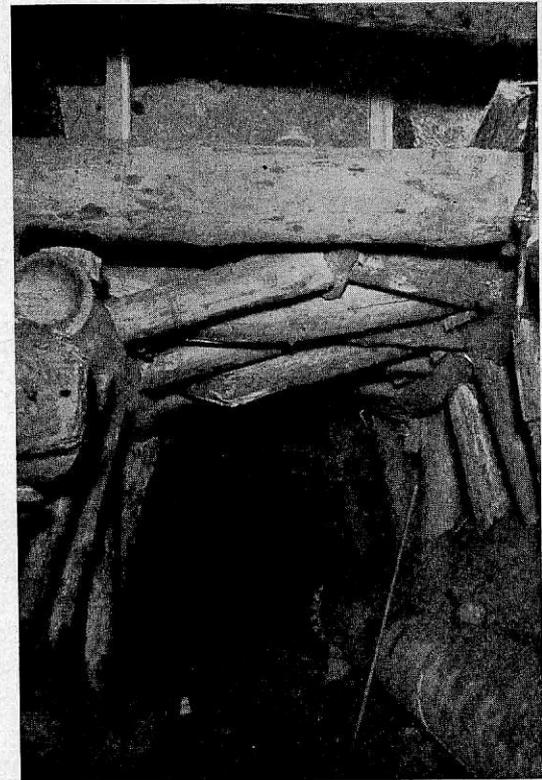


Bild 8. Karawankentunnel, Südseite. Verdrückte Stollenzimmerung.

durch elektrische Funken ausschlossen und einen gleich günstigen Fortschritt erwarten ließen. Durch die ausgestoßene Druckluft verbessern sie, wenn auch nur im geringen Maße, die Lüftung des Stollens.

Der Reihe nach wurden Maschinen der Bauarten Schwarz, Ingersoll und Mayer herangezogen und Leistungen bis 4,50 m

erreicht, wobei die häufigen Unterbrechungen nicht eingerechnet sind. Wo das Gebirge sehr gebräuch war, mußte mit Hand weitergearbeitet werden, da der Holzeinbau daselbst stets aufs rascheste eingebracht werden mußte.

Die Zimmerung war wegen des hohen Gebirgsdruckes von Anfang an sehr kräftig bemessen, dennoch erwies sie sich in langer Erstreckung als zu schwach. Starke Kappen wurden gebrochen, viele Ständer aufgebürstet und oft die ganzen Gevierte verdreht; zur Verstärkung wurden Zwischengespärre eingebracht und die Kappen der Gevierte durch lange Unterzüge unterfangen, diese selbst aber wieder durch besondere Ständer unterstützt. Schließlich war so viel Holz eingebaut, daß die Zimmerung förmlich Mann an Mann stand und alle übrigen Arbeiten sehr erschwert waren. Versuchsweise waren an drei Stellen von 14, 20 und 25 m Länge Stollenrahmen aus Eisen in 0,5 m Entfernung eingebaut und die Zwischenräume mit Stampfbeton ausgefüllt worden. Allein die eisernen Rahmen

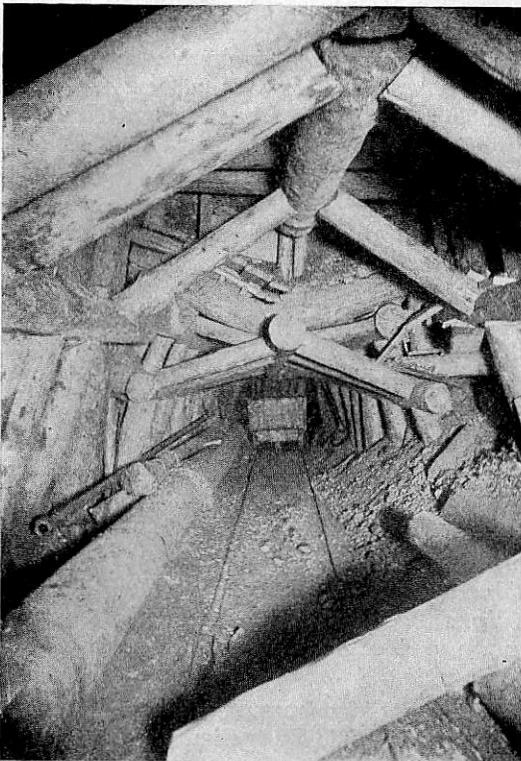


Bild 9. Karawankentunnel, Südseite. Sohlstollen bei m 1540.

wurden von dem ungeheuren Gebirgsdruck bald so stark verbogen, daß die Förderwagen die entstandenen Engstellen nicht mehr durchfahren konnten und die Eisenrahmen unter vielen Mühen und Anstrengungen wieder entfernt werden mußten.

An vielen Stellen waren entweder einzelne Hölzer zerbrochen oder auch ganze Gevierte zerstört, die durch neue, gesunde Hölzer ersetzt werden mußten; an einzelnen, besonders druckhaften Stellen war der Holzeinbau bis zu siebenmal ausgewechselt worden. Da bei solchen Auswechslungen Nachsenkungen des Gebirges nicht vermieden werden können, kommt es dabei stets zu neuen Auflockerungen im Umkreis des Ausbruchs sowie zur Steigerung des Gebirgsdruckes. Der Firststollen war streckenweise bis auf 0,70 m Höhe zusammengepreßt worden, so daß man daselbst nur kriechend durchkommen konnte; eine abermalige Auffirstung wollte man aber vermeiden, um das Gebirge nicht noch weiter aufzulockern.

An anderen Stellen war im Sohlstollen die Sohle aufgetrieben worden, so daß das Fördergleis unbenutzbar geworden

war; es mußte in ständiger Nacharbeit die Sohle gesenkt und damit das Gleis wieder befahrbar gemacht werden.

Die vielen Störungen und Unterbrechungen der Arbeiten verursachten arge Verzögerungen, weshalb man sich entschloß, auf der Südseite auch den Firststollen mit maschineller Bohrung vorzutreiben, wobei die gleichen Maschinen wie im Sohlstollen herangezogen wurden.

In den schwierigen und druckhaften Strecken war es nicht ratsam, die Ausweichleise der Förderbahn wie üblich in seitlichen Erweiterungen des Sohlstollens unterzubringen, man verlegte die Ausweichen in die Stollenfirste. Der Sohlstollen wurde zu diesem Zwecke in der erforderlichen Länge so hoch aufgefirstet, daß die leeren Förderwagen mit Flaschenzügen hochgehoben und die beladenen Wagen darunter vorgeschoben werden konnten.

Die Schwierigkeiten, die schon den Vortrieb des Sohlstollens so außerordentlich verzögerten, verstärkten sich bei den Ausweitungsarbeiten und beim Vollausruche in unheimlichem Maße, so daß diese Arbeiten um so langsamer und schleppender vor sich gingen. Kronbalken von 60 bis 70 cm mittlerer Stärke zerbrachen zuweilen; obwohl von Haus aus

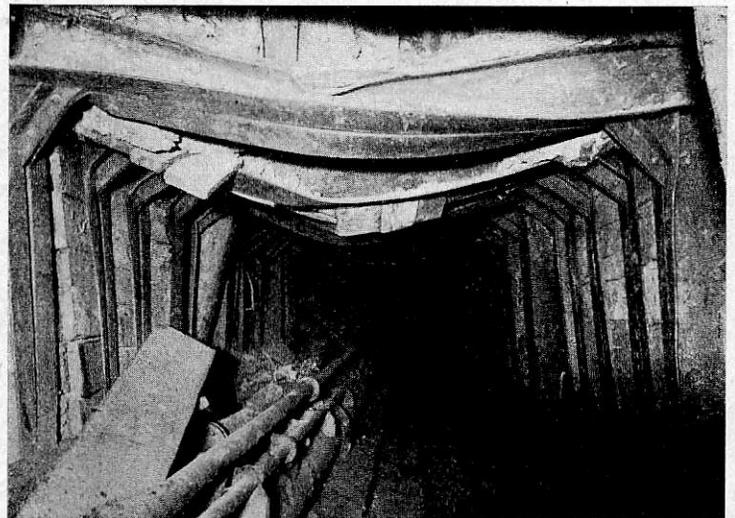


Bild 10. Karawankentunnel, Südseite. Verdrückte eiserne Stollenrahmen.

starke Überhöhungen angenommen worden waren, kamen Firstsenkungen bis  $1\frac{1}{2}$  m vor, so daß in mühsamer Auffirstung erst neue Kronbalken eingezogen werden mußten, um die Firstgewölbe in der planmäßigen Stärke ausführen zu können.

In der Karbonzone waren gleich zu Anfang entzündliche Methangase beobachtet worden, die sich meist beim Abschießen der Minen, aber auch an Tunnellampen entzündet hatten und mit hellblauer Farbe abbrannten. Obwohl von da an mit erhöhter Vorsicht gearbeitet wurde, gab es des öfteren kleine Unfälle und Verbrennungen. Als sich das Auftreten solcher Gase vermehrte, zog die Baudirektion zu Anfang des Jahres 1903 einen anerkannten Fachmann in Schlagwettern zu Rate und es wurden die weiteren Arbeiten in der Karbonzone nach den Weisungen dieses Sachverständigen vorgenommen.

Da die leichten Gase in die Firste aufstiegen, wurde die Herstellung von Aufbrüchen vom Sohlstollen in die Firste untersagt, so daß der Firststollen nur mehr einseitig, von der schon begonnenen Stelle her vorgetrieben werden durfte. Diese Anordnung bedeutete eine empfindliche Beeinträchtigung des Bauvorganges und hatte ein starkes Zurückbleiben der Tunnelarbeiten zur Folge, wengleich der Firststollen nun maschinell betrieben wurde.

Des weiteren wurden zwei Grubenaufsichtsbeamte als Wetterkontrolleure eingestellt. Sie hatten die Aufgabe, vor allem nach dem Abschießen der Minen und nach jedem Schichtwechsel die Wetterverhältnisse festzustellen und dafür zu sorgen, daß der Gasgehalt der Luft durch kräftiges Einblasen von Frischluft jeweilig bis zur Unschädlichkeit verdünnt werde. Die Belegschaft durfte nach dem Abschießen der Minen die Weiterarbeit erst dann wieder aufnehmen, wenn die Wetterkontrolleure die Erlaubnis hierzu ausdrücklich erteilt hatten.

Diese Sicherheitsmaßnahmen bewährten sich recht gut und schon glaubte man, die größte Gefahr überwunden, als am 21. November 1904 eine Explosion schlagender Wetter stattfand, bei der eine 13 Mann starke Firststollenpartie samt den beiden Wetterkontrolleuren den Tod fand. Anscheinend war eine Weisung der Aufsichtsbeamten falsch verstanden worden. Die Opfer ihrer Pflichttreue wurden bald geborgen und feierlich bestattet.

Das Ereignis war um so betrüblicher, als die Karbonzone, wie sich bald darnach ergab, bis auf 70 m durchfahren war und in etwa drei Wochen die Triaskalke hätten erreicht sein können. Durch die Gewalt der Gasexplosion waren arge Zerstörungen im Tunnel eingetreten, die dringliche Wiederinstandsetzung erforderten und daher eine längere Unterbrechung der Vortriebsarbeiten zur Folge hatten.

Die außerordentlichen Bauerschwernisse brachten den beteiligten Ingenieuren sorgenvolle Zeiten. Der Gebirgsdruck war beim Vollausschub in einem Maße angewachsen, daß er kaum mehr zu bewältigen war und alle Vorkehrungen und Gegenmaßnahmen schienen den übermächtigen Naturkräften gegenüber völlig unzulänglich. Die Eisenbahn-Baudirektion befaßte sich schließlich mit dem Gedanken, den Tunnel im Bereiche der ärgsten Druckstrecke in zwei parallel verlaufende eingleisige Tunnel aufzulösen, da das eingleisige Profil immerhin leichter herzustellen ist als das breite zweigleisige.

Die zur Begutachtung dieses Planes berufenen Sachverständigen sprachen sich hauptsächlich aus verkehrstechnischen Gründen sowie wegen der schlechten Lüftung des abzweigenden Tunnels dagegen aus und befürworteten die Fortsetzung des zweigleisigen Tunnels. Die Fachmänner rieten dabei zum Einbau eines weiteren, fünften Gespärres in den 8 m langen Ringen, die Verwendung von Hartholz für die Brust- und die Mittelschwellen sowie die Ausführung des Tunnelmauerwerks in Quadern anstatt in Bruchsteinen.

Da im Umkreise des Tunnels ein Stein von entsprechender Güte nicht zu finden war, mußten die Quader — rund 75000 m<sup>3</sup> — z. T. aus weitesten Entfernungen herbeigeschafft werden, so selbst aus Mauthausen a. d. Donau wie auch aus Muggia bei Triest. In einzelnen Ringen waren Klinkerziegel vermauert worden; sie zerbrachen unter dem gewaltigen Gebirgsdruck recht bald und mußten durch Quader ersetzt werden. Das Mauerwerk wurde selbstverständlich besonders kräftig bemessen und die Firstgewölbe mit 1,0 bis 1,5 m, die Widerlager mit 1,5 bis 2,0 m Stärke ausgeführt.

Trotz der außergewöhnlichen Mauerstärken und der Verwendung bester Steinsorten traten am fertigen Mauerwerke hin und wieder Zerstörungen auf und es mußten 480 m Firstgewölbe ganz sowie 134 m z. T. abgetragen und erneuert werden.

Als auf der Südseite wider Erwarten frühzeitig die Triskalke angefahren wurden, ging ein Aufatmen durch die ganze Belegschaft; den leitenden Ingenieuren war die Botschaft Befreiung von schwerer Sorgenlast. Die Karbonstrecke war in der Tat 1920 m lang, während man nach dem geologischen Gutachten bis auf 3000 m rechnen mußte.

Die Kosten betragen

für die Nordseite	Kronen	3218 = RM	2960
„ „ Südseite	„	6868 = „	6320
„ den ganzen Tunnel	„	4609 = „	4240

Die Gesteinstemperaturen zeigten infolge der Störungen im Aufbau des Gebirges, des häufigen Schichtwechsels und der vielen Quellen und Wassereinträge kein gesetzmäßiges Verhalten; die höchste Gesteinstemperatur wurde bei Stollenmeter 2600 vom Nordportal mit 17,6° C, beobachtet.

Nach dem Stollendurchschlage zwischen Sohlstollen Nord und Firststollen Süd am 17. Mai 1905 waren noch 16 Monate schwerer und gefahrvoller Arbeit notwendig, um die Tunnelröhre zu vollenden; diese lange Frist spricht deutlich für die außerordentlichen Schwierigkeiten, die dabei zu überwinden waren.

Die Kraftanlagen auf der Nordseite wurden bei Bauabschluß vorerst nicht abgetragen, sondern nach der Betriebsaufnahme belassen, wobei mit Hilfe zweier Kompressoren und einer besonderen Rohrleitung Frischluft in die Nischen und Kammern der Karbonzone eingepreßt wurden, damit die mit Instandhaltungsarbeiten betrauten Mannschaften daselbst gute Luft vorfinden konnten.

### 11. Der Wocheinertunnel.

Der Wocheinertunnel durchbricht die Julischen Alpen zwischen Wocheiner Feistritz (521 m Seehöhe) und Podbrdo (536 m Seehöhe) in 6339 m Länge, Obere Trias, Jura und Kreide durchörternd.

Nach dem geologischen Gutachten hielt man die Gebirgsverhältnisse für ungünstiger als bei den übrigen großen Durchbrüchen, so daß vorsichtshalber noch in der Gesetzesvorlage an das Parlament die Herstellung zweier eingleisiger Paralleltunnel vorbehalten war.

Um über das Gebirge baldigst Klarheit zu bekommen, wurde — noch vor der parlamentarischen Behandlung des Gesetzes — im Spätherbst 1900 in der Tunnelachse Probestollen mit 2,50 × 2,50 m Fläche im Handakkord angeschlagen. Zur Zeit der endgültigen Vergebung der Tunnelarbeiten im Jahre 1901 hatten diese Stollen im Norden 443 m, auf der Südseite 295 m Länge erreicht; von den Eingangsstrecken abgesehen, war das Gebirge dicht und fest gelagert sowie trocken und ohne Druck.

Die Eisenbahn-Baudirektion entschloß sich unter dem Eindruck dieser Gebirgsaufschlüsse dazu, nicht zwei eingleisige Paralleltunnel, sondern einen einheitlichen zweigleisigen Tunnel auszuführen.

Am nördlichen Tunnelmund war das Gelände geräumig und für eine weitgreifende Baustelleneinrichtung ausreichend, im grabenartig engen Baçatale am Südausgange aber ganz unzureichend. Es wurde daher das Bauprogramm auf der Grundlage erstellt, die Arbeiten im Norden möglichst umfangreich und tatkräftig zu betreiben, auf der Südseite aber zurückhaltend durchzuführen. Demgemäß wurde für die Nordseite Maschinenbohrung, für die Südseite aber ausschließlich Handbohrung in Aussicht genommen, die Installationen am Südausgang wurden in recht bescheidenen Grenzen gehalten.

Im Bauvertrag wurde eine Tagesleistung von 490 cm zusammen für beide Seiten verlangt, die Vollendung der Tunnelröhre sollte in weiteren sieben Monaten folgen; die einzublasende Luftmenge war für die Nordseite mit 350 m<sup>3</sup>, für die Südseite mit 100 m<sup>3</sup> je Minute festgesetzt.

In den Kalkmergeln der Nordseite wurden bei Handbohrung bis 2,4 m Stollen im Tag erbohrt und auf der Südseite fast gleich günstige Leistungen erzielt. Die Bauunternehmung vermeinte daher, daß sie den ganzen Tunnel ausschließlich mit Handbohrung aufschließen und von der Maschinenbohrung ganz absehen könne. Da aber bei seiner großen Länge Überraschungen nicht ausgeschlossen waren, bestand die Baudirektion auf der vertragsmäßigen maschinellen Bohrung auf der Nordseite. Es wurde daher dort eine Wasser-

kraftanlage in Angriff genommen, vorläufig aber wurden vier elektrische Bohrmaschinen der Bauart Siemens & Halske mit Hilfe einer Lokomobile von 45 PS in Betrieb gesetzt und Tagesleistungen bis 5,4 m erreicht.

Zur Erzeugung des elektrischen Stromes wurde eine 93 m hohe Gefällstufe des Feistritzbaches herangezogen, die bei 500 bis 800 l/sec Wasserführung eine Leistung von 450 bis 740 PS erwarten ließ.

Im Maschinenhause war eine Hochdruckturbine von 450 PS Leistung aufgestellt, die die Maschinenbohrung, die Beleuchtung und die Stromabgabe auf die Südseite zu versorgen hatte; für die Tunnellüftung waren weiter zwei Hochdruckturbinen von je 90 PS bereitgestellt.

Zur Stromversorgung für die Maschinenbohrung diente ein Drehstromgenerator von 34 kW bei 2000 V Spannung; vom Generator führte eine Freileitung bis zum Tunneleingang und von dort in die Tunnelröhre ein Hochspannungskabel bis zum Transformator 2000/250 V, der in einer möglichst weit vorn liegenden Tunnelnische aufgestellt war und nach Bedarf weiter gegen das Stollenort übertragen wurde.

Über das Gebirge führte eine Hochspannungsleitung von 6000 V zum Südportal. Dort war übrigens auch eine selbständige kleine Wasserkraft am Katzbach für die Lüftung errichtet gewesen, die aber mit 26 bis 60 PS Leistung unzulänglich war.

Auf der Nordseite kam der Stollen nach Durchquerung von diluvialen Ablagerungen am Eingang in tertiäre Tonmergel, die meist standfest und auch trocken waren, bei längerem Ausgesetztsein an der Luft aber rasch verwitterten; es mußte daher der Sohlstollen durchgehends dicht verbaut werden, während der Firststollen nur einen leichten Firstverzug erhielt. Die anschließenden Strecken im Dachsteinkalk waren überreichlich wasserführend; nach längeren Niederschlägen und besonders in Zeiten der Schneeschmelze schossen aus den Spalten und Klüften des Gebirges mächtige Wassermassen in den Stollen, so daß vor Ort nicht selten ein ganzer See gebildet war, während die Wasser in ungestümer Gewalt einen Abfluß zu erzwingen suchten. Stundenlang mußte die Belegschaft, im kalten Wasser von etwa 6 bis 7° C stehend, den Ablauf regeln und die Hindernisse wegräumen, um die Arbeitsstellen halbwegs wasserfrei zu bekommen.

Da die Wasserabzugskanäle immer wieder verlegt waren, mußte an manchen Stellen das Fördergleis gehoben werden, um es wasserfrei halten zu können, was eine Auffristung des Stollens notwendig machte. Die Wassermengen wechselten ungemein rasch; zuweilen schollen sie zu einem brausenden Bach an, gingen aber oft rasch wieder zurück, von 1500 l/sec auf 100 l/sec in wenigen Stunden. Der Wasserandrang war bei der Stollenauffahrung um so lästiger, als er mit dem Vortriebe wanderte. Das Gebirge glich zu manchen Zeiten einem Schwamme.

Überraschenderweise traten in einer rund 70 m langen Strecke, in einem klingend harten Gestein schon beim Sohlstollenvortriebe Bergschläge auf; im Firststollen sowie im Vollausbruch wiederholte sich das unheimliche Walten unbekannter Naturkräfte in erhöhtem Maße. Starke Kronbalken zerbrachen unter der Wucht der abgeschleuderten Steintrümmer und das Gefüge des in Ausführung befindlichen Mauerwerkes wurde jäh zerrüttet. An einer Stelle wurde das Fördergleis urplötzlich um rund 20 cm in die Höhe gerissen und verworfen. Das Wölbmauerwerk wurde in diesem Tunnelabschnitt besonders verstärkt und damit dem Spuk ein Ende bereitet.

Die südliche Tunnelhälfte war im Gegensatz zur Nordseite verhältnismäßig wasserarm; die Tagesleistung wechselte mit den Gesteinsarten und es wurden bei ausschließlicher Handbohrung 2,50 bis 4,00 m Stollen erbohrt. Dieser günstige

Fortschritt ließ eine Verstärkung der zur Bewetterung erforderlichen Einrichtungen nicht umgehen. Es wurde zu diesem Zweck vom Nordportal über das Gebirge eine 9 km lange Fernleitung bis zum südlichen Tunneleingang errichtet, die die zur Bewetterung bestimmten Motoren bediente.

Das Gebirge war weit günstiger als nach der geologischen Voraussage erwartet werden konnte; es war denn auch zeitweise ein regelmäßiger und gleichmäßiger Baubetrieb mit bestem Erfolg im Gange. Im standfesten Gebirge wurden Doppelringe von 16 m Länge ausgeführt, während im Durchschnitt die Ringlänge 8,50 m betrug.

Die Erstellung einer zweigleisigen Tunnelröhre war durch den Erfolg vollkommen gerechtfertigt, zumal auch die Herstellungskosten niedriger waren als jene für zwei eingleisige Paralleltunnel.

Die Förderung wurde in den Stollenstrecken der Nordseite bei 2,5<sup>0</sup>/<sub>00</sub> Steigung mit Schleppern (Menschenkraft) meist mazedonischer Herkunft durchgeführt, auf der Südseite mit Pferden. In den fertigen Tunnelstrecken verkehrten nördwärts täglich je sechs Ein- und Ausfahrtzüge mit Dampflokomotiven; in der südlichen Tunnelhälfte aber mußten wegen einer Lehnenrutschung am Tunnelausgang bis zum Schlusse Pferde zur Förderung verwendet werden.

Im engen Baçagraben war es wegen der örtlichen Verhältnisse nicht zu vermeiden, daß der Steilhang recht schief und ungünstig angeschnitten wurde und er geriet auch beim Vortrieb des Firststollens bald ins Gleiten. Es entstand die Gefahr, daß beim plötzlichen Abgang größerer Erdmassen der Tunnelausgang verschüttet und die auf dieser Seite arbeitende Belegschaft eingeschlossen werden könnte.

Um einen sicheren Eingang zu schaffen, war westlich vom Portale ein Seitenstollen von 105 m Länge erstellt worden, der außerhalb der Gefahrzone lag und der lange Zeit den einzigen Zugang zum Stollen bildete. Am Portale wurde vorerst Sicherungsarbeiten in geringem Umfange ausgeführt, zur endgültigen Sanierung der Rutschung später ein Mauerwerkskörper von 6500 m<sup>3</sup> in einzelnen getrennten Zonen und Abschnitten aufgeführt und damit der Tunneleingang dauernd gesichert.

Der Verlauf der Gesteinstemperaturen ließ kein Gesetz erkennen; auf der Südseite nahm z. B. vom Stollenmeter 1600 an gegen Norden von 13° auf 9,8° C ab, obwohl daselbst die Überlagerung von 400 m auf 1000 m anstieg.

Der Sohlstollen wurde am 20. Mai 1904 — acht Monate vor dem vertragmäßigen Termine — durchgeschlagen; mit Rücksicht auf die lange Handbohrung ein glänzendes Ergebnis. Der erste Förderzug konnte den Tunnel am 11. Mai 1905 durchfahren; die Bauzeit hatte 40½ Monate betragen, so daß sich eine Monatsleistung von 156 m Tunnelröhre ergibt. Der öffentliche Verkehr wurde in der Gesamtstrecke von Villach und Klagenfurt bis Triest am 19. Juli 1906 aufgenommen. Die Gesamtkosten des Tunnels beliefen sich auf 3093 Kronen/m = 2846 R.M./m.

Nach der Betriebsaufnahme war die Wasserführung des Tunnels stark gesteigert; im Jahre 1908 wurde die abfließende Wassermenge am Nordmunde mit 1900 l/sec gemessen. Da der Entwässerungskanal für diese Wassermenge nicht ausreicht, mußte er wesentlich vergrößert werden.

## 12. Der Bosrucktunnel.

Der eingleisige Bosrucktunnel durchbricht den Zug der nördlichen Kalkalpen zwischen Spital am Pyhrn und Ardnig im Ennstale und ist 4766 m lang.

Das geologische Gutachten bezeichnete das Gebirge als sehr gestört und verworren und sagte namentlich für die nördliche Tunnelhälfte das Auftreten von Haselgebirge in großer Ausdehnung voraus. Dieses erfahrungsgemäß mit Gips- und

Anhydrit- sowie Steinsalzeinlagerungen durchsetzte Gebirge ließ große Bauerschwersnisse erwarten.

Der tatsächliche Gebirgsaufschluß brachte als erste Überraschung das Vorkommen des gefürchteten Haselgebirges auch auf der Südseite sowie als zweite das Auftreten entzündlicher Methangase in einem, in diesem Gebiet bis dahin nicht bekannten Maße.

Der Bau des Tunnels war dann auch ein steter und aufreibender Kampf mit den entfesselten und unheimlichen Naturkräften.

Im Juli 1901 waren am Bosruck auf beiden Seiten Richtstollen im Kleinakkord bei Handbohrung begonnen worden, sie hatten bis zum Zeitpunkt der endgültigen Vergebung der Tunnelarbeiten nordwärts eine Länge von 719 m, südwärts von 696 m erreicht.

Der Bauvertrag schrieb im Norden die maschinelle Stollenbohrung mit einer Tagesleistung von 280 cm, im Süden die Handbohrung mit 140 cm Fortschritt vor; die Vollendung der Tunnelröhre sollte in den anschließenden sieben Monaten nachfolgen. Die einzublasende Frischluft wurde im Norden mit 150 m<sup>3</sup>, im Süden mit 75 m<sup>3</sup> je Minute festgesetzt.

Auf der Nordseite wurde eine Wasserkraftanlage am „Schreienden Bache“ unter Ausnutzung eines Rohgefälles von 211 m errichtet, so daß bei 150 l/sec eine Turbinenleistung von 300 PS zu erwarten war. Auf der Südseite war eine zuverlässige Wasserkraft nicht vorhanden, weshalb dort ausschließlich Handbohrung in Aussicht genommen wurde. Ende September 1903 war die Wasserkraftanlage am Schreienden Bache vollendet, es wurden die Betriebsmaschinen für die Bewetterung, Bohrung und den Werkstättenbetrieb auf beiden Seiten aufgestellt und vom Norden eine 9 km lange Fernleitung über das Gebirge zum Südportal errichtet.

Auf der Nordseite wurden vier Druckluftbohrmaschinen der Bauart Gatti in Betrieb gesetzt und in den Triaskalken sowie im Dolomit ungeachtet eines zeitweise regenartigen Wasserandranges Fortschritte bis 6,50 m erzielt. Das Gebirge bestand in außerordentlich wechselnder Aufeinanderfolge aus Kreideschichten, Mergelschiefern, gipsführendem Haselgebirge, Kalken und Dolomiten. Im Haselgebirge und selbst auch in den anschließenden Dolomitrecken wurden brennbare Gase festgestellt, während in den von Spalten und Rissen durchsetzten Kalkstrecken oft armdicke Wasserstrahlen herausprangen und die Arbeiten sehr behinderten.

Auf der Südseite waren nach Durchfahrung der anfänglichen Schuttstrecken Rauchwacken und Kalke angetroffen, in denen gute Erfolge erhofft wurden. Die Arbeiten erfuhren indessen bald eine jähe Unterbrechung.

Am 14. August 1902 brachen bei Stollenmeter 852 vor Ort schätzungsweise 800 l/sec Wasser in den Stollen, so daß die Belegschaft flüchten mußte; der Stollen war auf etwa 80 m Länge mit Schutt und Schlamm erfüllt. Getöse von niederbrechenden Steinen ließ befürchten, daß ein größerer Verbruch eingetreten war. Versuche, den Sohlstollen wieder frei zu bekommen, mißlangen infolge des breiartigen Schlammes. Es wurde daher vom Firststollen aus linker Hand in festem Felsen ein Entwässerungsstollen angeschlagen, der schließlich in die wasserführende Gesteinsschicht eindrang und dem Wasser, das in armdicken Strahlen selbst aus den Bohrlöchern drang, einen ersten Abfluß verschaffte. Ein rechts der Achse vortriebener zweiter Entwässerungsstollen wurde nach 17 m Länge eingestellt, als er in geräuchtes Gebirge eindrang, zur Entwässerung trug er indessen nicht bei. Schließlich wurde der Firststollen selbst weiter betrieben und durch ihn dem Wasser gleichfalls ein Ausweg eröffnet, sehr wirksam erwies sich noch ein kurzer Querschlag vom Ende des linken Entwässerungsstollens gegen die Tunnelachse.

Die angestauten Wässer konnten nun allmählich wieder abfließen und als man endlich bis vor Ort vordringen konnte, zeigte sich eine domartige Höhlung von 25 m Höhe und über 10 m Breite, in der noch immer kleinere Abbrüche zu beobachten waren. Das Betreten der Höhle war daher nicht ganz geheuer gewesen, trotzdem mußte sie regelrecht verzimmert und gesichert werden. Es wurden in der Höhe fünf gezimmerte Kränze eingebracht und durch Längs- und Querschwellen gegeneinander fest abgestützt.

Am Grunde des Verbruches wurden sodann einige besonders starre Tunnelringe aufgemauert und sodann der Hohlraum des Verbruches samt allen Hilfsstollen trocken ausgeschlichtet; zur besseren Druckverteilung wurde unter jedem Kranze der Zimmerung eine 60 cm starke Betonschicht eingebracht; die Ausfüllung der Hohlräume erforderte an 600 m<sup>3</sup> Steinschlichtung.

Trotz aller Anstrengungen dauerten diese Sicherungsmaßnahmen geraume Zeit und der Vortrieb des Sohlstollens konnte erst am 21. März 1903 wieder aufgenommen werden, nachdem sieben Monate verlorengegangen waren.

Um diesen Zeitverlust möglichst einzubringen, wurde auch auf der Südseite die Maschinenbohrung eingeführt und vier Bohrmaschinen der Bauart Ingersoll in Betrieb gesetzt. Vorsorglich wurde neben der über das Gebirge führenden Fernleitung eine Dampfreserve für etwaige Störungen bereitgestellt. Auf der Südseite waren des öfteren entzündliche Gase aufgetreten.

Auf der Nordseite trat indessen eine recht peinliche Überraschung ein. Der Wasserandrang in den Stollen wurde auffallend stärker, während gleichzeitig die Wasserführung im „Schreienden Bache“ immer mehr absank. Augenscheinlich hatten die Bachwässer den Weg in den Tunnel gefunden; während sie also die Vortriebsarbeiten in steigendem Maße erschwerten, versiegte die Betriebskraft der einzigen zur Verfügung stehenden Wasserkraftanlage.

Man versuchte zuerst, den Stollen mit Hand weiter zu bohren, allein da mit der ausbleibenden Betriebskraft die Bewetterung der Arbeitsstellen unzulänglich wurde, mußte auch auf der Nordseite zum Dampfbetriebe übergegangen werden. Der Stollenvortrieb aber blieb wegen der Gefahr schlagender Wetter inzwischen eingestellt.

Um die Zeitversäumnisse einzubringen, nahm man eine Verstärkung der Belegschaft in Aussicht, was aber die Erweiterung der Anlagen für die Belüftung des Tunnels zur Voraussetzung hatte, die dann auch ungesäumt in Angriff genommen wurde.

Die beiderseitigen Stollenorte trennte nur noch eine 122 m dicke Gebirgsschicht, als am 17. Mai 1905 auf der Südseite im dolomitischen Kalk ein Wassereinbruch von über 1100 l/sec den Vortriebsarbeiten vorläufig ein jähes Ende bereitete. Die Wässer überfluteten im Nu Stollen und Tunnel auf 1,0 m Höhe und rissen im raschen Laufe alles mit, was nicht irgendwie sicher befestigt war (Bild 11).

Die Wässer hatten aber auch größere Klüfte im Gebirge freigelegt, in die aus dem unterliegenden Haselgebirge entzündliche Gase in größeren Mengen aufgestiegen waren. Ein am 19. Mai unternommener Versuch von Ingenieuren und Aufsehern, in den Tunnel einzudringen, mißlang.

Als am 20. Mai eine wackere Arbeitergruppe in den Tunnel eindrang, um Sprengmittel und Gerätschaften zu bergen, entzündeten sich die angesammelten Gase und die brave Schar — 16 Mann — bezahlte ihren Pflichteifer mit dem Leben. Ein Donnerschlag am Portal gab einzig Kunde von dem Unglücksfalle. Eine sofortige Hilfeleistung war vorerst wegen der Explosionsschwaden nicht möglich, die vorgedrungenen Rettungsmannschaften gerieten selbst in größte Gefahr, zwei der

Wackeren, die sich zu weit vorgewagt hatten, erstickten in den giftigen Gasen. Es mußte die Luftleitung in langer Erstreckung gereinigt werden, bis wieder Frischluft vorgepreßt werden konnte, dann erst konnte man bis zur Unglücksstelle vordringen.

Da die Gasausströmungen weiter andauerten, mußten die Lüftungseinrichtungen im Süden auf 350 m<sup>3</sup> je Minute Leistung verstärkt und sodann durch reichliche Zufuhr von Frischluft das Gasgemisch entsprechend verdünnt werden, bevor an eine regelrechte Weiterarbeit geschritten werden konnte.

An der Explosionsstelle waren in großem Umkreis arge Verwüstungen und Zerstörungen an den Einbau- und Mauerungsstrecken festzustellen und es mußten die dringendsten Sicherungs- und Instandsetzungsarbeiten mit aller gebotenen Raschheit in Angriff genommen werden.

Im Bereiche standfesten Gebirges (Kalk und Dolomit) wurde der Tunnel unter einem recht geringen Holzaufwande nach der belgischen Bauweise erstellt, wobei der durchlaufende Sohlstollen die Abbeförderung der Ausbruchmassen erleichterte; in den übrigen Strecken wurde die „neue österreichische Bauweise“ angewendet.

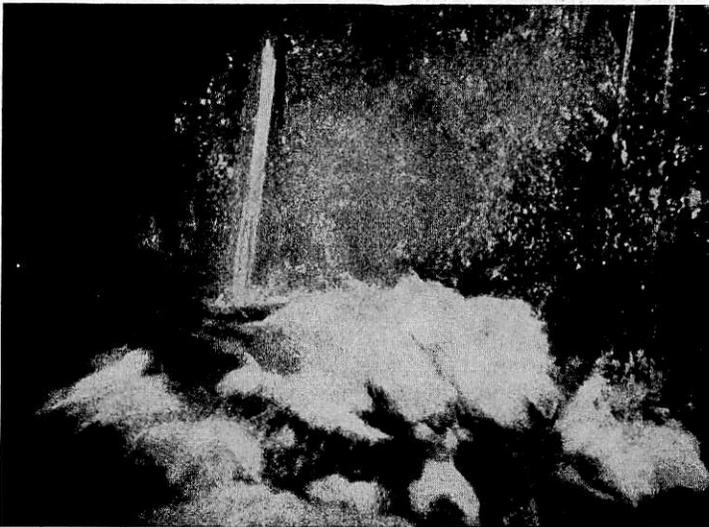


Bild 11. Bosrucktunnel, Südseite. Wassereinbruch im Sohlstollen.

Die Gesteinstemperaturen waren unter der höchsten Überlagerung nahezu am niedrigsten und umgekehrt; die Temperaturkurve bildet denn auch ein förmliches Spiegelbild zum Gebirgsprofil.

Der hohe Gebirgsdruck brachte nach fast dreijährigem Bestande der Mauerung in einzelnen Ringen Risse und Steinabsplitterungen; es war dies in Zonen des Haselgebirges, wo starke Salzadern eingesprengt waren. Das Salz zog Wasser an und verursachte Blähungen des Gebirges, denen das Mauerwerk nicht vollkommen standhalten konnte. 14 Ringe von je 8 m Länge mußten abgetragen und mit verstärktem Querschnitt neu aufgemauert werden, bei weiteren 16 Ringen genügte eine Erneuerung der schadhaften Mauerwerksteile.

Die mit den verschiedenen Druckluftbohrmaschinen erzielten Fortschritte lassen sich wegen der vielen Störungen und Unterbrechungen nicht gut einschätzen. Im Kalk und im Dolomit betrug sie durchschnittlich 4,5 m im Tag, doch wurden auch Höchstleistungen bis 5,5 m beobachtet.

Die Kosten des eingleisigen Tunnels beliefen sich auf 1977 Kronen/m = 1818 *R.M.*/m.

Am 26. August 1906 wurde der öffentliche Verkehr auf der Pyrnbahn Klaus—Steyrling—Stainach—Irdning aufgenommen und damit in Verbindung mit den anschließenden Strecken eine

104 km lange Durchzugslinie von Linz bis Selztal geschaffen, die weiterhin den Anschluß nach Villach und Triest vermittelt.

Auf der zweiten Eisenbahnverbindung mit Triest von rund 330 km Gesamtlänge wurden an Tunnelbauten erstellt:  
drei große zweigleisige Alpendurchbrüche mit . . . 22866 m  
ein großer eingleisiger Alpendurchbruch (Bosruck) mit 4766 m  
und 74 kürzere eingleisige Streckentunnel mit . . . 20540 m  
im ganzen sonach 78 Tunnel mit . . . 48172 m  
entsprechend 14,6% der Bahnlänge.

### 13. Kurze Tunnel der Tauernbahn.

Die kurzen Tunnel wurden ausschließlich mit Handbohrung erstellt, wobei im standfesten Gebirge häufig die belgische, sonst aber meist die neue österreichische Bauweise gewählt wurde. Einige dieser kürzeren Bauwerke sind durch die bei ihrem Bau aufgetretenen Erschwernisse geradezu berüchtigt geworden, wie der Obernetunnel und der Bukovotunnel.

Im nördlichen Teile wäre etwa der 881 m lange Dössentunnel südlich des Bahnhofs Malleitz zu erwähnen, der an Stelle eines ursprünglich vorgesehenen offenen Einschnittes nachträglich eingeschaltet wurde. Er führt teils in Felsgewirr eines alten Bergsturzes, teils in klüftigem, aber harten Amphibolitschiefer. Diese Schieferstrecke erforderte nur einen leichten Einbau und schwaches Verkleidungsmauerwerk; die wasserführende Bergsturzstrecke war hingegen sehr schwierig und mühsam zu erstellen, sie verlangte kräftigen Einbau und schwerste Mauerungsstärken.

Der Tunnel liegt in einer einheitlichen Steigung von 27‰ sowie in einer Doppelkrümmung; wegen der ungünstigen Steigungs- und Richtungsverhältnisse wurde er mit einer Lüftungsanlage Bauart Saccardo ausgestattet, die gleich wie jene des Tauern隧unnels ihren Antrieb vom Mallnitzwerk Lassach bezieht.

### 14. Ausklang des ostmärkischen Tunnelbaus.

Auf der Teilstrecke Innsbruck—Scharnitz der eingleisigen Mittenwaldbahn (33,2 km lang) waren 16 Tunnel von zusammen 4408 m Länge zu erstellen, entsprechend 13,3% der Bahnlänge.

Die Linie führt in langer Erstreckung an steilen felsigen und schwer zugänglichen Hängen entlang, so daß die Einrichtung der einzelnen Baustellen recht schwierig war. Die Baustoffe, Werkzeuge und Maschinen mußten meist auf schmalen Gebirgssteigen zur Höhe gebracht werden.

Der 1809 m lange Martinswandtunnel war wegen seiner Länge der Maschinenbohrung vorbehalten, die mit Preßluftbohrhämern der Bauarten Flottmann, Ingersoll und Westphalia ausgeführt wurde.

Vorhergehende vergleichende Versuche in einem Wasserkraftstollen hatten zwar ergeben, daß die Bohrung mit elektrischen Bohrmaschinen billiger zu stehen komme als jene mit Bohrhämern, allein diese lassen einen rascheren Arbeitsfortschritt erzielen, denn man braucht nach dem Abschießen der Minen nicht erst die Beendigung der Schutterung abzuwarten, sondern kann die Weiterbohrung bald nach dem Sprengen wieder aufnehmen. Die Dauer eines Angriffes konnte dadurch von 5 auf 3 Stdn. herabgedrückt werden.

Zum Ostportal des Tunnels führte ein durch einen Drehstrommotor von 20 kW angetriebener Schrägaufzug für 220 m Höhe empor, zum Westportal mußte in einem schluchtartig engen Graben eine schmale Zufahrt angelegt werden.

Der Tunnel führt in längerer Erstreckung durch festen Wettersteinkalk, der fast keinen Holzeinbau erforderte und auch nur stellenweise ein Verkleidungsmauerwerk erhielt. Auf der Ausgangsseite wurden wasserführende Mergelkalke (Raiblerschichten) aufgeschlossen, die den im Gefälle von 34,2‰ zu treibenden Stollenteil auf dieser Seite bald zum

Ersäufen brachten. Erst nach Einbau kräftiger Pumpen konnte das Wasser bewältigt und der Stollenvortrieb wieder aufgenommen werden, immerhin mußte wegen dieser Erschwernisse der Stollen zu mehr als zwei Dritteln seiner Länge von Osten her vorgetrieben werden.

In kurzen Abschnitten von brecciösen Kalken wurden neben einigen kleineren Höhlungen eine große, in der Längsrichtung des Tunnels verlaufende Höhle aufgeschlossen, die vorteilhaft zur Ablagerung von Ausbruch herangezogen wurde.

Der Martinswandtunnel wurde nach der neuen österreichischen Bauweise erstellt, die kürzeren Tunnel vielfach nach der belgischen; die Ausmauerung der Tunnel wurde überwiegend in Stampfbeton ausgeführt.

Der Verkehr auf der Strecke Innsbruck—Scharnitz wurde am 28. Oktober 1912 aufgenommen; es ist diese Bahnstrecke die erste elektrisch betriebene Hauptbahn der Ostmark.

Auf der am linken Donauufer führenden Linie Krems—Grein (77 km), erbaut 1908 bis 1909, wurden 17 Tunnel von zusammen 3024 m Länge, meist in z. T. zersetzten Granit erstellt. Nächst der Ausfahrt aus dem Dürrsteintunnel wurde zur Sicherung der Bahn und der parallel führenden Reichsstraße gegen einen drohenden Felsabsturz eine große Kammerminensprengung ausgeführt. Drei Kammerminen wurden mit 3675 kg Dynamit geladen, mit Zündschnüren und auch elektrisch entzündet, so daß eine Felsmasse von 68000 m<sup>3</sup> gelöst wurde.

Auf der Wechselbahn Aspang—Hartberg (50 km) in der Oststeiermark wurden in den Jahren 1909 bis 1910 sechs Tunnel von zusammen 5053 m Länge erstellt, darunter der 2477 m lange Hartbergtunnel und der 1212 m lange Wiesenhöftunnel.

Im großen Hartbergtunnel, der z. T. durch gebundenen Schotter (Konglomerat), z. T. aber durch loses, mit Lehm und Sand durchsetztes Bergschuttgebirge führt, waren vier elektrisch angetriebene Stoßbohrmaschinen der Bauart Siemens & Halske (Hauber) in Verwendung, wobei im festen Konglomerat bis 4,0 m Stollen täglich erbohrt wurden. Im harten Chloritgneis des Wiesenhöftunnels waren zwei solcher Maschinen mit gleichem Erfolg tätig.

Die verbesserten Maschinen hatten je einen eigenen Antriebsmotor eingebaut, außerdem war jede einzelne Maschine auf einer besonderen, leicht handlichen Spannsäule aufmontiert.

Auf der im Jahre 1906 eröffneten Vinschgaubahn (Meran—Mals) mußte von der Station Mals aus die Talstufe der Töll in langer Schleifenentwicklung erstiegen werden.

Auf 10 km Bahnlänge mußten daselbst drei Tunnel von zusammen 1866 m errichtet werden; in den beiden Lehnentunnels (Josefsberg- und Marlingertunnel) waren schon beim Bau beträchtliche Schwierigkeiten entstanden, da das Gebirge recht unruhig war. Es mußten in den ersten Betriebsjahren umfangreiche Verstärkungs- und Wiederherstellungsarbeiten am Tunnelmauerwerk durchgeführt werden.

Auf der in den Jahren 1912 bis 1914 erbauten Eisenbahnlinie Rudolfswert—Möttling wurde neben einigen kürzeren Tunneln auch der 1976 m lange Semitschtunnel ausgeführt.

Bei seiner großen Länge wurde der Sohlstollen maschinell mit Flottmann Bohrhämmern betrieben. Der im festen Kalk liegende Tunnel wurde auf beiden Seiten mit dem durchlaufenden Sohlstollen begonnen, dem die Firststollen jeweilig in kurzen Abständen nachfolgten. Als der Sohlstollen durch-

geschlagen war, wurden in der restlichen, 312 m langen Mittelstrecke nicht mehr besondere Firststollen getrieben, sondern der Abbau mittelst eines durchlaufenden Firstschlitzes ausgeführt, wobei der Sohlstollen mit leichten Rüstungen in zweimaliger Auffristung bis zur erforderlichen Höhe ausgesprengt wurde. Der Tunnel wurde nach der belgischen Bauweise erstellt.

Die Firstschlitz-Bauart ist in der Ostmark beim Bau der beiden Tunnel auf der Großglockner-Hochalpenstraße, dem 340 m langen Hochtortunnel (in 2505 m Seehöhe) und dem 117 m langen Mittertörtunnel (in 2328 m Seehöhe) angewendet worden (1933).

Bei der geringen Lichthöhe dieser Straßentunnel von 4,80 m (gegen 6,40 m beim zweigleisigen Eisenbahntunnel) wäre die Anlage zweier übereinanderliegender Stollen (Sohl- und Firststollen) nicht möglich gewesen, da die zwischenliegende Gebirgsdecke zu schwach wäre. Es hat sich sonach der durchlaufende Firstschlitz förmlich von selbst ergeben.

Auf der im Jahre 1910 eröffneten schmalspurigen (1,0 m) Bahn St. Pölten—Mariazell in Nieder Donau wurden bei 10,1 km Bahnlänge 16 Tunnel mit zusammen 3908 m Länge erbaut, darunter der 2368 m lange Gösingtunnel in 890 m Seehöhe.

In der Nachkriegszeit (1922 bis 1925) wurde auf der oststeierischen Lokalbahn Friedberg—Pinkafeld der 523 m lange Hochstraßentunnel unter ganz außergewöhnlichen Schwierigkeiten ausgeführt. Das mit Wasser durchsetzte, schlammig-breiige Gebirge führte mehrmals zu argen Verbrüchen, so daß die Arbeiten häufig unterbrochen, ja zeitweise ganz eingestellt werden mußten.

Das Eisenbahnnetz der Ostmark war am Ende des Weltkrieges durchaus noch nicht abgeschlossen und es ruhen manche, früher eifrig betriebenen Pläne nun friedlich in den Plankammern. Viele, mehr örtliche Verkehrswünsche dürften nunmehr durch den Ausbau des Straßennetzes ihre Erfüllung finden, größere Durchzugslinien wie z. B. im Westen Tirols die Fern-Ortlerbahn, die längere Durchbrüche von Alpenketten erfordert, werden vielleicht mit der Zeit doch noch verwirklicht werden, da sie internationale Bedeutung besitzen.

In der Nachkriegszeit ist in der Ostmark der Ausbau von Wasserkraftanlagen großzügig betrieben worden, wobei zahlreiche längere Stollen und Schachtanlagen (Rohrschächte und Druckschächte) errichtet worden sind. Die Stollen sind — meist unter Zuhilfenahme von Seitenstollen — unter Verwendung von Preßluft-Bohrhämmern erbaut werden.

Bei der Errichtung der Reichsautobahnen, deren Fortführung gegenwärtig infolge des Krieges gedrosselt ist, werden in der Ostmark größere Alpendurchbrüche wie am Radstätter Tauern und am Katschberge unvermeidlich sein, wobei die Erfahrungen beim Bau der langen Eisenbahntunnel gewiß beachtet und aufs beste verwertet werden können.

Die Tunnelbauten der Ostmark mußten oft unter den widrigsten Verhältnissen durchgeführt werden und es bedurfte nicht selten der höchsten geistigen Anstrengungen und der entschlossensten Tatkraft der beteiligten Ingenieure wie auch der ausdauernden und opferwilligen Arbeit der Belegschaften, um der aufgetretenen Schwierigkeiten Herr zu werden und das begonnene große Werk glücklich zu vollenden.

Dem Gedenken dieser Pioniere des ostmärkischen Tunnelbaus seien diese Zeilen gewidmet.

## Italienische Tunnel.

Von Geh. Regierungsrat F. Wernecke, Berlin-Zehlendorf.

Italien ist sowohl im Grundriß wie im Aufriß ein höchst eigenartiges Land. Die lange schmale Halbinsel mit ihrer bekannten Form eines Stiefels hängt an einem gedrungenen, wenn man ihn so nennen darf, festländischen Rumpf. Diese beiden Teile Italiens haben zusammen eine Fläche von 260310 km<sup>2</sup>, ungefähr halb so groß wie das Deutsche Reich vor 1918. Dazu kommen die beiden Inseln Sizilien und Sardinien mit 25750 km<sup>2</sup> und 24100 km<sup>2</sup>, beide zusammen ungefähr so groß wie Sachsen, Württemberg und Baden zusammen. Gegen das übrige Europa ist Italien durch das Hochgebirge der Alpen abgeschlossen, vor die sich die Po-Ebene legt, und die Halbinsel wird von den Apenninen durchzogen, die sich bis auf 2920 m erheben. Auch die beiden Inseln haben ihre Gebirge; auf Sizilien erreicht der Ätna die Höhe von 3313 m, und in Sardinien erheben sich die Berge bis auf 1834 m.

Die Oberflächengestalt von Italien bringt es mit sich, daß das Land zwar reich an Wasserkraften ist, daß es aber nur vier größere Flüsse aufweist. An erster Stelle steht der Po mit 672 km Länge, der bis Turin schiffbar ist. Er durchfließt den gewerbreichsten Teil des Landes. Mit seinen nördlichen Nebenflüssen, dem 259 km langen Tessin und der 310 km langen Adda, die ihn mit den oberitalienischen Seen verbinden, und dem Mincio, der 150 km lang, auf 66 km schiffbar, die Verbindung mit dem Gardasee herstellt, und seinem südlichen Nebenfluß, der 115 km langen Trebbia, bildet er den Ausgang für wertvolle Binnenwasserstraßen, deren Ausbau im Gange ist, um 600 t-Kähnen den Zugang zum Lago Maggiore, zum Luganer See und zum Gardasee zu ermöglichen. In Mittelitalien ist der größte Fluß der Tiber mit 403 km Länge, dessen Bedeutung zum Teil darin besteht, daß er Rom berührt, bis wohin er von kleinen Fahrzeugen befahren werden kann. Der Arno, nur 248 km lang, ist immerhin noch auf 106 km bis Florenz schiffbar, und die 415 km lange Etsch, die mit dem Po in Verbindung steht, wird bis Branzoll unterhalb Bozen befahren; ihre Schifffahrt ist aber unbedeutend. Keiner dieser Flüsse erreicht an Länge oder mit der Ausdehnung seiner schiffbaren Strecken die drei großen deutschen Ströme, Rhein, Elbe und Oder. Italien ist also für seinen Verkehr weitgehend auf seine Eisenbahnen angewiesen.

Das festländische Italien, also Norditalien und die Halbinsel wird von rund 37 Millionen Menschen bewohnt; dazu kommen auf Sizilien gegen 4 Millionen und auf Sardinien nicht ganz eine Million. Im Auslande verstreut leben noch rund 10 Millionen Italiener.

Wenn auch die vorstehende Schilderung der Oberflächengestalt von Italien nur flüchtig sein konnte, so läßt sie doch schon erkennen, daß dem Eisenbahnbau in Italien schwer zu überwindende Geländehindernisse im Wege gestanden haben müssen. Sie sind, auch unter Beseitigung von Hindernissen, die auf politischem Gebiet lagen, überwunden worden, und in den Italienischen Staatseisenbahnen ist heute ein Netz von rund 17000 km Länge vereinigt, wozu noch Privateisenbahnen von zusammen rund 6000 km Länge kommen. Auf Sizilien entfallen rund 2100 km, auf Sardinien gegen 1400 km. Von den Vollspurstrecken der Staatseisenbahnen sind 4445 km zweigleisig.

Die Gebirge Italiens bringen es mit sich, daß zahlreiche Tunnel vorhanden sind, und von einigen seiner Tunnel, denen zum Teil Bedeutung für den Weltverkehr zukommt, soll nachstehend die Rede sein.

### 1. Bahnen an der Riviera.

Beginnen wir aus naheliegenden Gründen mit den Alpentunneln, und dabei, wie es der Bauingenieur bei der Darstellung

von Straßen, Eisenbahnen und Wasserläufen gewöhnt ist, am linken Rande und nach rechts fortschreitend, also, wenn wir vor der Karte von Italien stehen, an der Grenze zwischen Italien und Frankreich, wie sie bis 1940 verlaufen ist, da, wo sie in das Mittelmeer einmündet. Wir finden hier die Eisenbahn Cuneo—Ventimiglia mit einer großen Anzahl von Tunneln. Die Linie führt in 99,4 km Länge durch eine besonders reizvolle Gegend und hat dabei für den Verkehr die Bedeutung, daß sie z. B. die Entfernung Turin—San Remo um 35 km, die Entfernung Turin—Ventimiglia um 67 km gegenüber dem alten Weg über Genua verkürzt. Bereits seit 1900 war Cuneo mit dem 88 km davon entfernten Turin durch eine Eisenbahn verbunden. Ihre Verlängerung bis Ventimiglia, also bis an die Küste, war wegen Überschreitung der Grenze gegen Frankreich nur unter französischer Mitwirkung möglich, und Frankreich konnte sich verständlicherweise an dem Bahnbau nur beteiligen, wenn zugleich das von Cuneo 123 km entfernte Nizza an die neue Eisenbahn angeschlossen würde. In Breil, 22 km vor Ventimiglia, zweigt daher von der Hauptstrecke ein 45 km langer Arm nach Nizza ab. 1910 begonnen, sollte der Bau 1914 vollendet sein, und der italienische Teil war es auch; infolge des Weltkriegs dauerte es aber bis 1928, ehe auf der ganzen Strecke durchgehender Verkehr aufgenommen werden konnte. Nachdem Mentone von den Italienern besetzt worden ist, ist sein Bahnhof an Stelle von Ventimiglia das Ende der italienischen Eisenbahn geworden. Die Eisenbahn Cuneo—Ventimiglia ist von Anfang an elektrisch betrieben worden.

Gleich hinter Cuneo findet sich ein Kehrtunnel, in dem die Eisenbahn einen Höhenunterschied von 30 m überwindet. Hinter Limone folgt der 8,1 km lange Tunnel unter dem 1873 m hoch liegenden Col di Tenda-Paß, in dem die Eisenbahn mit 1040 m Seehöhe ihren höchsten Punkt erreicht. Der Bau des Scheiteltunnels hat acht Jahre gedauert. Zwischen dem Gneis des Gebirges, das er durchdringt, war durchfeuchteter Ton eingelagert, der ausfloß, als der Tunnelbau die Tonschicht anschnitt. Eine Auszimmerung des Tunnels blieb erfolglos, auch eine Entwässerung gelang nicht, und man mußte schließlich den Tunnel auf den gefährdeten Strecken mit Eisen auskleiden. Weiterhin folgen vier Tunnel in Hufeisen- und Schleifenform, von 1,3 km, 1,5 km, 1,6 km und 1,8 km Länge, und hinter San Dalmazzo sind eine Anzahl kürzere Tunnel durch überbaute Strecken zu einer Länge von 1,7 km Länge verbunden. In einem 743 m langen Tunnel überschreitet die Eisenbahn die alte Grenze gegen Frankreich, kehrt aber eigenartigerweise nach 19 km auf italienisches Gebiet zurück. Sie folgt weiter in einer fortlaufenden Reihe von Talbrücken und Tunneln dem Lauf des Roja-Flusses bis Ventimiglia. Im ganzen hat sie 60 Tunnel von zusammen 36,4 km Länge, mehr als ein Drittel ihrer Länge ist also unterirdisch geführt. Ihr Bau hat 40 Millionen Lire gekostet.

Auch die 45 km lange Strecke Breil—Nizza, die in einem 1,2 km langen Tunnel die Strecke nach Ventimiglia unterfährt und nach 4,4 km die alte Grenze überschreitet, weist eine Anzahl Tunnelbauten auf, die im Gegensatz zu denen der italienischen Strecke zweigleisig angelegt sind. Darunter ist der längste Tunnel in Frankreich unter dem 999 m hoch gelegenen Col de Braus mit 5,9 km Länge. Einer der Tunnel dieser Strecke hat beide Mündungen auf französischem Boden, liegt aber in seinem Mittelteil unter italienischem Gebiet. Das 305 m hoch gelegene Breil war vor Eröffnung der Eisenbahn nur durch eine Fahrstraße zugänglich, die das Gebirge auf rund 1070 m Höhe überschritt. Auch die Landstraße führt in dieser Gegend durch einen 3 km langen Tunnel.

## 2. Die Mont Cenis-Eisenbahn.

Die eben genannten Tunnel sind weder die bedeutendsten, noch die ältesten unter den hier behandelten. Folgen wir aber dem Zuge der Alpen nach Osten, so kommen wir zu dem Mont Cenis-Tunnel, der der erste Alpentunnel und, bis er durch den Gotthard-Tunnel überholt wurde, auch der längste unter ihnen war. Die 205 km lange Mont Cenis-Eisenbahn Turin—Modane—Chambéry ist auch in ganz anderem Sinne eine Länder verbindende Eisenbahn als die an erster Stelle behandelte Strecke Cuneo—Ventimiglia/Nizza, obgleich auch diese den Verkehr mit Frankreich vermittelt. Während die Mont Cenis-Eisenbahn Turin mit Modane und darüber hinaus mit Lyon, also Oberitalien mit dem Inneren Frankreichs verbindet, mündet jene an der Küste aus, hat also auf der französischen Seite nur ein beschränktes Verkehrsgebiet.

Am Anfang in Italien, in Turin, auf 239 m Seehöhe beginnend und bis Chambéry wieder bis auf 269 m über dem Meere absinkend, erhebt sich die Strecke der Mont Cenis-Eisenbahn im Tunnel bis auf 1296 m Seehöhe, und Modane und Bardonecchio liegen beiderseits des Gebirges auf 1130 m und 1269 m Höhe. Es ist daher nicht zu verwundern, daß die Zufahrtstrecken beiderseits mit 30<sup>0</sup>/<sub>00</sub> ansteigen und daß sich auf der 41 km langen Strecke von Bussoleno bis zum Tunnelmund drei Brücken, 15 Viadukte und 26 Tunnel von zusammen 8,1 km Länge vorfinden.

Doch zunächst einiges aus der Vorgeschichte der Mont Cenis-Eisenbahn. Italien war in bezug auf seine erste Eisenbahn etwas hinter den übrigen größeren Ländern Europas zurückgeblieben. Während die Strecken Stockton—Darlington im Jahre 1825, Linz—Budweis 1827, St. Etienne—Andrézieux 1828, die Ludwigsbahn 1835 eröffnet wurden, dauerte es bis 1839, ehe in Italien eine Eisenbahn den Betrieb aufnehmen konnte. Die erste italienische Eisenbahn, die noch nicht ganz 8 km lange Strecke Neapel—Portici, wurde erst am 3. Oktober 1839 dem Verkehr übergeben. Sie lag merkwürdigerweise in dem unter Mißwirtschaft leidenden Königreich beider Sizilien, während es im Königreich Sardinien, wo Cavour, der „Bismarck“ Italiens, die Bedeutung der Eisenbahnen, auch in politischer Beziehung, richtig erkannt hatte, trotz seiner straffen, wohlgeordneten Regierung bis zum 18. Dezember 1855 dauerte, ehe auf der Eisenbahn Genua—Turin durchgehender Verkehr aufgenommen werden konnte, nachdem allerdings schon vorher einige Teilstrecken in Betrieb genommen worden waren. Aber weitsichtig, wie man im Königreich Sardinien war, hatte man dort schon 1840 den Plan gefaßt, die Alpen in der Richtung gegen Frankreich zu überschreiten, ein Gedanke, der allerdings deshalb nahe lag, weil das jenseits der Alpen gelegene Savoiens damals noch zum Königreich Sardinien gehörte. Zweifellos hatte der Plan, die Alpen zu überqueren, nicht nur Savoiens als Ziel im Auge, sondern man hatte die Bedeutung einer darüber hinausgehenden Schienenverbindung mit Frankreich sofort richtig erkannt. Die Straße von Piemont nach Savoiens und damit nach Frankreich führte damals von Susa über den 2098 m hoch gelegenen Mont Cenis-Paß nach Lanslebourg; über sie waren schon die römischen Heere gezogen, und Napoleon hatte ihren Ausbau angeordnet. Dem Umstand, daß die Eisenbahn diese Straße ersetzt, verdankt sie ihren Namen, obgleich sie richtiger nach dem 3205 m hoch gelegenen Col de Fréjus zu benennen wäre, unter dem sie das Gebirge durchdringt. Die jetzige Eisenbahn hatte eine Vorläuferin in einer Eisenbahn Bauart Fell, die von Lanslebourg auf die Paßhöhe führte. Bei dieser Bauart, die auch in Australien angewendet worden ist, liegt zwischen den Fahrschienen eine dritte Schiene, an der zwei Scheiben mit senkrechter Achse anfassend, die Reibung erhöhend und so bei der Talfahrt bremsend, bei der Bergfahrt die Zugkraft vermehrend. Die 77 km lange Fell-Eisenbahn mit 1,1 m Spurweite hat nur drei Jahre bestanden,

und auch während dieser kurzen Zeit war sie nicht immer im Betrieb. Andere Pläne tauchten auf, darunter der einer Eisenbahn mit dem damals beliebten Seilantrieb von einer feststehenden Winde aus; aber alle wurden verworfen. Nach einem dieser Pläne sollte das Gebirge ohne Tunnel überschritten werden, wobei außer acht gelassen wurde, daß eine solche Eisenbahn während eines großen Teils des Jahres infolge der Unbilden der Witterung ihren Betrieb hätte ruhen lassen müssen. Ein anderer Plan sah einen nur 6 km langen Tunnel vor, der also in erheblicher Höhe liegen mußte, was Anlaß zu langen steilen Rampen gegeben hätte. König Karl Albert trat selbst für einen 12 km langen, also tiefer gelegenen Tunnel ein und entschied sich für die Linienführung unter dem Col de Fréjus, wodurch der ganze Tunnel unter inländischem Gebiet blieb. Als aber 1859 Savoiens an Frankreich übergab, mußte das Nachbarland am Tunnelbau beteiligt werden. Schon vorher hatte im Jahre 1845 eine englische Gesellschaft die Genehmigung zum Bau der Eisenbahn und des Tunnels erlangt, was den Unwillen Österreichs erregte, das ja damals noch mit der Lombardei, Trient und Venedig an dem heutigen Italien beteiligt war, weil es fürchtete, die Schienenverbindung könne zu einer politischen Annäherung zwischen Sardinien und Frankreich führen. Die englische Gesellschaft konnte ihren Plan nicht durchführen, und die kriegerischen Ereignisse der nächsten Jahre hatten zur Folge, daß er bis 1857 ruhte. Als er dann wieder aufgenommen wurde, fanden die Feierlichkeiten aus Anlaß der Eröffnung der Bauarbeiten unter Beteiligung von Victor Emanuel und Napoleon statt. Victor Emanuel löste den ersten Schuß, und ein Felsblock, der auf der Südseite des Col de Fréjus gebrochen worden war, wurde als Grundstein der Rhonebrücke verwendet, die den Anschluß an die Mont Cenis-Eisenbahn vermitteln sollte. Man wollte damit die Völker verbindende politische Bedeutung der Eisenbahn betonen. Es dauerte allerdings noch bis zum Weihnachtstag 1871, bis der Tunnel durchgeschlagen wurde. Es wird in Italien als bedeutungsvoll angesehen, daß dieses Ereignis mit einem Höhepunkt in seiner Geschichte, mit der Besetzung von Rom, in dasselbe Jahr fiel.

Der Mont Cenis-Tunnel war der erste Tunnel von solcher Länge, der ohne Zwischenschächte aufgeföhren wurde, und es bestanden, auch in wohlmeinenden Kreisen, Zweifel, ob das Werk gelingen werde. Daß dies geschah, wurde gefördert, vielleicht sogar ermöglicht durch die Erfindung eines piemontesischen Ingenieurs Sommeiller: die Bohrmaschine mit Druckluftantrieb, an der allerdings neben ihm auch noch andere Erfinder mitgewirkt haben. Man brauchte nun nicht mehr von Hand zu bohren, man brauchte auch keine Dampfmaschine mehr vor Ort, die die Bohrer antrieb und dabei Luft verbrauchte, sondern man konnte die Druckluft außerhalb des Tunnels erzeugen, sie in Rohren vor Ort leiten und mit ihr, nachdem sie ihre Pflicht als Energieträger getan hatte, sogar den Tunnel noch lüften. Es gehört zu den Verdiensten Cavour's, daß er die Bedeutung dieser Erfindung richtig erkannte, und den Versuchen, die zu ihrer Entwicklung nötig waren, seine tatkräftige Unterstützung zuteil werden ließ.

Nachdem gewisse Anfangsschwierigkeiten überwunden waren, ging der Bau des Mont Cenis-Tunnels verhältnismäßig glatt vor sich. Es trat nur geringer Wasserzudrang auf, die Wärme im Tunnel stieg nur auf 29,6° C trotz einer Überlagerung des Tunnels durch das Gebirge um 1620 m. 10,6 km der Tunnellänge wurden mit der Bohrmaschine hergestellt. Der Tagesfortschritt betrug im Mittel 1,5 m und 1,7 m von beiden Enden her. Der Abraum wurde mit Pferden abgeföhrt, nur gegen Ende des Baus wurde eine Lokomotive eingesetzt. Die zum Bau des Tunnels nötige Druckluft konnte mit Hilfe von Wasserkraft erzeugt werden.

Der Mont Cenis-Tunnel verläuft in seinem Mittelteil geradlinig, nur an seinen Enden hatte er so, wie er 1871 vollendet

wurde, kurze Krümmungen von 350 m und 500 m Halbmesser. Seine damalige Länge von 12820 m wurde in den Jahren 1880 und 1881 auf 13637 m vergrößert, indem der Nordausgang zur Verbesserung der Krümmungsverhältnisse verlegt wurde. Der Tunnel ist zweigleisig. Auf den Durchschlag des Richtstollens am Weihnachtstag des Jahres 1870 folgte die Eröffnung des Betriebes am 17. November 1871, nachdem am 27. August 1871 die erste Lokomotive den Tunnel in seiner ganzen Länge durchfahren hatte.

Damit war ein großes Werk vollendet; um seine Größe ganz zu ermessen, muß man es im Lichte seiner Zeit betrachten. Es wäre, ganz abgesehen von den technischen Schwierigkeiten, nicht zustande gekommen, wenn nicht ein Staatsmann wie Cavour hinter ihm gestanden hätte, der es z. B. durchzusetzen verstand, daß die Kammer im Jahre 1857 mit 98 gegen nur 28 Stimmen den Plan des Tunnels billigte und die nötigen Mittel bewilligte.

Wie schon erwähnt, war der Bau des Mont Cenis-Tunnels zunächst eine rein italienische Angelegenheit, sie wurde aber dann zu einer internationalen, und mit Frankreich mußte ein Vertrag zu ihrer Durchführung abgeschlossen werden. Die französischen Ingenieure trauten dem Maschinenbohren nicht, und diese Ansicht wurde von der Regierung geteilt. Infolgedessen wurde in den Staatsvertrag vom 7. Januar 1862 eine Bestimmung aufgenommen, dahin gehend, daß, wenn der Bau des Tunnels nicht bis zum 1. Januar 1877 vollendet wäre, Frankreich von der Leistung eines Beitrages zu den Baukosten befreit sein sollte. Für jedes Jahr, um das die Bauzeit von 25 Jahren unterschritten würde, erklärte sich Frankreich bereit, eine halbe Million Zuschuß zu leisten, und für jedes Jahr, um das die Bauzeit hinter 15 Jahren zurückblieb, eine Million zu den Baukosten beizutragen. Schließlich hat Frankreich 27 Millionen gezahlt, so daß für Italien von den Gesamtkosten 42 Millionen entfielen, was ungefähr der Betrag war, der beim ersten Voranschlag für die Kosten errechnet war. Im übrigen schwanken die Angaben über die Gesamtkosten zwischen 60 und 69 Millionen Lire, was damit zusammenhängen dürfte, daß der Begriff Baukosten für den Tunnel nicht eindeutig festgelegt ist. Jedenfalls bedeuten die Baukosten für jene Zeit einen sehr erheblichen Betrag, und es ist um so bewundernswerter, daß er aufgebracht werden konnte, als sowohl die staatlichen Mittel von Italien wie die von Frankreich damals stark für kriegerische Unternehmen in Anspruch genommen wurden.

An dem Tunnelbau hatten im Winter 1500, im Sommer 2000 Mann an jedem Ende gearbeitet.

So lange der Tunnel mit Dampf betrieben wurde, war bei den steilen Neigungen des Gleises — bis  $27,50/100$  — die Rauchentwicklung der Lokomotiven sehr lästig, und der Tunnel mußte künstlich gelüftet werden. Die damit verbundenen Schwierigkeiten sind überwunden, seit er auf elektrische Zuförderung umgestellt ist.

### 3. Die Simplon-Eisenbahn.

Noch ehe der Mont Cenis-Tunnel vollendet war, wurde der Bau des Gotthard-Tunnels eingeleitet, aber von Westen nach Osten fortschreitend, wie wir unsere Betrachtung begonnen haben, sei zunächst der Simplon-Tunnel behandelt, obgleich er erheblich jünger ist als der Gotthard-Tunnel. Die drei großen Alpentunnel, der Mont Cenis-, der Simplon- und der Gotthard-Tunnel, bilden eine eigenartige Stufenreihe. Der Mont Cenis-Tunnel war, als er geplant wurde, ein rein italienisches Unternehmen und wurde erst ein die Grenze Italiens überschreitender Tunnel, als Savoyen an Frankreich abgetreten wurde. Der Simplon-Tunnel verbindet Italien mit der Schweiz, überschritt also von jeher die Grenze zwischen beiden Ländern. Der Gotthard-Tunnel liegt ganz außerhalb Italiens, ist aber für dessen Verkehr mit dem nördlich von ihm gelegenen Europa

von solcher Bedeutung, daß eine Betrachtung über die italienischen Eisenbahnen, die wie die vorliegende die Tunnel nicht nur vom Standpunkt des Tunnelbaus betrachtet, sondern ihre Bedeutung für den Verkehr ebenfalls zu würdigen sucht, nicht an ihm vorbeigehen kann. Zudem hat sich Italien an den Baukosten beteiligt, und seine geschickten Tunnelbauarbeiter haben den Bau ausgeführt.

Die Simplon-Eisenbahn Brig—Domodossola war als Verlängerung der Rhonetal-Eisenbahn Lausanne—Brig gedacht, geht also mehr von schweizerischer als von italienischer Seite aus. Da sie aber die Grenze gegen Italien überschreitet, mußte Italien an ihrem Bau beteiligt werden. Am 25. November 1895 kam der Vertrag zwischen Italien und der Jura-Simplon-Eisenbahn zustande, auf Grund dessen der Bau ausgeführt wurde, nachdem Italien sich verpflichtet hatte, für die Dauer von 99 Jahren einen Zuschuß von 66000 Lire jährlich zu zahlen und die Zufahrtstrecke Domodossola—Iselle zu bauen; außerdem gewährte die italienische Regierung zusammen mit den Provinzen und Gemeinden, denen der Bau des Tunnels zugute kam, einen verlorenen Zuschuß zu den Baukosten von 4 Millionen Lire. Der Vertrag fand ohne Widerstand die Billigung des Parlaments, das die Bedeutung der Simplon-Strecke für den Verkehr Italiens mit der Schweiz, mit Frankreich und darüber hinaus mit England richtig zu würdigen wußte. Ein Gesichtspunkt, der dabei mitspielte, bestand darin, daß tausende von italienischen Bergarbeitern beim Tunnelbau und weitere tausende auf längere Zeit beim Bau der Anschlußbahnen Arbeit und Brot finden würden, ein Gesichtspunkt, der bei Unternehmen der letzten Zeit häufig ausschlaggebend mitgewirkt hat, von dem es aber reizvoll ist zu erfahren, daß er auch schon vor 50 Jahren Bedeutung gehabt hat. Italienische Arbeiter sammelten sich in großer Zahl zu beiden Seiten des Simplon. Das Dorf Naters hatte z. B. vor Beginn des Baus 1064 Einwohner, darunter nur elf Italiener; bis 1900 war die Zahl der Bewohner auf 3951 angewachsen, von denen 2540 Italiener waren.

Auch über den Simplon-Paß führte schon eine Römerstraße, und Napoleon hat auch hier, ebenso wie über den Mont Cenis-Paß eine Straße bauen lassen. Die Eisenbahn hat sich also auch hier in einen alten Verkehrsstrom eingeschaltet und folgte damit dem Beispiel der Mont Cenis- und der Gotthard-Eisenbahn. Daß dies erst verhältnismäßig spät geschah, hatte seinen Grund darin, daß Paris von Mailand aus durch den Mont Cenis, Deutschland von Italien durch den Gotthard zu erreichen waren. Aber der Abstand zwischen beiden Eisenbahnen war zu groß, als daß er nicht schließlich doch durch eine Eisenbahn unterteilt werden mußte, und für diese sprach vor allem der Umstand, daß der Weg von Mailand nach Paris, der durch den Mont Cenis 945 km, durch den Gotthard 904 km lang ist, durch die Durchbohrung des Simplon mit einer Eisenbahn auf 854 km verkürzt wurde. Jenseits von Paris lag der Weg nach London, diesseits von Mailand der Weg nach ganz Italien bis nach Brindisi und damit der Anschluß an den Seeweg durch den Suez-Kanal; der Simplon-Tunnel liegt also wirklich in einer die Welt umfassenden Verkehrsstraße. Genua war von Paris auf den beiden alten Verkehrswegen 964 km und 1047 km entfernt, die Simplon-Eisenbahn verkürzte diese Entfernung auf 946 km. Nachdem Italien sich lange zurückhaltend gezeigt hatte, konnte es aber schließlich doch seine Mitarbeit nicht versagen, da Frankreich auf eine Verbesserung seiner Verbindung mit Mailand drängte, die ihm wichtiger erschien, als die mit Turin und Genua, wobei der Gedanke des Wettbewerbs zwischen den Häfen Marseille und Genua mitgespielt haben mag.

Schon 1857 waren die ersten Pläne für die Überschreitung des Simplon-Passes mit einer Eisenbahn aufgestellt worden. Man wollte zunächst der Straße folgen und hätte dabei 98

kleinere Tunnel bauen müssen. Ein anderer Plan sah eine Zahnradbahn vor, die wegen der steilen Neigungen, die der Zahnstange zugeordnet waren — bis 6% —, verhältnismäßig kurz geworden wäre, aber nur eine Geschwindigkeit von bis zu 15 km ermöglicht hätte; auch ihre Leistungsfähigkeit wäre nur beschränkt gewesen.

Hinderlich für die Ausführung der Simplon-Eisenbahn war eine Zeitlang auch der Plan, der in Italien und in Frankreich bestand, den Mont Blanc zu untertunneln, und der neuerdings in Gestalt eines Straßentunnels wieder aufgetaucht ist. Seine Durchführung hätte den Vorteil gehabt, daß die beiden Länder unmittelbar, ohne Zwischenschaltung der Schweiz, miteinander verbunden worden wären, aber die Beteiligung der Schweiz an den Baukosten wäre dadurch verloren gegangen. Gegen den Mont Blanc-Tunnel sprach der Umstand, daß er zu nahe an den Mont Cenis-Tunnel zu liegen gekommen wäre, während der Simplon-Tunnel die Entfernung zwischen Mont Cenis und Gotthard gleichmäßig teilte. Auch bauliche Schwierigkeiten erwartete man beim Bau eines Mont Blanc-Tunnels, und schließlich gab zugunsten des Simplon-Tunnels auch der Umstand den Ausschlag, daß die Anschlußbahnen auf beiden Seiten schon verhältnismäßig nahe an den Simplon herangeführt waren.

Für die Durchtunnelung des Simplon wurde eine ganze Anzahl Pläne aufgestellt, die den Berg in verschiedener Höhe und dementsprechend mit einem Tunnel verschiedener Länge durchbohren wollten. Schließlich siegte aber der Gedanke eines Basistunnels, und ein Entwurf von 1860 sah bereits einen Tunnel von 16 km Länge vor. 1891 entstand endlich der endgültige Entwurf, aufgestellt von der Jura-Simplon-Eisenbahn, für einen etwa 20 km langen Tunnel, dessen genaue Länge sich bei der Ausführung zu 19,8 km ergab. Damit ist er heute der längste Eisenbahntunnel der Welt und wird es wohl auch für absehbare Zeit bleiben. Seine große Länge hatte den Erfolg, daß er ziemlich tief, also mit seinem Nordeingang auf 686 m, mit seinem Südeingang auf 674 m Seehöhe zu liegen kam und das Gleis sich in ihm nur auf 705 m Höhe erhebt. Die Überlagerung durch das Gebirge beträgt freilich 2135 m.

Die hohen Kosten, die der Bau eines Tunnels von fast 20 km Länge erfordert, zwangen dazu, zunächst nur einen einleitigen Tunnel anzulegen. Da man aber erwartete, daß die Wärme im Tunnel bis auf 42° C steigen würde — sie erreichte sogar 50° C —, mußte dem Tunnel zur Kühlung eine große Menge Luft unter geringem Druck zugeführt werden, und um das zu können, legte man in 17 m Entfernung vom Haupttunnel einen Stollen II als Luftkanal an, dessen Ausbau später das zweite Gleis aufnehmen sollte und es mittlerweile auch getan hat. Haupttunnel und Stollen II wurden in je 200 m Entfernung durch Querschläge verbunden, durch die, je nach Bedarf geöffnet oder verschlossen, die Luft dahin geleitet werden konnte, wo sie gebraucht wurde. Der Bedarf an Druckluft stieg bis zu 3 Millionen Kubikmeter in 24 Stunden, und die Luft mußte dabei künstlich gekühlt werden. Die Druckluft zu diesem Zweck sowie zum Antrieb der Bohrmaschinen usw. wurde mit Hilfe der Wasserkraft der Rhone und der Diveria erzeugt, wozu Anlagen von je 1500 bis 2000 PS geschaffen wurden. Sie lieferten auch das nötige Betriebswasser. Die Luftkühlung reichte zeitweilig nicht aus, und es mußte mit Wasser gekühlt werden. Dazu diente unter anderem das Wasser einer 4,4 km vom Südeinde angeschlagenen kalten Quelle von 12° C, das mit 6 at Druck austrat; es wurde zunächst mit diesem, später mit künstlich erhöhtem Druck vor Ort geleitet, wo es seinen Zweck erfüllte.

Hiermit sind einige der Schwierigkeiten, die sich dem Bau des Simplon-Tunnels in den Weg stellten, bereits angedeutet; es kamen aber noch andere hinzu. Heiße Quellen, die auf der Nordseite ausbrachen, zwangen zur Einstellung des Baus auf

dieser Seite, bis der Vorbau von Süden her diese Stelle erreichte. Auch die Südhälfte blieb nicht vom Einbruch heißen Wassers verschont, und die Folge war, daß die letzten 245 m vor dem Durchschlag sechs Monate Bauzeit in Anspruch nahmen. Am 24. Februar 1905 ging der Durchschlag vor sich, nachdem der Bau im Oktober 1898 in Angriff genommen worden war. In der Richtung wich die Tunnelachse beim Zusammenstoß von beiden Seiten her um 202 mm, in der Höhe um 87 mm ab, die Abweichung in der Länge war 790 mm. Das Gebirge bestand aus Gneis, Jura und Trias, und war teilweise günstig gelagert. Der Gebirgsdruck war im allgemeinen infolgedessen gering, es trat aber auch streckenweise hoher Gebirgsdruck auf, dem Eichenbalken von 40 zu 40 cm Querschnitt nicht zu widerstehen vermochten, so daß starke eiserne Gevierte eingebaut werden mußten, um ihm standzuhalten. Die Ausmauerung, die sehr kräftig gewählt wurde, hat sich gut gehalten. Der Querschnitt des Tunnels ist in Schwellenhöhe 4,5 m breit und verbreitert sich in den nächsten 2 m auf 5 m; seine Höhe ist 5,5 m über Schwellenhöhe; er mißt 23,2 m<sup>2</sup>.

Der Nordmund des Simplon-Tunnels liegt mit Schwellenoberkante auf 685,77 m, der Südmund auf 633,48 m Seehöhe; dazwischen erhebt sich das Gleis mit 2‰ Steigung von Süden her, mit 7‰ von Norden her auf 704,98 m. Auf 19318 m Länge ist die Tunnelachse gerade, an den Enden schließen sich Bogen an.

Der Bau des Simplon-Tunnels war der Unternehmung Brandt, Brandau & Cie. in Hamburg gegen eine Pauschvergütung von 54,5 Millionen Fr. übertragen worden; er sollte in 5½ Jahren beendet werden. Infolge der beim Bau eingetretenen Schwierigkeiten wurde die Bauzeit um zwei Jahre überschritten, und der Preis wurde um 2,5 Millionen Fr. erhöht. Für nicht vorausgesehene Mehrleistungen erhielt die Bauunternehmung zudem eine Entschädigung von 3,9 Millionen Fr.

Der Ausbau des Stollens II zu einem Tunnel war für den Zeitpunkt in Aussicht genommen, zu dem die Einnahmen aus dem Betrieb der neuen Eisenbahn 40000 Lire je Kilometer jährlich überträfen. Dieser Zeitpunkt trat aber schon bald ein, und im Jahre 1912 wurde mit dem Ausbau begonnen, den die Schweizerischen Bundesbahnen als Nachfolgerin der Jura-Simplon-Eisenbahn in eigener Regie ausführten. Er wurde 1922 vollendet. Der Tunnel II ist 22 m länger als der Tunnel I. Durch seine Inbetriebnahme ist die 500 m lange Ausweichestelle, die in der Mitte des Tunnels I unter der Landesgrenze angelegt worden war, entbehrlich geworden.

Auf Schweizer Seite gab der Bau des Simplon-Tunnels nur Anlaß zu einer Erweiterung des Bahnhofs Brig, in Italien mußte aber neben der Strecke Gozzano—Domodossola, die die Verbindung mit Novara bildet und für Mailand eine Verkürzung der Zufahrt zum Tunnel um 15 km bedeutet, die 56 km lange Eisenbahn Arona—Domodossola entlang dem Lago Maggiore gebaut werden; beide vereinigen sich in der Anschlußstrecke Domodossola—Iselle, in der unter anderem ein Kehrtunnel liegt. Von Schweizer Seite wurde die Kleinbahn von Locarno her, die die Grenze bei Camedo überschreitet, an den Tunnel herangeführt. Auch Turin erhielt über Santhia—Borgomanero guten Anschluß an den Tunnel; ohne diesen Neubau wäre der Weg Turin—Lausanne über Modane kürzer geblieben. Im ganzen mag Italien damals 85 Millionen Lire für den Simplon-Tunnel und seine Zufahrten ausgegeben haben. Diese Anschlußstrecken sind zur Zeit im zweigleisigen Ausbau begriffen. Wenn von ihnen auch die Strecke Arona—Domodossola, wie bereits angegeben, nur 56 km lang ist, so hat doch der Bau des zweiten Gleises etwa 70 Millionen Lire gekostet, woraus schon zu ersehen ist, welche Schwierigkeiten dabei zu überwinden waren. Die Kosten wurden dadurch etwas niedriger gehalten, daß die Tunnel beim Bau des ersten Gleises schon auf ein zweites Gleis zugeschnitten waren.

Auf der Strecke Mailand—Domodossola ist der Ausbau für elektrische Zugförderung im Gang, der ebenso wie der zweigleisige Ausbau eine wesentliche Verbesserung der Verkehrsverhältnisse mit sich bringen wird. Eingleisig bleibt allerdings vorläufig die 23 km lange Strecke Gallarate—Arona, die zwar im Flachland verläuft, also an sich leicht auszubauen wäre, in der aber doch ein 500 m langer Tunnel verbreitert werden müßte.

Seine volle Bedeutung für den Verkehr Italiens hat der Simplon-Tunnel erst durch den Bau und die Betriebseröffnung des im Jahre 1912 fertiggestellten Lötschberg-Tunnels erlangt, der aber nicht in den Kreis unserer Betrachtungen gehört.

#### 4. Die Gotthard-Eisenbahn.

Warum der Gotthard-Tunnel aber hier behandelt werden soll, ist bereits dargelegt worden. Er ist zwar kein italienischer Tunnel, aber sein Bau und der Bau der von Süden her zu ihm führenden Eisenbahnen war eine italienische Angelegenheit, und zwar nicht nur deshalb, weil die Zufahrtsstrecken — diesen Begriff im engeren Sinne verstanden — auf italienischem Gebiet beginnen. Auch die italienischen Quellen, die bei Abfassung der vorliegenden Arbeit benutzt worden sind, widmen der Gotthard-Eisenbahn eingehende Darlegungen, sehen sie also als eine Ausstrahlung des italienischen Verkehrsnetzes an.

Schon im Jahre 1845 war in einem Handelsvertrag zwischen der Regierung von Sardinien, in dem der weitblickende König Karl Albert herrschte, und dem Schweizer Kanton Tessin der Gotthard als eine wichtige Verbindung Italiens nach Norden bezeichnet worden, die aber erst noch entwickelt werden müßte. Wenn es auch bis 1866 gedauert hat, ehe der Plan einer Eisenbahn über oder vielmehr durch den Gotthard greifbare Gestalt annahm, so ist dieser Zeitpunkt doch schon allein ein Beweis dafür, daß man bereits zu einer Zeit, in der der Gedanke, über die Grenzen von Italien hinausgehende Eisenbahnen zu bauen, noch um Anerkennung kämpfen mußte, die Bedeutung des Wegs über den Gotthard richtig erkannt hatte. Für eine Überschreitung der Alpen liegt der Gotthard besonders günstig. Die Ketten des Gebirges treffen hier zu einem Knoten zusammen, daher ist hier nur die Überschreitung eines einzigen Passes nötig, um auf die andere Seite des Gebirges zu gelangen. Im Süden eröffnet sich die fruchtbare und damals noch nicht, aber heute gewerbreiche oberitalienische Ebene, durch die der Weg nach dem Balkan und dem Orient führt. Im Norden verzweigt sich der Weg über ganz Deutschland und darüber hinaus nach England, den Niederlanden, Belgien, weiten Teilen von Frankreich und andererseits auch nach den östlichen Staaten von Europa. Die Gotthard-Eisenbahn hat allerdings auch besondere Bedeutung für den innerschweizerischen Verkehr, indem sie das Tessin, das durch die Alpen von der Nordschweiz getrennt wird, mit ihr in Verbindung bringt, aber damit ist ihre Bedeutung, wie wir gesehen haben, durchaus nicht erschöpft. Auch die Gotthard-Eisenbahn ist eine Straße des Weltverkehrs.

Am 25. Februar 1866 legte die Regierung von Sardinien dem Parlament den Entwurf eines Gesetzes vor, das den Beitritt Italiens zu einer internationalen Vereinigung vorsah, deren Zweck der Bau einer Eisenbahn über den Gotthard war. Im Wettbewerb mit dem Gotthard als ein Glied in der Verbindung zwischen dem Lago Maggiore und dem Bodensee trat der Lukmanier auf, auch der Splügen, aber der Gotthard siegte. Nachdem durch den Ausgang des Krieges mit Österreich im Jahre 1866 die Lombardei italienisch geworden war, war das Bedürfnis einer Verbindung zwischen Italien einerseits, Mittel- und Nord-Europa andererseits dringender als vorher geworden, und auch Deutschland drängte auf die Herstellung einer solchen Verbindung; Italien erkannte, daß Deutschland und nicht Österreich über die Schweiz das Ziel einer nach Norden gerichteten Eisenbahn sein müsse. Dafür sprachen nicht nur

Rücksichten auf Handel und Verkehr, sondern auch politische Gründe.

In den Jahren 1869 bis 1871 verhandelten die am Bau der Gotthard-Eisenbahn beteiligten Staaten Italien, Deutschland und die Schweiz über den Vertrag von Bern, in dem Italien es übernahm, 45 Millionen Lire zu den Baukosten beizutragen. Das Gesetz, das diese Ausgabe genehmigte, wurde am 15. Juni 1871 mit 161 gegen 51 Stimmen angenommen, allerdings nicht ohne daß die Höhe des italienischen Beitrags im Verhältnis zu den Zuschüssen Deutschlands und der Schweiz, je 20 Millionen, bemängelt worden wäre. Die Gotthardbahn-Gesellschaft wurde mit einem Kapital von 34 Millionen Fr. in Aktien gegründet, wozu noch 68 Millionen in Schuldverschreibungen und die 85 Millionen Zuschüsse der genannten Staaten kamen. Der Bau des Tunnels wurde mit Genehmigung der Schweizer Regierung dem Ingenieur Favre gegen eine Entschädigung von 50 Millionen Fr. unter Festsetzung der Bauzeit auf acht Jahre übertragen. Am 1. Oktober 1875 begannen die Bohrmaschinen ihre Arbeit. Die Härte des Gesteins und reichlicher Wasserdrang, auf der Südseite bis 3000 m<sup>3</sup> in der Stunde, erschwerten den Bau, aber am Schalttag der Jahres 1880 wurde der 15 km lange Tunnel bereits durchgeschlagen, und am 1. Juni 1882 wurde der Betrieb durch den Tunnel eröffnet.

Der Gotthard-Tunnel liegt verhältnismäßig hoch; der Bahnhof Göschenen hat eine Seehöhe von 1109 m, der Bahnhof Airolo von 1146 m, trotzdem ist er 15 km lang geworden, was mit der erwähnten Zusammendrängung des Gebirges zu einem Knoten zusammenhängt. Die Achsen des Tunnels trafen sich von beiden Seiten beim Durchschlag mit großer Genauigkeit; die seitliche Abweichung betrug nur 33 cm, die Abweichung in der Höhe nur 5 cm. Allerdings war die Länge des Tunnels um 7,6 m kürzer, als die Berechnung ergeben hatte, was aber doch immerhin nur ein Fehler von einem Zweitausendstel bedeutet.

Der Scheiteltunnel ist bekanntlich bei weitem nicht der einzige Tunnel der Gotthard-Eisenbahn; auf der 210 km langen Strecke Immensee—Chiasso finden sich 80 Tunnel von zusammen 46,4 km Länge, darunter die bekannten sieben Kehrtunnel.

Auf weitere Einzelheiten soll hier nicht eingegangen werden, erwähnt sei nur noch, daß zu den Großtaten neuzeitlicher Technik auch noch die Einführung elektrischer Zugförderung auf der Gotthard-Strecke gehört, die auch auf die Zufahrten ausgedehnt wurde, so daß von 1924 an Züge mit Strom als Zugkraft von Basel und Zürich bis Chiasso fahren konnten. Die erste Teilstrecke mit elektrischer Zugförderung war die 15,7 km lange Strecke Airolo—Göschenen gewesen, wo am 13. September 1920 der Dampfbetrieb zu Ende ging.

Während vorher der Güterverkehr über den Gotthard infolge der Hindernisse, die ihm das Gebirge in den Weg legte, mengenmäßig unbedeutend gewesen war, entwickelte er sich nach Eröffnung der Eisenbahn so, daß schon im Jahre 1903 der Verkehr mit Deutschland die Beförderung von 338 000 t umfaßte, während mit der Schweiz 248 000 t Güter ausgetauscht wurden. Erheblichen Gewinn hatte davon der Hafen Genua.

Die weiteren Eisenbahnen, die vom heutigen Italien über und durch die Alpen führen, gehören nicht eigentlich in den Kreis der vorliegenden Betrachtungen. Sie haben zwar auch ihre Tunnel, aber nicht einen Tunnel wie den Mont Cenis-, den Simplon- und den Gotthard-Tunnel, der den Bau der ganzen Eisenbahn beherrscht hatte und heute noch das überragende Wahrzeichen dieser Strecken ist. Überdies sind diese Eisenbahnen, die den Verkehr nach Osten vermitteln und deren Bedeutung sowohl für den Verkehr wie als kühne Taten der Ingenieurkunst durchaus nicht verkannt werden soll, in Gebieten gelegen, die zur Zeit ihres Baus weit von der italienischen Grenze entfernt lagen und die, ganz abgesehen von ihrer politischen Zugehörigkeit zu einem fremden Reich, auch

nicht geographisch mit Italien in dem Zusammenhang standen wie das Tessin, im Gotthard endigend.

### 5. Die Giovi-Eisenbahnen.

Die Alpen sind nicht das einzige Gebirge, das der Eisenbahnbau durchdringen mußte, um Italien mit einem Eisenbahnnetz zu versehen, wie es seine Verkehrsbedürfnisse erfordern. Auch die Apenninen, die, sich in den Abruzzen bis auf 2920 m erhebend, Italien von Nizza bis Messina in 1200 km Länge durchziehen, also zwischen den beiden Küsten der langgestreckten Halbinsel eine Art Schranke bilden, haben den Eisenbahnbau vor Aufgaben gestellt, die nicht leicht zu lösen waren.

Den ersten Apennin-Übergang bildete die 165 km lange Eisenbahn Genua—Turin (Bild 1) unter dem Giovi-Paß, deren Bau schon im Jahre 1846 begonnen wurde, aber, was die Schwierigkeiten, die dem Bau im Wege standen, beleuchtet,

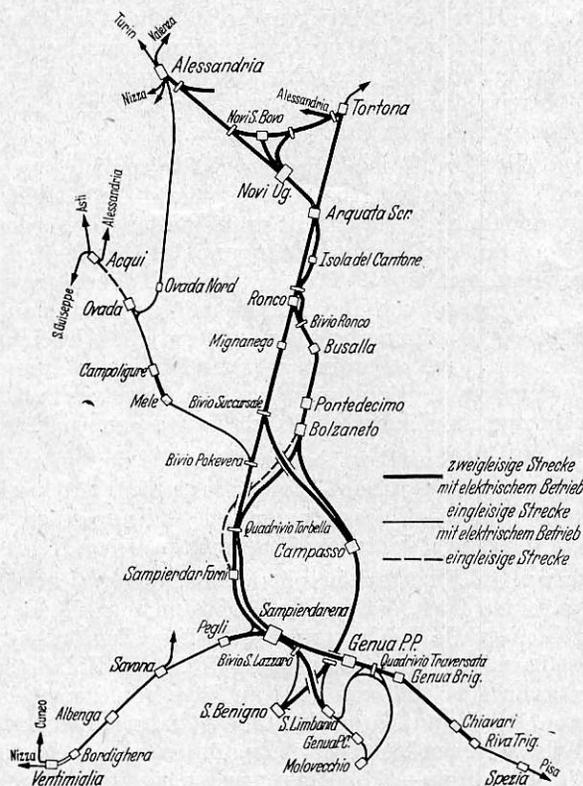


Bild 1. Lageplan der Giovi-Eisenbahnen mit ihren Zufahrten.

erst am 18. Dezember 1855 in ihrer ganzen Länge in Betrieb genommen werden konnte. In richtiger Erkenntnis ihrer Bedeutung für den Hafen Genua war der erste Zug, der dabei über die Giovi-Eisenbahn rollte, ein Güterzug. Marseille hatte damals bereits eine Eisenbahnverbindung mit seinem Hinterland und war dadurch Genua überlegen, das somit mehr und mehr an Bedeutung verlor. Zur vollen Entwicklung kam Genua mit seinem Hafenverkehr allerdings erst, als ihm auch der Mont Cenis-, der Gotthard- und der Simplon-Tunnel den Weg nach Norden öffneten. Es hat in der Folgezeit Marseille überflügelt.

Von Genua bis zum Fuße des Gebirges verläuft die erste Giovi-Eisenbahn — es folgte ihr bald, wie wir sehen werden, eine zweite — fast auf ihrer ganzen Länge entweder über Brücken oder zwischen Stützmauern. Weiterhin führt sie durch zwei Tunnel von 686 m und 197 m Länge. An vier Stellen ist sie auf 36 m bis 106 m Länge überbaut. Der Giovi-Tunnel, mit dem sie den Apennin auf 360 m Höhe durchdringt, ist 3,3 km lang. Die Giovi-Strecke führte als erste unter den italienischen Eisen-

bahnen durch Gelände, das Tunnelbauten nötig machte, und der Giovi-Tunnel verdient daher, wenn er auch mittlerweile von anderen Tunneln an Länge weit überholt worden ist, im Lichte der Zeit seines Baus betrachtet, namentlich wegen seiner Länge besondere Beachtung. Auf den Haupttunnel folgen auf dem Nordhang des Gebirges vier weitere Tunnel mit Längen unter 1000 m.

Die steilen Neigungen der ersten Giovi-Eisenbahn — sie gehen bis  $35\text{‰}$  — erschwerten den Betrieb sehr; um sie mit Lasten zu befahren, wie sie der Verkehr mit sich brachte, mußten besonders leistungsfähige Lokomotiven entworfen und gebaut werden, die unter dem bezeichnenden Namen „Mastodonti dei Giovi“ in die Geschichte der italienischen Eisenbahnen eingegangen sind. Aber auch durch sie wurden die betrieblichen Schwierigkeiten nicht behoben, und im Jahre 1883 wurde der Bau einer Umgebungsbahn, „Succursale dei Giovi“ genannt, in Angriff genommen, seit deren Fertigstellung im Jahre 1889 die alte Strecke nur noch dem Ortsverkehr dient. Fast die Hälfte ihrer Länge von 23,7 m liegt in Tunneln, deren Zahl 18 beträgt. Der Haupttunnel bei Ronco ist 8,3 m lang. Infolge der Verbesserung der Steigungs- und Krümmungsverhältnisse — die steilste Neigung ist  $16\text{‰}$  — ist die Leistungsfähigkeit der neuen Strecke dreimal so groß wie die der alten, aber auch sie konnte den Anforderungen des steigenden Verkehrs auf die Dauer nicht genügen. Es wurden Vorarbeiten für eine Eisenbahn angestellt, die das Gebirge auf 270 m über dem Meere überschreiten und Neigungen bis höchstens  $9\text{‰}$  haben sollte; dabei hätte allerdings ein 16 km langer Scheiteltunnel in Kauf genommen werden müssen. Diese Pläne sind zur Zeit vertagt, nachdem auf Anordnung von Mussolini die Kraftwagenstraße Genua—Serravalle zur Entlastung der Eisenbahn angelegt worden ist.

### 6. Die „Direttissima“ Rom—Neapel.

Die neuesten Taten des italienischen Eisenbahnbaus, bei denen es ohne Tunnelbauten nicht abging, sind die als „Direttissime“ bezeichneten Eisenbahnen. Man versteht unter ihnen Strecken, die bereits durch eine Eisenbahn verkündete Städte auf einem kürzeren Weg verbinden, Strecken, bei denen es weniger als bei den vorhandenen Eisenbahnen auf den Ortsverkehr als vielmehr auf den durchgehenden Verkehr zwischen den beiden Endpunkten ankommt. Solche Eisenbahnen haben also nur Sinn zwischen Brennpunkten des Verkehrs.

Am 30. Oktober 1927 ist die erste Direttissima im vorstehend angedeuteten Sinn, die neue Strecke Rom—Neapel, in ihrer ganzen Länge dem Betrieb übergeben worden, nachdem auf einzelnen Teilstrecken schon seit 1920 und 1922 ein Zugverkehr stattgefunden hatte. Mit dem Bau der alten Verbindung zwischen den beiden Städten wurde schon um die Mitte des vorigen Jahrhunderts begonnen, indem einerseits 1843 die damalige bourbonische Regierung des Königreichs beider Sizilien die Teilstrecke Neapel—Caserta—Capua, andererseits 1846 der Papst, der souveräne, auch weltliche Herrscher des Kirchenstaats, die Eisenbahn von Rom nach Ciampino und Frascati, die später über Ciampino hinaus nach Velletri und Frosinone verlängert wurde, in Angriff nahm. Die italienische Kleinstaaterie, mangelnde Erkenntnis für die Bedeutung der Eisenbahnen und das Fehlen eines Verkehrsbedürfnisses, das hier wie an manchen anderen Stellen erst durch das Vorhandensein einer Verkehrsmöglichkeit geweckt worden ist, hatten zur Folge, daß man mit diesen Bahnbauten weniger an eine Verbindung der beiden wichtigen Städte Rom und Neapel, der Hauptstädte des Kirchenstaats und des Königreichs beider Sizilien, dachte, sondern mehr eine bequeme Verbindung zwischen Nachbarstädten und mit der Hauptstadt des eigenen Landes schaffen wollte. Erst später, im Jahre 1861, als Italien lernte, „italienisch“ zu denken, wurde die Eisenbahn von

Capua nach Cepiano bis an die Grenze des Kirchenstaates verlängert, während ihr von der anderen Seite die Verlängerung der Eisenbahn über Frosinone entgegenkam. Die Verbindung Rom—Neapel machte auf diesem Wege einen großen Umweg; bei einer Entfernung der beiden Endpunkte in der Luftlinie von nur 170 km ist sie 274 km lang. Sie hat zahlreiche Krümmungen sowie steile und lange Steigungen. Anfangs konnte sie dem Verkehrsbedürfnis genügen, aber als Rom die Hauptstadt des geeinigten Italien wurde, entwickelte sich ein lebhafter Verkehr in seiner Längsrichtung, der also über die Strecke Neapel—Rom—Civitavecchia—Pisa—Genua ging, und schon 1874 mußte die Regierung gegenüber Klagen im Parlament zusage, daß sie Vorarbeiten für eine bessere Verbindung zwischen Rom und Neapel anstellen werde. Zahlreiche Pläne wurden aufgestellt. Einer von ihnen wurde vom Heere abgelehnt, weil die Eisenbahn zu nahe an der Küste verlief, aber auch die anderen kamen nicht zur Ausführung. 1885 wurde die vorhandene Strecke zweigleisig ausgebaut, auf Grund eines Eisenbahngesetzes von 1888 wurden einige Verbesserungen der Linienführung vorgenommen, wodurch die Entfernung zwischen Rom und Neapel um 25 km verkürzt wurde. Weitere Verbesserungen wurden aus Mangel an Mitteln zurückgestellt, und

werden. Die Reisenden, die von Rom kommend, nach dem Süden, also nach Calabrien und Sizilien, und jene, die nach dem Südosten, also nach der jenseitigen Küste weiter fahren wollten, mußten also zweimal umsteigen, um die Fahrt vom Hauptbahnhof fortzusetzen. Nachträglich sind die nötigen Verbindungen hergestellt worden, so daß die Züge nun auch in diesen Richtungen durchgeführt werden können, wodurch für wichtige Verkehrsbeziehungen bedeutende Verbesserungen erzielt worden sind. Es wurden eine Anzahl neue Züge Turin—Genua—Rom und weiter nach Neapel und Reggio di Calabria mit Anschluß nach Palermo und Syracus eingelegt sowie durchgehende Wagen auf dieser Strecke eingestellt.

Die Direttissima Rom—Neapel (Bild 2) folgt zunächst der Eisenbahn Rom—Cassino, die sie, 6,4 km vom Ausgangspunkt entfernt, in einer Überführung kreuzt. Nach weiteren 2 km wird auch die Eisenbahn Rom—Albano schienenfrei gekreuzt. Die Direttissima führt weiter durch welliges Gelände, überschreitet zwei Flüsse und begleitet bei Sezze Romano, 70 km von Rom entfernt, die Eisenbahn Velletri—Terracina auf 5 km Länge, die sie, 15 km von hier entfernt, nochmals erreicht. Dazwischen liegen die zwei ersten Tunnel von 829 m und 445 m Länge. Hinter einem Flußübergang folgt dann ein 7,5 km langer

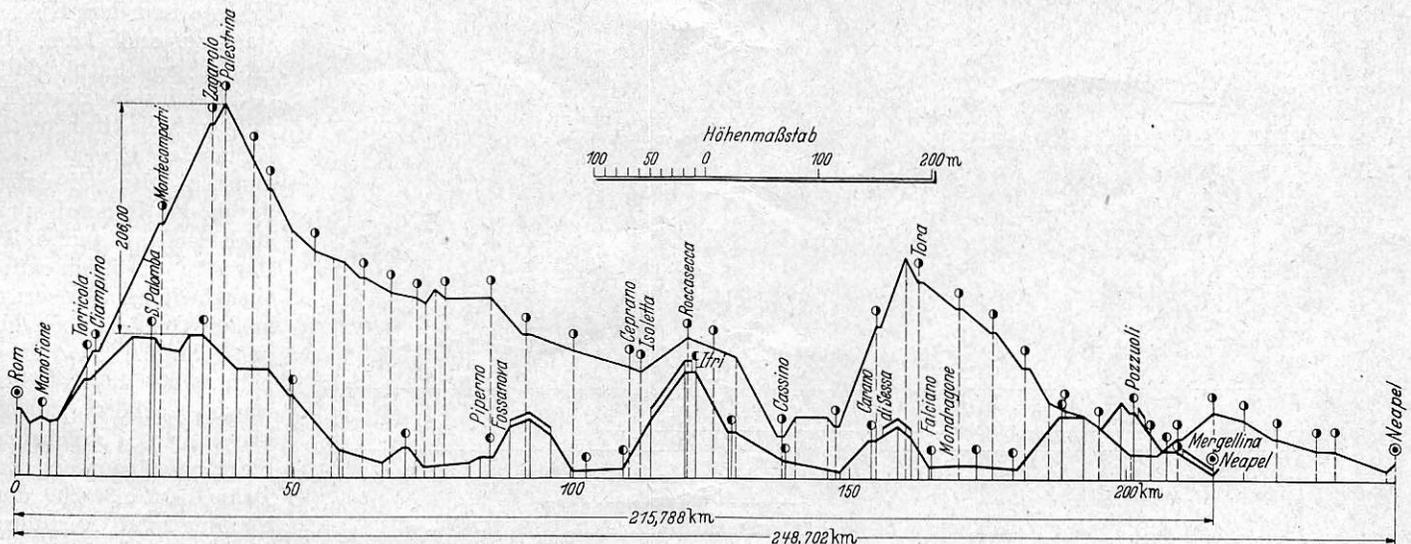


Bild 2. Längsprofil der Direttissima Rom—Neapel und der alten Strecke.

aus demselben Grunde ruhten auch die Pläne für den Bau einer neuen Eisenbahn Rom—Neapel. Ein Hochwasser des Sacco, das eine Anzahl Brücken wegriß und eine drei Monate dauernde Unterbrechung des Betriebs verursachte, gab Anlaß, die Pläne wieder aufzunehmen. 1904 wurden die ersten Mittel zum Bau der Direttissima bewilligt, der Übergang zum Staatsbetrieb im Jahre 1905 gab der Angelegenheit einen neuen Anstoß, und 1908 wurde der Bau endlich in Angriff genommen, und so hat er denn fast 20 Jahre gedauert. Erst als der Faschismus zur Herrschaft kam, wurde der Bau tatkräftig betrieben, und Mussolinis Anordnung, daß die Eisenbahn am fünften Jahrestag des Marschs auf Rom eingeweiht werden solle, wurde ausgeführt.

Man griff für die Neubaustrecke auf Pläne aus dem Jahre 1880 zurück. Die Strecke sollte danach über Aversa in den Hauptbahnhof Neapel eingeführt werden, aber um Gelände zu schonen, das man glaubte besser zu anderen Zwecken verwenden zu können, wurde die Eisenbahn über Pozzuoli geführt, von wo sie in einem Tunnel unter dem Posilipp den Hauptbahnhof erreichen sollte. Es zeigte sich jedoch, daß hier der Fels weit weniger standfest ist, als man erwartet hatte, es traten Schäden auf, die es bedenklich erscheinen ließen, schnell fahrende Züge über diese Strecke zu leiten, und die Eisenbahn endigte zunächst in dem Neapeler Bahnhof Mergellina; zur Fahrt nach dem Hauptbahnhof mußte die Stadtbahn benutzt

Tunnel unter dem Monte Ausoni, weiterhin der ebenfalls 7,5 km lange Tunnel unter dem Monte Aurungi. Zwischen beiden liegt noch ein kurzer Tunnel von 127 m Länge, und ehe Formia, 128 km von Rom entfernt, erreicht wird, muß noch ein 790 m langer Tunnel durchfahren werden. Hinter Formia begleitet die Direttissima die Eisenbahn Sparanise—Gaeta, unter der sie in einem Tunnel von 203 m Länge unterfährt wird, auf etwa 10 km Länge, durchquert die Ebene des Minturno, kreuzt den Garigliano, führt durch einen 5,4 km langen Tunnel und erreicht schließlich durch zwei Tunnel von 1,9 km und 387 m Länge Pozzuoli.

Die Länge der Direttissima Rom—Neapel ist 216 km, wovon 174 km in Geraden, 42 km in Krümmungen liegen. Der kleinste Halbmesser ist 800 m, nur bei der Einfahrt in den Bahnhof Formia kommt eine Krümmung von 500 m Halbmesser vor. Die ganze Strecke ist frei von Straßenkreuzungen in Schienenhöhe. Die steilste Neigung ist 10<sup>0</sup>/<sub>00</sub> zwischen Rom und Formia, 8<sup>0</sup>/<sub>00</sub> zwischen Formia und Neapel. Es kommen auffallend lange Geraden vor; die längste von ihnen zwischen Carano und Falciano ist 16,7 km, eine andere 10,8 km lang. Die Tunnel haben zusammen eine Länge von 25 km. 47 größere Brücken waren nötig, um die Eisenbahn über die anderen Eisenbahnen, über Flüsse und Straßen zu führen; dazu kommen noch 640 kleinere Kunstbauten von weniger als 10 m Spann-

weite. Der Boden ist vulkanischen Ursprungs und bereitete dem Bau manche Schwierigkeiten. Die Strecke ist mit 12 m langen Schienen von 46,3 kg/m-Gewicht im Freien, von 50,6 kg/m-Gewicht in den Tunneln, den heute noch schwersten der italienischen Eisenbahnen, ausgestattet worden, die allerdings heute in 18 m Länge angeliefert und zu größeren Strängen lückenlos verschweißt werden. Die Signale arbeiten selbsttätig. Ein Teil der Strecke ist von Anfang an elektrisch betrieben worden, mittlerweile ist sie in ihrer ganzen Länge auf Strom als Zugkraft umgestellt worden.

Die Verkürzung der Entfernung Rom—Neapel durch die Direttissima gegenüber der alten Strecke beträgt zwar nur 33 km, in ihrer Wirkung kann sie aber wegen verbesserten Neigungs- und Krümmungsverhältnisse auf mehr als das doppelte angesetzt werden. Gegen 4 Stdn. 25 Min. betrug die Fahrzeit Rom—Neapel alsbald nach der Betriebseröffnung 2 Stdn. 50 Min., und inzwischen ist sie infolge der Einführung

Emilia und von Toscana, als ein Meisterwerk da. Sie zeichnet sich durch ihren Apennin-Tunnel aus, der mit 18,5 km Länge zwar hinter dem Simplon-Tunnel mit seinen 19,7 km zurücksteht, jenen aber dadurch übertrifft, daß er zweigleisig angelegt ist, während der Simplon-Tunnel erst durch eine zweite Röhre ergänzt werden mußte, um eine zweigleisige Schienenverbindung zwischen Brig und Domodossola herzustellen.

Die erste Verbindung Bologna—Florenz, die also die Po-Ebene mit dem Tal des Arno, den Apennin überschreitend, verbindet, gehört zu den ältesten Eisenbahnen von Italien. Mehrere Täler, die hier in das Gebirge einschneiden, schienen den Weg für eine Eisenbahn zu weisen; in dem einen, vom Reno durchflossen, konnte die Eisenbahn über Pistoia geleitet werden, während in dem anderen, dem Tal des Bisenzio, der Weg weiter über Prato führte. Auf der Westseite des Gebirges war damals schon die Eisenbahn Florenz—Prato—Pistoia im Bau, die über Lucca und Pisa Livorno zum Ziel hatte. Aus politischen

Gründen siegte die Eisenbahn Bologna—Pistoia, über deren Bau im Jahre 1851 ein Vertrag zwischen Österreich, Toscana, Parma, Modena und dem Kirchenstaat zustande kam. Den Ausschlag hatte dabei Österreich mit seinem Einfluß auf die italienischen Kleinstaaten gegeben. Zugunsten der Eisenbahn durch das Renotal sprach auch der Umstand, daß sie Porretta berühren würde, einen beliebten Badeort mit heißen Quellen hoch oben im Gebirge. Diese Eisenbahn, die 1864 eröffnet wurde, gehört zu den klassischen Gebirgsbahnen. Sie erforderte umfangreiche Tunnelbauten, zu deren Planung und Ausführung Mut gehörte, denn noch gab es dafür keine Vorbilder. Der Giovi-Tunnel, der Mont Cenis-Tunnel waren noch nicht fertig-

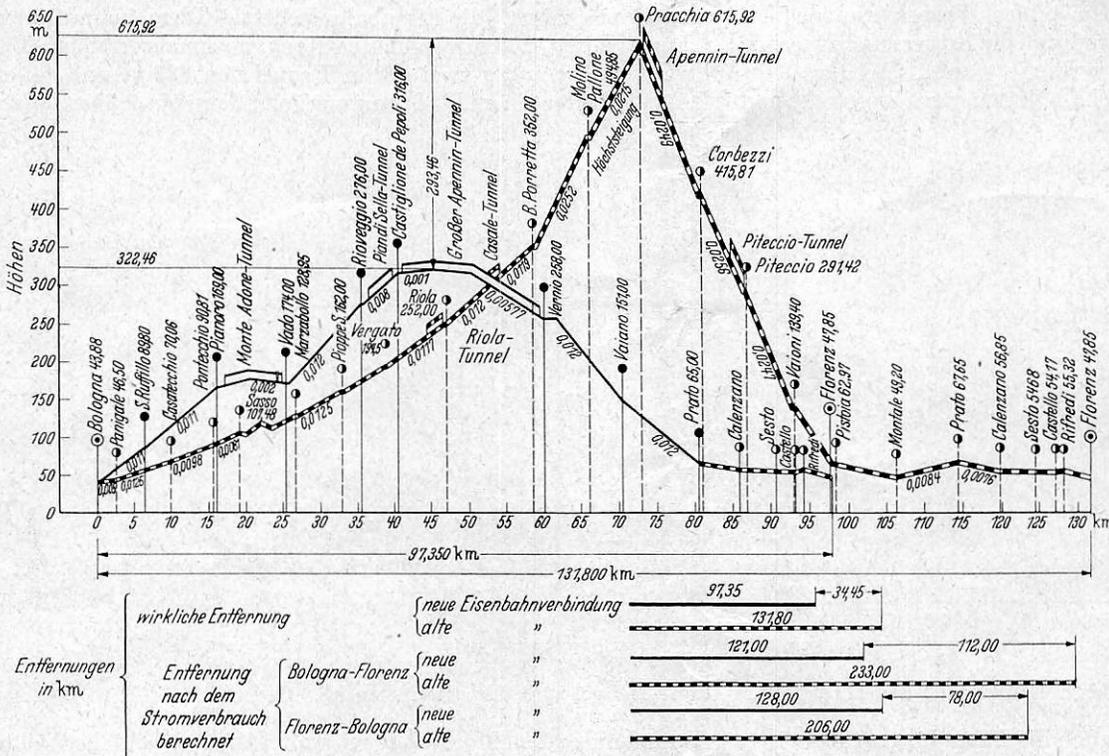


Bild 3. Längsprofil der alten und der neuen Verbindung Bologna—Florenz.

elektrischer Zugförderung weiter auf 2 Stdn. verkürzt worden. Ein Vorteil, den sie für den Betrieb und die Unterhaltung bietet, besteht auch darin, daß sie hochwasserfrei geführt ist, also Betriebsstörungen, Hochwasserschäden und Arbeiten zur Hochwasserbekämpfung nicht zu befürchten sind. Sie folgt im allgemeinen der Küste, allerdings in größerer Entfernung, während die alte Strecke weiter landeinwärts verlief, und durchzieht fruchtbare Gegenden, die damals, als sie gebaut wurde, als entwicklungsfähig angesehen wurden und in dieser Beziehung nicht enttäuscht haben. Die Direttissima dient nicht nur dem beschleunigten Personenverkehr, sondern sie entlastet auch die alte Strecke im Güterverkehr, der einen solchen Umfang angenommen hatte, daß jene ihn vor der Eröffnung des Betriebes auf der Direttissima nicht mehr bewältigen konnte. Von allen diesen Verbesserungen hat der Süden von Italien den größten Nutzen.

### 7. Die „Direttissima“ Bologna—Florenz.

Zeitlich auf die Direttissima Rom—Neapel folgend, jene aber als Bauwerk technisch überragend, steht die Direttissima Bologna—Florenz, also die Verbindung der Hauptstädte der

gestellt, und die anderen Alpentunnel lagen noch weit im Felde.

Die Eisenbahn, die unter dem Namen Porrettana bekannt geworden ist, steigt im Tale des Reno mit Neigungen bis 26<sup>0</sup>/<sub>00</sub> und überschreitet in einem 3 km langen Tunnel das Gebirge (Bild 3); dann folgt ein steiler Abstieg, der Anlaß zu einer Linienführung gab, wie sie für andere Gebirgsbahnen Vorbildlich geworden ist: die Strecke mußte hinter dem Scheiteltunnel bis Pistoia durch Windungen künstlich verlängert werden. Die Porrettana gilt für eine der reizvollsten Gebirgsstrecken unter den älteren italienischen Eisenbahnen.

Auf die Dauer konnte die Porrettana den Anforderungen, die der Verkehr stellte, nicht genügen. Es reichte auch nicht aus, daß sie durch die Eisenbahnen Florenz—Faenza und Parma—Spezia entlastet wurde. Die steilen Neigungen, bis 26<sup>0</sup>/<sub>00</sub>, die zahlreichen Krümmungen mit Halbmessern bis herunter zu 300 m, die 41% der Streckenlänge ausmachten, erschwerten den Betrieb, und infolge der Raumentwicklung in den Tunneln war die Zahl der Züge, die über sie geleitet werden konnten, beschränkt; auch die geringe Zahl der Bahnhöfe mit Kreuzungsgleisen ließ eine Vermehrung der Zugzahl nicht zu. Schon im Jahre 1882 wurde daher der Gedanke, eine Eisenbahn

von Bologna nach Florenz unter Umgehung von Pistoia zu bauen, wieder aufgenommen, es dauerte aber bis 1902, ehe eingehende Pläne aufgestellt wurden, und sogar bis 1913, ehe an die Ausführung herangetreten wurde. Unterdessen waren eine ganze Anzahl Pläne bearbeitet worden, von denen endlich einer ausführungsfähig wurde, und zwar wurde die Neubaustrecke nun als Direttissima erbaut, nämlich (Bild 3) mit einer größten Steigung von  $12\text{‰}$ , mit einem Mindesthalbmesser von 600 m, Bedingungen, die zum Bau einer tunnelreichen Strecke führten.

Sie wurde zweigleisig angelegt. Nur auf  $27\text{‰}$  ihrer Länge liegt sie in Krümmungen. Die als steilste zugelassene Neigung von  $12\text{‰}$  kommt nur im Freien vor, in den Tunneln ist sie auf  $8\text{‰}$  ermäßigt, und im Haupttunnel wird die Steigung von  $5,77\text{‰}$  nicht überschritten. Die Zahl der Tunnel beträgt 31; ihre Länge ist im ganzen 36,7 km. Zwischen ihnen liegen 40 Brücken von zusammen 4,5 km Länge mit 10 bis 25 m Lichtweite, alle in Ziegelmauerwerk mit Zementmörtel ausgeführt. Ein großer Teil des Bahnkörpers ist von Stützmauern eingefaßt.

Der Haupttunnel der Direttissima Bologna—Florenz (Bild 4) ist, wie schon erwähnt, 18,5 km lang. Der Bau dieses Tunnels wurde außer von den beiden Enden von der Mitte her in Angriff genommen, wo zwei unter  $50^\circ$  geneigte Schächte von 513 m und 490 m Länge mit einem Querschnitt von  $17\text{ m}^2$  den Zugang zum Tunnel bildeten. Ihre Eingänge an der Erdoberfläche sind 81 m voneinander entfernt, ihre Ausmündungen im Tunnel 123,5 m. 1400 Stufen führen in die Tiefe und machen die Schächte begehbar, den Verkehr in ihnen vermittelte aber eine Seilbahn, die täglich bis 800 t Abraum abfordern konnte. Auch Leitungen für die Druckluft und elektrische Leitungen waren in den Schächten untergebracht. Sie sind auch nach Beendigung der Bauarbeiten als Lüftungsschächte erhalten geblieben. Vor Beginn der Bauarbeiten wurde das Gebirge durch zahlreiche Bohrungen, die bis unter die Tunnelsohle abgeteuft wurden, eingehend untersucht. Zwei Feldbahnen mit 0,95 m Spurweite von zusammen 49 km Länge wurden beiderseits an die Tunnelmündungen herangeführt. Die Baustoffe und der sonstige Bedarf, den sie anforderten, wurden, so weit sie an der Baustelle in der Mitte des Tunnels gebraucht wurden, mit einer Seilbahn an das Mundloch der Schächte gebracht.

Die Bauarbeiten hatten unter ungewöhnlich starkem Wasserandrang zu leiden, was Anlaß gab, die Ausmauerung besonders sorgfältig abzudichten. Das Wasser drang zeitweilig unter einem Druck von 15 atü aus. Das Firstgewölbe hat je nach der Art des durchörterten Gebirges eine Stärke von 0,54 m bis 1,02 m, das Sohlgewölbe von 0,4 m bis 0,8 m (Bild 5).

Außer durch den Wasserandrang wurde der Bau auch durch Gasausbrüche und durch Feuer behindert. Eine Feuersbrunst dauerte sieben Monate; das Feuer konnte nur dadurch zum Erlöschen gebracht werden, daß der von ihm betroffene Teil des Tunnels durch Mauern abgeriegelt wurde. Um die Arbeiten

jenseits der Brandstelle fortsetzen zu können, wurde ein Umgehungsstollen aufgeföhren.

Der Apennin-Tunnel liegt 45 km von Bologna entfernt. Er verläuft geradlinig. Die Steigung in ihm ist  $1\text{‰}$  auf 4775 m Länge, dann fällt er unter  $2,46\text{‰}$  auf 4751 m Länge und unter  $5,77\text{‰}$  auf 8894 m Länge. Am Nordeingang liegen die Schienen auf 317,69 m Höhe, am Südeingang auf 258,84 m Höhe, die größte Höhe ist, wie schon erwähnt, 322,46 m. Der Tunnel hat zwischen First- und Sohlgewölbe eine lichte Höhe von 7,4 m

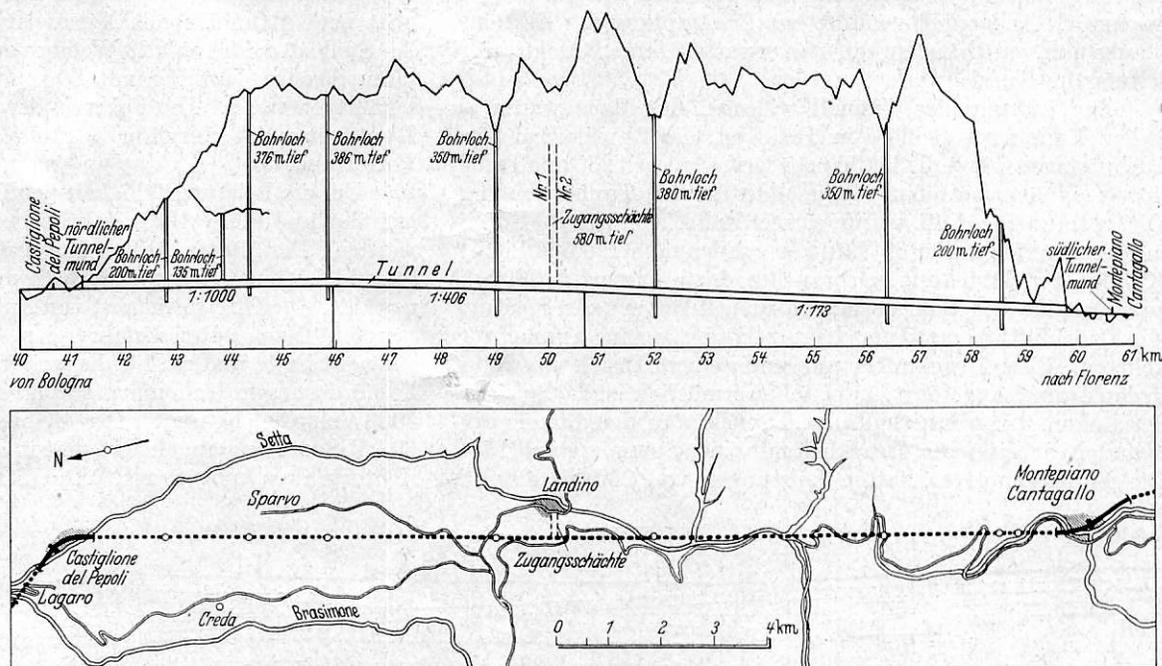


Bild 4. Längsprofil und Lageplan des neuen Apennin-Tunnels.

bis 7,9 m und ist 8,8 m bis 8,9 m breit. In der Mitte ist er auf 154 m Länge auf 17 m verbreitert, wobei die Höhe 9 m beträgt. Hier ist das Scheitelgewölbe 1,23 m, das Sohlgewölbe 1,02 m

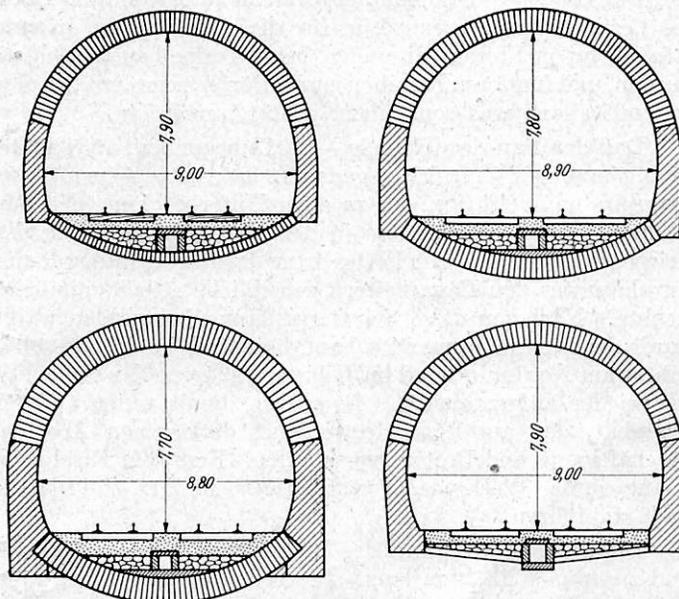


Bild 5. Ausmauerung der verschiedenen Teile des Apennin-Tunnels.

stark. Von dieser Verbreiterung gehen Seitentunnel aus, die am anderen Ende wieder in den Tunnel einmünden (Bild 6). Der eine Seitentunnel nimmt zwei Gleise auf, der andere ist eingeleisig. Hier können also langsam fahrende Züge von schneller

fahrenden überholt werden. In den Nebengleisen haben Züge von 450 m Länge Raum; sie können ohne anzuhalten in die Überholungsgleise ein- und ebenso aus ihnen nach der Überholung ausfahren.

Zur Förderung des Wassers, das stellenweise in Mengen bis 600 l/s eindrang, aus dem Tunnel waren 37 Pumpen mit elektrischem Antrieb angesetzt; eine Leistung von 6600 PS war nötig, um des Wasserandranges Herr zu werden, und die Pumpen mußten bis 1200 l/s fördern. Im ganzen wurden durch die mittleren Schächte 23 Millionen Kubikmeter Wasser ausgepumpt. Andererseits mußte zur Bekämpfung des Gesteinstaubes und von Bränden, die man erwartete, eine Druckwasserleitung im Tunnel verlegt werden.

Zur Lüftung des Tunnels während des Baus waren an jedem Ende zwei Gebläse in Tätigkeit, die 24 m<sup>3</sup>/s, bei Gasausbrüchigen zeitweilig bis 36 m<sup>3</sup>/s Druckluft mit 250 mm Druck durch Kanäle von 6,5 m<sup>2</sup> Querschnitt in den Tunnel pfeiften. Die verbrauchte Luft wurde durch Rohre von 40 cm Durchmesser abgeführt. Für die Lüftung wurden täglich 6,5 Millionen Kubikmeter Druckluft verbraucht; dazu kamen 240 000 m<sup>3</sup> zum Antrieb der Bohrmaschinen und 40 000 m<sup>3</sup> zur Speisung der Druckluftlokomotiven, die zur Förderung im Tunnel verkehrten. Diese Druckluft wurde unter einem Druck von 200 at in den Tunnel eingeführt. Zapfstellen ermöglichten die Speisung der Lokomotiven innerhalb des Tunnels. In den Lokomotivzylindern arbeitete die Druckluft mit einer Spannung von 15 at. Die 14 Lokomotiven hatten Leistungen von 200 bis 490 PS.

Vorzüge, die dem Betrieb zugute kommen. Sie ist 97 km lang, 35 km kürzer als jene, ihr höchster Punkt liegt auf 322 m Seehöhe gegen 616 m bei der Porrettana. Ihre Neigungsverhältnisse sind bereits dargelegt. Von den 80 km zwischen Bologna und Prato, wo die Direttissima 17 km von Florenz entfernt an die alte Strecke anschließt, liegen 58 km in Geraden, von denen die längste 18,7 km lang ist. Der kleinste Halbmesser war mit 500 m geplant, ist aber bei der Ausführung, wie bereits erwähnt, auf 600 m vergrößert worden. Die Direttissima ist vollständig frei von Straßenkreuzungen in Schienenhöhe. An ihr liegen acht neue Bahnhöfe mit Nebengleisen für 500 m lange Züge. An Stelle der Züge mit 23 Wagen von 480 t, der Höchstlast der alten Strecke, kann sie mit Zügen von 48 Wagen und 1000 t befahren werden. Die Fahrzeit der schnellsten Züge über die Direttissima ist ungefähr 1 Stde. gegen 2 1/2 Stdn. auf der Porrettana.

Um die Leistungsfähigkeit der Porrettana zu erhöhen, war auf ihr im Jahre 1927 elektrische Zugförderung eingeführt worden. Der älteren Auffassung der italienischen Eisenbahnen folgend hatte man dafür Drehstrom mit 3700 Volt Spannung gewählt. Die Direttissima ist von Anfang an elektrisch befahren worden. Nach guten Erfahrungen, die man an anderer Stelle gemacht hatte und die für die weitere Ausdehnung elektrischer Zugförderung in Italien maßgebend geworden sind, diente dazu 3000 Volt-Gleichstrom. Der Strom wird als Drehstrom mit 60 kV Spannung angeliefert und in sieben Quecksilber-Gleichrichterwerken umgeformt. Die Strecke Prato—Florenz, die

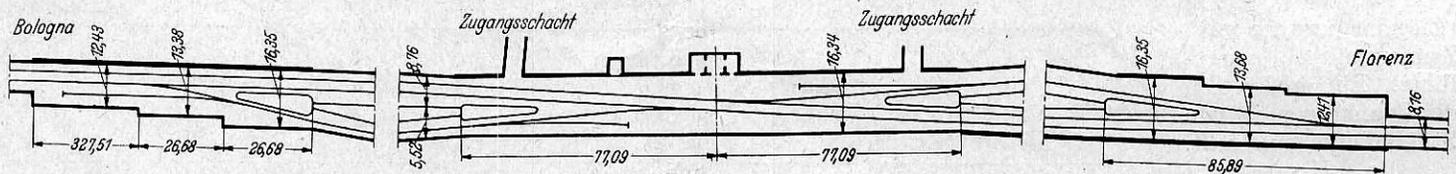


Bild 6. Überholungsgleise im Apennin-Tunnel.

Für die Förderung standen 216 Wagen mit 12 t Tragfähigkeit zur Verfügung. Die Arbeiter wurden ebenfalls mit dieser Eisenbahn vor Ort gebracht.

Die Lage der Tunnelmündungen in unbewohnten Tälern des Gebirges machte es nötig, für die Arbeiter, die in einer Stärke von mehreren tausenden beim Tunnelbau beschäftigt wurden, und für deren Familien ganze Dörfer, sogar mit Schulen, und mit allem, was sonst dazu gehört, anzulegen.

Daß der Bau des Tunnels — 1913 begonnen, 1934 in Betrieb genommen — so lange gedauert hat, hatte seinen Grund einerseits im Weltkrieg, der zu einer Unterbrechung der Bauarbeiten zwang, andererseits in den Verhältnissen nach dem Kriege, wo es an Geld zur Fortsetzung des Baus fehlte und auch Unruhe unter den Bauarbeitern gedeihliche Arbeit unmöglich machte. Nachdem diese Schwierigkeiten überwunden waren, wurde der Bau im Januar 1920 am Südmund, im Juli desselben Jahres am Nordmund und im Februar 1924 von den Schächten aus wieder aufgenommen. Es wurde damit unter anderem bezweckt, den aus dem Heeresdienst entlassenen Arbeitern Beschäftigung und Brot zu verschaffen. Erst dem Faschismus gelang es, das Werk wieder tatkräftig zu fördern und glatt zu Ende zu führen.

Die übrigen 30 Tunnel der Direttissima Bologna—Florenz sind zusammen 18,2 km lang. Die bedeutendsten unter ihnen sind der Monte Adone-Tunnel mit 7,1 km Länge und der Pian di Setta-Tunnel mit 3,1 km Länge. Namentlich der letztgenannte machte beim Bau große Schwierigkeiten infolge des auftretenden starken Gebirgsdruck, unter dem die Auszimmerung wiederholt zusammenbrach. Das Gewölbe hat hier eine Stärke bis 1,5 m.

Die Direttissima hat gegenüber der Porrettana manche

ja zur alten Verbindung Bologna—Florenz gehört, ist vor der Betriebseröffnung auf die neue Stromart umgestellt worden. Die Schnellzüge werden mit Lokomotiven der Achsanordnung 2.C<sub>0</sub>.2 und 2.B<sub>0</sub>.B<sub>0</sub>.2, die Güterzüge mit Lokomotiven des Achsbilds 1.D<sub>0</sub>.1 befördert. 120 km in der Stunde ist die fahrplanmäßige Höchstgeschwindigkeit, die Lokomotiven sind aber für eine Fahrgeschwindigkeit von 150 km in der Stunde ausgelegt.

Die Bedeutung der Direttissima Bologna—Florenz erschöpft sich natürlich nicht in der Verbesserung der Verbindung zwischen ihren beiden Endpunkten. Die Porrettana war das letzte eingleisige Glied in der Verbindung Mailand—Rom, also zwischen dem gewerbereichen Norden und dem Ackerbau treibenden Süden des Landes. Die 668 km lange Strecke Mailand—Rom wird nunmehr in 8 1/4 Stdn. mit fast 1 1/2 Stdn. Zeitersparnis gegenüber dem alten Weg durchfahren. Der Simplon—Orient—Zug führt seit Eröffnung der Direttissima Schlafwagen Rom—Florenz—Bologna—Paris. Im Zusammenhang mit dem Bau der Direttissima ist der Bahnhof Florenz umgestaltet und durch zwei neue Bahnsteige erweitert worden, sowie durch eine 10 km lange Umgebungsbahn entlastet worden. Die Direttissima Bologna—Florenz muß auch im Zusammenhang mit der Direttissima Rom—Neapel gewürdigt werden. Durch beide ist eine 843 km lange zweigleisige, mit den höchsten Fahrgeschwindigkeiten befahrbare Verbindung zwischen Mailand und Neapel geschaffen.

Der Bau der Direttissima Bologna—Florenz hat freilich hohe Kosten verursacht; sie haben 1122 Millionen Lire betragen, woran der Haupttunnel mit 470 Millionen Lire beteiligt ist. Demgegenüber stehen aber neben den genannten Vorteilen erhebliche Ersparnisse an Förderkosten. Der Minderverbrauch

an Strom macht bei der Fahrt von Bologna nach Florenz 48%, in der Gegenrichtung 38% aus.

### 8. Weitere Apennin-Eisenbahnen.

Vorstehend sind eine Anzahl Großtaten des italienischen Tunnelbaus besprochen worden; sie sind aber bei weitem nicht die einzigen. Sie alle zu beschreiben, würde über den Rahmen eines Zeitschriftenaufsatzes weit hinausgehen. Kurz erwähnt seien im folgenden nur noch die Tunnel, die die Apenninen durchdringen, die zum Teil auch deshalb besondere Beachtung verdienen, weil sie zu einer Zeit gebaut worden sind, in der man noch nicht solche Erfahrungen im Tunnelbau hatte und solche Mittel für ihn besaß, wie sie bei den neueren Tunnelbauten angewendet worden sind.

Neben den Giovi-Tunneln führt von Genua landeinwärts die Eisenbahn über Acqui nach Asti durch zwei Tunnel in der Nähe ihres Scheitels, beide von 3,4 km Länge.

Weiter südlich durchdringen die Eisenbahnen Spezia—Parma, die schon behandelte Eisenbahn Pistoia—Florenz, die hier nur der Vollständigkeit halber nochmals aufgeführt sei, und Faenza—Florenz den Apennin. In der Strecke Spezia—Parma liegt der 8 km lange Borgallo-Tunnel, während die Strecke Faenza—Florenz zwei Tunnel von 3,5 km und 3,8 km Länge aufzuweisen hat. Noch weiter südlich finden sich von Rom ausgehend die beiden Apennin-Eisenbahnen durch Umbrien nach Ancona und durch den reizvollsten Teil der Abruzzen nach Pescara. Die Strecke Rom—Ancona überschreitet das Gebirge in 432 m Seehöhe in dem 1,6 km langen Balduini-Tunnel und erhebt sich dann nochmals auf 534 m Seehöhe in dem 1,9 km langen Tunnel bei Fossato. Größere Höhen muß die Eisenbahn Rom—Pescara erklimmen. Sie führt am Wasserfall von Tivoli vorbei, steigt dann durch das Aniene-Tal in die Höhe bis auf 801 m Seehöhe, wo sie den Bove-Berg mit einem 3,9 km langen Tunnel unterfährt, worauf sie wieder bis auf 908 m Seehöhe ansteigt und durch den 3,5 km langen Carrito-Tunnel führt.

Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang auch die Eisenbahnverbindung Terni—Sulmona—Isernia, wenn sie auch keine den Apennin durchquerende Strecke ist, sondern in seiner Längsrichtung verläuft. Sie erreicht in dem 3,1 km langen Tunnel unter dem Pagano eine Höhe von 944 m über dem Meere und ist, indem sie sich bei Rivisondoli bis auf 1267 m Seehöhe erhebt, nach der Mont Cenis-Eisenbahn die höchst gelegene Eisenbahn Italiens und eine der höchsten Regelspurbahnen Europas mit Reibungsbetrieb.

Eine Apennin-Querbahn ist auch die Verbindung Caianello—Isernia—Campobasso—Termoli. Sie durchdringt zunächst den Apennin bei Carpinone mit einem 3,4 km langen Tunnel auf 657 m Höhe, verläuft dann weiter auf der Höhe des Gebirges, erhebt sich, um die zweite Kette des Gebirges zu überschreiten, auf 868 m Höhe und führt dabei durch 22 Tunnel in das Tal des Biferno.

Die letzte Querbahn durch den Apennin ist die Verbindung Cancelli—Benevent—Foggia. Sie hat zwei Gipfel, aber in verhältnismäßig geringer Höhe, nämlich in einem 2,4 km langen Tunnel bei Solfra in 384 m Höhe und in einem 3,2 km langen Tunnel bei Adriano auf 547 m Höhe.

Schließlich seien hier noch die Strecken Salerno—Meta-ponte und Foggia—Potenza genannt, wenn sie auch nicht eigentlich Apennin-Querbahnen sind. Sie erheben sich von einer Höhe, die nur wenig über dem Meeresspiegel liegt, bis auf 790 m Höhe über dem Meere und weisen zahlreiche bewundernswürdige Kunstbauten auf.

Nicht wegen ihrer technischen Bedeutung, die ihr nicht zukommt, sondern als Kuriosität sei in diesem Zusammenhang noch auf eine Eisenbahn hingewiesen, die zwar unterirdisch, aber nicht im Tunnel gelegen ist, nämlich auf die nicht ganz

2 km lange Eisenbahn von 0,62 m Spurweite, die einzige dieser Spurweite in Italien, die den Verkehr in der Adelsberger Grotte vermittelt.

### 9. Untergrundbahn in Rom.

Eine Tunneleisenbahn, die ihren Erbauern fesselnde Aufgaben gestellt hat, ist die Ferrovie Metropolitana in Rom, die den Verkehr zu der für 1942 in Aussicht genommenen Weltausstellung bedienen und dabei das Rückgrat des städtischen Verkehrs werden sollte. Sie geht vom Bahnhof Termini, dem Hauptbahnhof von Rom, aus und ist in ihrem ersten und dem letzten Teil unterirdisch geführt; nur in der Mitte liegt sie oberirdisch. Sie endigt in einem zweiteiligen Personenbahnhof von 575 m Länge im Ausstellungsgelände; von seinen beiden, in der Bahnrichtung hintereinander liegenden Teilen dient der eine dem ankommenden, der andere dem abgehenden Verkehr. Ein weiterer Bahnhof, ebenfalls im Ausstellungsgelände gelegen, nimmt den Güterverkehr auf. Beide Hälften des Personenbahnhofs liegen zum Teil unterirdisch; sie sind durch einen 197 m langen Tunnel unter der Hauptstraße der Ausstellung miteinander verbunden. Die Bahnsteige haben eine Breite von 14,6 m. Der Anfangsbahnhof Termini der Metropolitana liegt 10 m unter der Erdoberfläche; er ist durch 9,8 m breite Gänge zugänglich. Seine Länge ist 156 m. Die seitlichen Bahnsteige werden durch Pfeiler von 2,0 zu 1,2 m Querschnitt in zwei Teile geteilt, wodurch sich ein Mittelfeld von 11,8 m Breite und zwei seitliche Felder von je 6 m Breite ergeben.

Im Gegensatz zu den bisher aufgeführten Eisenbahnen, die dem Staatsbahnnetz angehören, ist die römische Metropolitana eine Privatbahn. Sie wird zweigleisig in Regelspur angelegt und wird, was ja selbstverständlich ist, elektrisch betrieben werden. Ihre ganze Länge ist 11,3 km; 3,7 km sind als Untergrundbahn ausgeführt, zwei Tunnel innerhalb der Stadt sind 490 m und 600 m lang, ein dritter im Ausstellungsgelände hat eine Länge von 1900 m. Der Tunnel ist in der Geraden 8 m breit, in den Krümmungen geht seine Breite bis 8,8 m; die lichte Höhe ist 5,0 m bis 5,3 m bei scheinbarer Abdeckung durch eine Eisenbetondecke, 5,5 m bis 6,0 m da, wo der Tunnel überwölbt ist. Er liegt im allgemeinen 8 m bis 11 m unter Gelände; im ganzen verlaufen 6090 m unterirdisch, 5240 m über Tag. Der Mindesthalbmesser ist 200 m; 7,7 km der Metropolitana liegen in Geraden. Die Höchststeigung ist 35‰.

Die Züge sollen auf der Metropolitana mit 100 km/h Geschwindigkeit in zwei bis drei Minuten Abstand fahren. Die Fahrzeit wird 11 bis 13 Min. betragen. In der Stunde sollen 26000 bis 39000 Personen befördert werden.

Der Untergrund von Rom stellte dem Bau einer Untergrundbahn schwer zu überwindende Hindernisse in den Weg. Zu den natürlichen, wie Quellen, wasserführenden Schichten, Schwimmsand, kommen noch von Menschenhand geschaffene, wie Gründungen von Gebäuden, Gas-, Wasser-, Abwasser- und elektrische Leitungen, verlassene Stollen, zum Teil aus vorchristlicher Zeit. Zu den Bauten, zu denen die eben genannten Leitungen Anlaß gaben, gehört ein Düker von 3,0 zu 2,4 m Querschnitt für das römische Abwasser. Das Colosseum und der Circus Maximus werden von der Metropolitana unterfahren, Bauwerke, die unbedingt in ihrem Bestand erhalten werden mußten. Der Untergrund von Rom ist auch sonst reich an Überresten, teils aus vorgeschichtlicher Zeit, teils aus der des römischen Reichs. Alle diese Umstände haben Grundriß und Aufriß der Metropolitana maßgebend beeinflußt. Die genannten Bauwerke und ihre Gründungen durften nicht nur nicht berührt werden, sondern es mußte auch vermieden werden, das Gleichgewicht im Untergrund in ihrer Nähe zu stören, was unabsehbaren Schaden hätte anrichten können. Deshalb konnte z. B. auch nicht mit künstlicher Senkung des Grund-

wasserspiegels gearbeitet werden. Der Bau des Tunnels, der noch im Gange ist, gestaltete sich infolge aller der geschilderten Umstände schwierig und kostspielig.

### 10. Straßentunnel.

Nicht nur in seinem Eisenbahnbau, sondern auch im Straßenbau mußte sich der italienische Bauingenieur mit Tunnelbauten befassen, und daß er vor Straßentunneln ebensowenig zurückschreckte wie vor Eisenbahntunneln, zeigt schon allein die bereits erwähnte Kraftwagenstraße Genua—Serravalle, die als „Autocamionale“ zur Entlastung der Giovi-Eisenbahn angelegt worden ist. Als Ergänzung der Mitteilungen über Eisenbahnstrecken mit umfangreichen Tunnelbauten sei hier kurz auf diese Straße eingegangen, die in der Zeit vom Oktober 1932 bis August 1935 auf besondere Anordnung des Duce gebaut worden ist.

Die alte Straße war hier nur 6 m breit; sie hatte Krümmungen mit Halbmessern bis herunter zu 14 m und Steigungen bis 9%. Sie führte auf der Südseite des Gebirges auf langen Strecken durch bebaute Ortschaften und mußte neben deren Fuhrverkehr auch noch Straßenbahnverkehr aufnehmen. Daß unter diesen Umständen die Kraftwagen nicht vorwärts kamen und häufig lange Strecken mit Schrittgeschwindigkeit zurücklegen mußten, war kein Wunder. Abhilfe war dringend notwendig, da eine Anzahl Mailänder Unternehmen schon seit 1924 dazu übergegangen waren, ihren Verkehr mit dem Hafen Genua von der Schiene auf die Straße zu verlegen.

Mussolini schrieb für die „Autocamionale“ 100 m als kleinsten Halbmesser, der nur ganz ausnahmsweise unterschritten werden dürfe, als steilste Neigung 4% und für die Breite 10 m vor. Diese Bedingungen sind auch eingehalten worden.

Die Straße, die in sinngemäßer Anwendung der Bezeichnung für die neuesten Eisenbahnen als eine Direttissima angesprochen werden kann, ist von Genua bis Bussoleno 50 km lang. Von ihrem landseitigen Endpunkt führen breite Straßen mit günstigen Neigungen und Krümmungen nach Turin und Mailand und den anderen Städten der Po-Ebene. Der Ausgangspunkt in Genua ist ein 50000 m<sup>2</sup> großer Parkplatz, der auf 23 m Seehöhe liegt. Diese Höhenlage ermöglicht es, die Anschlußstraßen nach den beiden Hafenhälften kreuzungsfrei zu führen.

Von den 50 km der Autocamionale liegen 3 km in den elf Tunneln, durch die die Straße führt. Der Haupttunnel, der den 472 m hoch gelegenen Giovipaß auf 412 m Höhe unterfährt, also den Fahrzeugen einen Hub von 60 m erspart, ist 892 m lang; von den übrigen Tunneln hat einer eine Länge von 500 m, einer eine Länge von 302 m, die übrigen sind kürzer. Die Tunnel sind in Straßenhöhe 9,42 m breit und 0,9 m bis 1,2 m dick ausgemauert. In den Tunneln wird die Steigung von 2% nicht überschritten. Sie sind alle geradlinig und von Süden nach Norden gerichtet, und da dies auch die Hauptwindrichtung jener Gegend ist, bedürfen sie trotz des lebhaften Kraftverkehrs keiner künstlichen Lüftung.

29 km der Straße sind geradlinig, im übrigen hat sie 270 Krümmungen, von denen nur bei zehn der Mindesthalbmesser von 100 m nicht eingehalten werden konnte. An diesen Stellen kommen ausnahmsweise Halbmesser von 80 m vor. Die steilste Neigung von 4% mußte in der Richtung nach Norden

auf Strecken von 7 km Länge angewendet werden, in der Gegenrichtung wird die Steigung von 3,4% nicht überschritten.

Die Autocamionale wird auf Strecken von zusammen 17 km Länge von Mauern eingefast oder von ihnen gestützt. Bei ihrem Bau sind 1,9 Millionen Kubikmeter Einschnittsmassen gewonnen und 1,2 Millionen Kubikmeter Dammmassen geschüttet worden. Die Mauern haben ein Ausmaß von 450000 m<sup>3</sup>. Die Tunnel machten den Ausbruch von 315000 m<sup>3</sup> meist felsiger Massen nötig, zu ihrer Ausmauerung waren 120000 m<sup>3</sup> Mauerwerk nötig. Der Straßenbau hat 200 Millionen Lire gekostet.

Die Autocamionale wird nachts beleuchtet, der Verkehr kann sie also bei Nacht ebenso wie bei Tage benutzen, und es hat sich auf ihr ein lebhafter Verkehr entwickelt. Sie mag nicht in jeder Beziehung den Anforderungen entsprechen, die man heute an eine Kraftwagenstraße stellt, und die deutschen Autobahnen mögen ihr in bezug auf die Gewährleistung eines schnellen und sicheren Verkehrs überlegen sein. Man muß aber bedenken, daß es sich um eine Gebirgsstraße handelt und daß sie nicht für den Verkehr schnell fahrender Personenwagen, sondern für den schwer beladener Lastwagen bestimmt ist, deren Geschwindigkeit durch andere Umstände als durch die Linienführung der Straße begrenzt ist.

### 11. Schluß.

Der italienische Eisenbahnbau ist, wie auch die vorstehenden Darlegungen zeigen, von jeher von einem Geist erfüllt gewesen, den man wohl als Tunnelfreudigkeit bezeichnen kann, und die Stellung, die er gegenüber dem Tunnelbau einnimmt, hat sich auch bis in die neueste Zeit nicht geändert. Ein Beweis dafür — wenn es dessen noch besonders bedürfte — ist der Entwurf einer Eisenbahn, die eine neue Verbindung von Genua nach Spezia einerseits, nach Parma und darüber hinaus nach Verona und weiter nach Venedig und dem Brenner schaffen soll. Es handelt sich dabei um den Bau einer 71 km langen Eisenbahn von Genua in östlicher Richtung nach Borgatoro, von wo die weiteren Verbindungen vorhanden sind. Der Entwurf ist auf dem Gedanken aufgebaut, daß die Strecke sowohl im Grundriß wie im Aufriß möglichst wenig von der geraden Verbindung ihrer Endpunkte abweichen soll. Sie muß daher alle Täler kreuzen, die quer zu ihr verlaufen, und alle Bergrücken, die sich ihr entgegenstellen, mit Tunneln durchdringen. Um zu ihrem 15,9 km langen Haupttunnel zu gelangen, soll sie einen Höhenunterschied von rund 400 m Steigungen von 5 bis 13<sup>0</sup>/<sub>00</sub> überwinden. Der Tunnel selbst soll in eine Steigung von 5,3<sup>0</sup>/<sub>00</sub> zu liegen kommen. Jenseits des Tunnels fällt die Strecke wieder, aber in sanfteren Neigungen. Dem Haupttunnel gehen sechs Tunnel mit zusammen 49 km Länge einschließlich des Haupttunnels voraus, nur 22,4 km der ganzen Strecke liegen im Freien. Die Kosten des Baus dieser Eisenbahn werden auf 600 Millionen Lire geschätzt; sie sind zwar hoch, doch glaubt man, sie bei der Bedeutung, die der Eisenbahn im Verkehrsnetz Italiens zukommt, vertreten zu können.

Abschließend sei noch gesagt, daß Italien als mit Eisenbahnen gesättigt gilt. Die kleinen Bauten, die zur Ausfüllung der Maschen seines Schienennetzes noch nötig werden können, werden kaum nennenswerte Tunnelbauten mehr erfordern, und die Zeit der großen Tunnelbauten dürfte für Italien nunmehr abgeschlossen sein.

## Eisenbahn- und Straßentunnel unter dem Öresund zwischen Dänemark und Schweden.

Von Bahndirektor Flensburg, Kopenhagen.

Die Herstellung einer festen Verbindung zwischen Dänemark und Schweden ist eine Frage, die seit langem die dänische und die schwedische Öffentlichkeit und besonders die Ingenieure beider Länder beschäftigt hat. Bereits 1888 wurde von dem schwedischen Ingenieur Lilljequist eine Tunnelverbindung

an der schmalsten Stelle des Sundes von Helsingør nach Helsingborg vorgeschlagen. Diesem Entwurf folgten im Laufe des verflorenen halben Jahrhunderts zahlreiche andere Vorschläge, teils für Brücken, teils für Tunnel, und zwar sowohl für Verbindungen zwischen Helsingør und Helsingborg als

auch für Verbindungen zwischen Kopenhagen und Malmö. Diese älteren Entwürfe sahen in Anbetracht des damaligen Standes des Verkehrswesens natürlich nur eine Eisenbahn-Verbindung vor.

Der letzte und wahrscheinlich auch bekannteste Vorschlag stammt aus dem Jahre 1936, als die drei führenden dänischen Bauunternehmen Christiani & Nielsen, Høgaard & Schultz und Kampmann, Kierulff & Saxild zusammen mit schwedischen Ingenieurfirmen einen Entwurf für eine Eisenbahn- und Straßenbrücke zwischen Kopenhagen und Malmö ausgearbeitet hatten. Diese Firmen schlugen vor, eine Hochbrücke mit zwischenliegenden Dammstrecken von der Ostküste der Kopenhagen vorgelagerten Insel Amager über die im Sund liegende Insel Saltholm nach der schwedischen Küste etwas südlich von Malmö bei Limhamn zu bauen. Über den eigentlichen Schiffahrtsrinnen sollte Schienoberkante auf + 48,0 m über M.W. liegen. Die Baukosten für diese Verbindung, die eine eingleisige Eisenbahn, eine 8,50 m breite Straßefahrbahn und einen 2,80 m breiten Fußgänger- und Radfahrsteg vorsah, waren zu rund 120 Mill. Kr. veranschlagt. Der Entwurf war ein Bestandteil des von den drei dänischen Firmen ausgearbeiteten Vorschlages für ein dänisches Autostraßennetz und Brücken über den Großen Belt und den Öresund.

Im Heft 22 vom 29. März 1941 des Organs des Vereins Dänischer Diplomingenieure — „Ingeniøren“ — hat nun Diplomingenieur N. J. Manniche, Direktor der Bauunternehmung Manniche & Hartmann in Kopenhagen, der Öffentlichkeit einen neuen Entwurf für eine landfeste Verbindung zwischen Dänemark und Schweden unterbreitet. Dieser Entwurf, der im nachfolgenden näher besprochen werden soll, geht darauf hinaus, einen Tunnel für eine eingleisige Eisenbahn und eine Straße mit zwei Fahrbahnen anzulegen.

Es sind verschiedene Möglichkeiten für die Lage des Tunnels mit dem Ergebnis untersucht worden, daß die Verbindung zweckmäßig nur an zwei Stellen, nämlich entweder zwischen Helsingør und Helsingborg oder etwas südlich von Kopenhagen und Malmö liegen kann.

Bei Helsingør ist der Sund am schmalsten. Die Wassertiefe ist hier sehr groß, wenn auch nicht so groß wie unmittelbar südlich und nördlich dieser Stelle. Die Strömungsverhältnisse sind schwierig, und bei der Wahl der Baumethode muß weitgehend hierauf Rücksicht genommen werden.

Zwischen Kopenhagen und Malmö sind die Verhältnisse, die den Bau des Tunnels beeinflussen, wesentlich anders gestaltet als bei Helsingør—Helsingborg. Die Wassertiefe ist hier nicht so groß, und die Strömungsverhältnisse sind nicht so schwierig. Zugunsten dieser Linie spricht ferner, daß die Untergrundverhältnisse im Zuge dieser Linie bedeutend besser bekannt sind als bei der nördlichen Linie und im allgemeinen als sehr günstig angesehen werden können.

Außer diesen technischen Gründen sprechen nach Ansicht des Vorschlagstellers ferner zugunsten der Linie Kopenhagen—Malmö, daß die Baukosten für die Linie Helsingør—Helsingborg größer werden als für die Linie Kopenhagen—Malmö und daß diese verkehrspolitisch gesehen bedeutend günstiger liegt als die nördliche Linie. Sie verbindet nicht nur zwei der bedeutendsten Städte Skandinaviens, sondern auch das große Hinterland dieser beiden Städte. Südschweden wird, wenn normale Verhältnisse wiederhergestellt sind, ein gesuchtes Ausflugsgebiet für die Bewohner Groß-Kopenhagens werden, und umgekehrt wird Kopenhagen und Seeland der Bevölkerung Südschwedens zugänglich gemacht.

Die vorgeschlagene neue Verbindung — im Lageplan, Bild 1 mit „Linie A“ bezeichnet — soll von der Ostküste Amagers etwas nördlich von Dragør ausgehen, sie wird über die Südspitze der Insel Saltholm geführt und erreicht die

schwedische Küste etwas südlich von Malmö bei der kleinen schwedischen Stadt Limhamn. Die Linie besteht aus zwei Tunnelteilstrecken von 4,8 und 7,3 km Länge unter den beiden Hauptschiffahrtsrinnen, dem Drogden zwischen Amager und Saltholm und der Flinterende zwischen Saltholm und Schweden. Zwischen den beiden Tunnelabschnitten liegt eine rund 3,9 km lange offene Strecke auf der Insel Saltholm. Die Rampenstrecke auf Amager ist rund 1050 m lang, die Rampenstrecke an der schwedischen Küste rund 1200 m, so daß die gesamte Länge der Verbindung rund 18,3 km wird.

Die Wassertiefe im Drogden ist heute rund 8,0 m und in der Flinterende 7,2 m unter M.W. Der Tunnel ist unter beiden

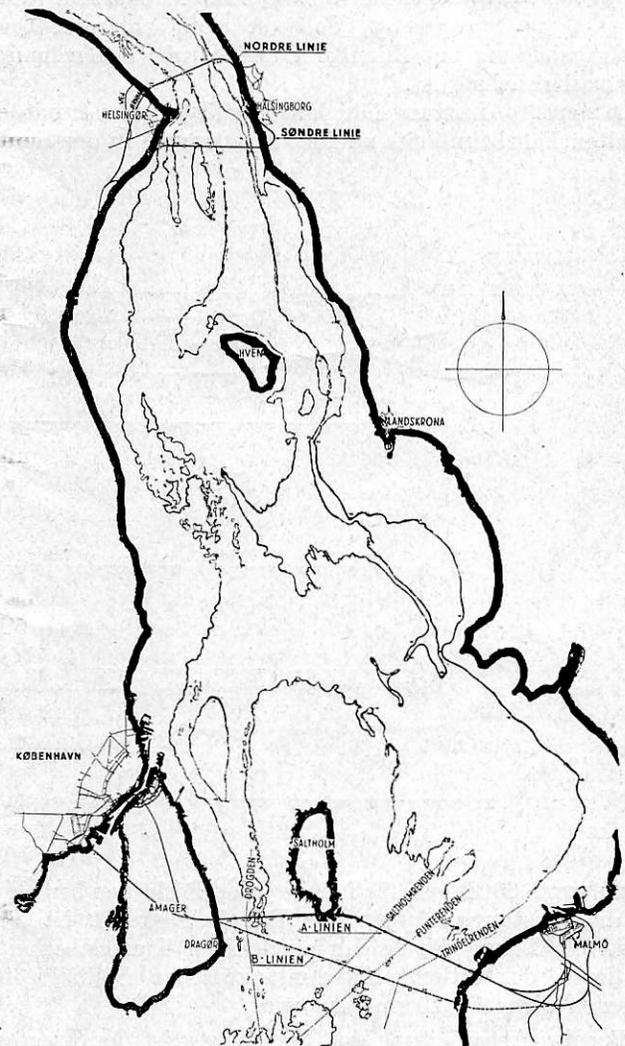


Bild 1. Lageplan.

Rinnen so tief gelegt, daß eine spätere Austiefung der Rinnen bis ÷ 13 m möglich ist. Auf Abschnitten von je 600 m Länge liegt die Tunneloberkante hier auf ÷ 15,0 m und S.O. auf ÷ 23,4 m. In den Tunneln ist die größte Neigung 10<sup>0</sup>/<sub>00</sub>, auf den Rampenstrecken vor den Tunnelmündungen wird für die Eisenbahn diese Neigung beibehalten, während die Straße hier eine größere Neigung bekommt, nämlich 30<sup>0</sup>/<sub>00</sub>.

Auf der Insel Saltholm liegen Eisenbahn und Straße rund 3,0 bis 3,5 m über der Meeresoberfläche. Die Straße bekommt hier eine Breite von 10 m, und die Eisenbahn wird zweigleisig angelegt, so daß hier Kreuzungs- und Überholungsmöglichkeit geschaffen wird.

Im Tunnel soll eine eingleisige Eisenbahn und eine Straße mit einer Fahrbahnbreite von 6,75 m angeordnet werden. Der Tunnelquerschnitt ist in Bild 2 gezeigt. In der 50 cm starken Trennwand zwischen Eisenbahn und Straße werden Nischen

ausgespart, in denen die Bahnunterhaltungsarbeiter während der Vorbeifahrt der Züge Aufstellung nehmen können. Die lichte Weite des Straßenteiles wird 8,00 m, längs der Außenwand ist ein schmaler Besichtigungssteg angeordnet. Die lichte Höhe des Tunnels wird 6,30 m und ermöglicht elektrische Zugförderung mit Oberleitung. Über dem Straßenteil sind die Lüftungskanäle angeordnet. Es ist auch eine Profilausbildung untersucht worden, wobei Eisenbahn und Straße übereinander angeordnet waren, um so die Breite der Baugrube und der Ausschachtung zu vermindern und die Belastung der Tunneldecke herabzusetzen. Es hat sich jedoch gezeigt, daß die vorgeschlagene Querschnittsausbildung mit Eisenbahn und Straße nebeneinander die wirtschaftlichste ist.

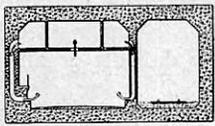


Bild 2.

Tunnelquerschnitt.

Die größte Leistungsfähigkeit des Tunnels ist mit der gewählten Fahrbahnbreite zu 1000 Kraftwagen in der Stunde

Die Entlüftungsanlage ist so bemessen, daß der Kohlenstoffoxydgehalt im Tunnel 0,02 bis 0,04% nicht übersteigt. Bei Höchstbelastung des Tunnels erfordert dies, daß die Luft 30 mal in der Stunde erneuert wird, bei Mittelbelastung wird mit einer sechsmaligen Lufterneuerung in der Stunde gerechnet.

Für den Eisenbahntunnel ist nur eine ein- bis zweimalige Lufterneuerung vorgesehen, indem man annimmt, daß die Züge infolge ihrer hohen Geschwindigkeit selbst zur Lufterneuerung beitragen.

Im Tunnel sind die zwei Außenkanäle für Frischluft bestimmt und der mittlere Kanal für gebrauchte Luft.

Die Entlüftungsanlage wird von zwei Zentralen geleitet, eine für den Tunnel zwischen Amager und Saltholm und eine für den Tunnel zwischen Saltholm und Schweden. Sämtliche Ventilatoren — insgesamt sind 60 Stück angeordnet, davon 30 als Reserve —, Luftschütze u. a. werden ferngesteuert. In der Zentrale wird automatisch der Kohlenstoffoxydgehalt der

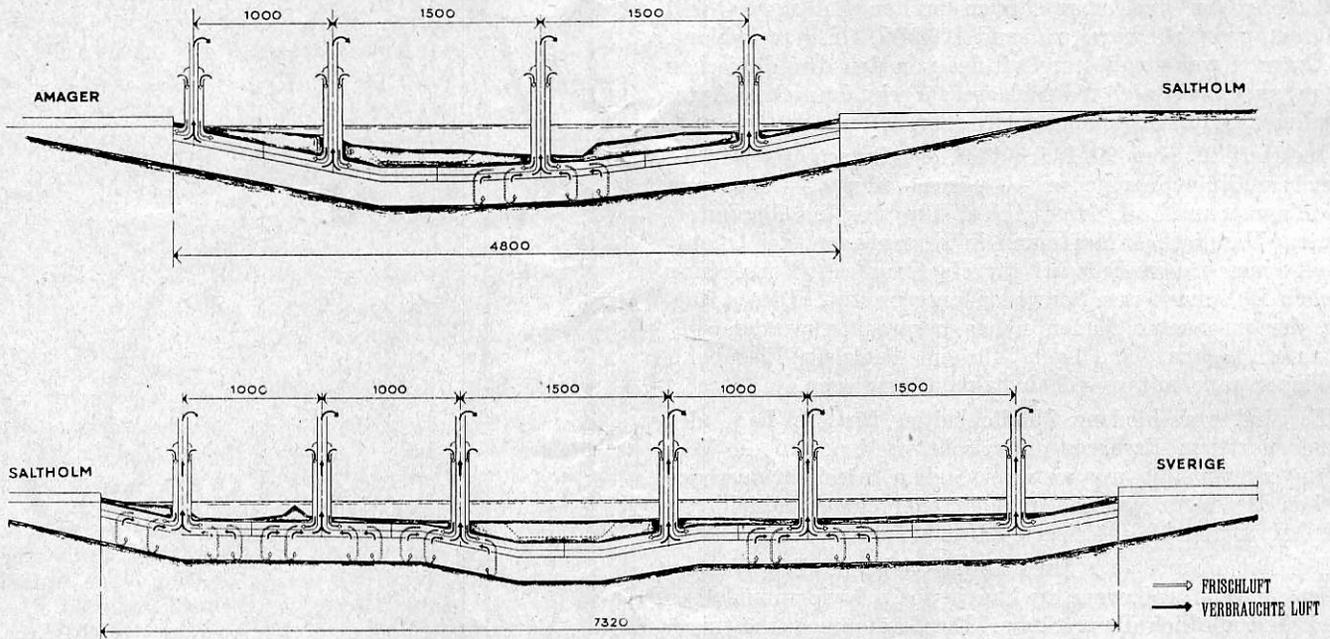


Bild 3. Anordnung der Entlüftung.

und zu rund 60 Zügen täglich in jeder Richtung berechnet. Für die Leistungsfähigkeit der Eisenbahnstrecke ist maßgebend die Länge der beiden eingleisigen Tunnelabschnitte, von denen der östliche Abschnitt zwischen Saltholm und Schweden ungefähr 10 km lang wird.

Bei der Ausarbeitung des Vorschlages ist der Frage der Ventilation des Tunnels ganz besondere Aufmerksamkeit geschenkt worden. Die Ventilationsanlage des Öresundtunnels ist nach dem bei Straßentunnels allgemein angewandten Verfahren ausgebildet, wonach in einem oder mehreren Ventilationstürmen Luft eingesaugt wird und zwar in einer solchen Höhe, daß man annehmen kann, daß sie dort rein ist. Die Frischluft wird in Kanäle, die längs des ganzen Tunnels eingebaut sind, hineingepumpt und von dort strömt sie dann dicht über der Fahrbahn in den Tunnel. Die verbrauchte Luft wird an der Tunneldecke abgesaugt und zu den Ventilationstürmen geführt, wo sie in die freie Luft hinausströmt. Die Öffnungen hierfür müssen höher liegen als die Einsaugöffnungen für Frischluft.

Die Tunnelstrecken sind so lang, daß im ganzen zehn Ventilationstürme vorgesehen sind, vier für den westlichen Abschnitt und acht für den östlichen. Bild 3 zeigt die grundsätzliche Anordnung der Entlüftungsanlage sowie die Lage der Lüftungskanäle.

abgeblasenen Luft gemessen, desgleichen wird die Zahl der Kraftwagen, die sich im Tunnel befinden, laufend registriert.

Die Türme haben einen äußeren Durchmesser von ungefähr 25 m. Es ist vorgesehen, auf den Plattformen einiger Türme Restaurationen einzurichten.

Der Bau des Tunnels soll so vor sich gehen, daß auf vier Arbeitsplätzen, nämlich den Tunnelmündungen auf Amager, auf der Insel Saltholm (2) und an der schwedischen Küste, fertige Tunnelstücke von je 50 m Länge hergestellt werden. Diese Teilstücke werden dann, nachdem sie an den Enden mit schweren provisorischen Wänden versehen worden sind, schwimmend zu ihrer Verwendungsstelle in der Tunnelinie gebracht und dort in die ausgeschachtete Rinne abgesenkt. Die schwersten Tunnelstücke, die an den Stellen verlegt werden, wo die Wassertiefe am größten ist, müssen mit Hilfe von Pontons zur Verwendungsstelle gebracht werden. Die Rampen zwischen den Dammstrecken und den Tunnelstrecken bestehen aus Rahmen, die oben offen sind. Die Seitenwände bekommen einen derartigen Abstand voneinander und eine solche Höhe über der Tunnelsohle, daß die Rampenstrecke als Trockendock für die Herstellung der vorerwähnten Tunnelstücke benutzt werden kann. Im Trockendock, das durch Schleusentore gegen den außenliegenden Teil der Rampenstrecke abgeschlossen ist, wird das Tunnelstück so weit fertig-

betoniert, daß es, wenn die provisorischen Endwände angebracht sind, schwimmen kann. Der seewärts gelegene Teil der Rampenstrecke wird als Hafenbassin benutzt; es ist hier Platz für zwei Tunnelstücke. Diese werden hier fertigbetoniert und von hier aus dann zur Verwendungsstelle bugsiert.

Jede dritte Woche kann auf jedem der vier Arbeitsplätze ein Tunnelstück fertiggestellt werden.

In der Ausschachtung, in der das Tunnelstück angebracht werden soll, werden für jedes Stück zwei Eisenbetonschwellen hergestellt, deren Oberkante genau eingemessen ist. Nach dem Absetzen der Tunnelstücke wird eine Feineinstellung vorgenommen. Die Tunnelstücke sind zu diesem Zweck vor dem Fortbugsieren mit leichten Aufbauten versehen worden, die so hoch sind, daß sie über den Wasserspiegel ragen. Auf diesen Aufbauten werden die für die genaue SchlußEinstellung der Tunnelstücke erforderlichen Meßinstrumente aufgestellt.

In den vergangenen Jahren sind die Verfahren für das Absetzen von schweren Tunnelstücken auf großen Wassertiefen so durchgebildet worden, daß diese Baumethode nach der Ansicht des Vorschlagstellers auch hier, wo die Wassertiefen im allgemeinen sehr gering sind, ohne Bedenken angewendet werden kann. Die Tunnelstücke werden mit einem Abstand von rund 1,0 m voneinander verlegt und mit Sand unterspült, bis sie mit dem Boden voll aufliegen.

Die Verbindung der einzelnen Tunnelstücke erfolgt mittels Taucherglocke und Seitenformen, die zwischen den beiden Tunnelstücken angeordnet werden. In den Endteilen der Tunnelstücke sind bereits bei der Herstellung der Stücke im Trockendock die für die Verbindung zweier Tunnelstücke

notwendigen Bewehrungseisen angebracht. Diese werden dann miteinander verbunden, und die Seitenwände und Decke der Fuge werden ausbetoniert. Der Boden wird erst dann ausbetoniert, wenn das Tunnelinnere mit Hilfe von Druckluft trockengelegt werden kann.

Auf der rund 18 km<sup>2</sup> großen Insel Saltholm befinden sich jetzt nur einige wenige Bauernhöfe. Der Tunnelbau wird die Möglichkeit für eine Erschließung der Insel geben. Die Entfernung vom Kopenhagener Hauptbahnhof ist nur rund 18 km, und der Vorschlagsteller ist der Ansicht, daß hier mit Erfolg sowohl Strandbad, Badhotels, Zeltlager, Sommerhauskolonien, Sanatorien eingerichtet werden können. Bedenkt man, daß dem gesamten Kopenhagener Ausflugsverkehr infolge der Lage der Stadt am Meer nur ein Sektor von ungefähr 120° zur Verfügung steht, so muß man zugestehen, daß die Erschließung von Saltholm von großer Bedeutung ist.

Um einen Vergleich der Kosten für die Herstellung der Tunnelverbindung mit den Kosten für den Bau der 1936 vorgeschlagenen Hochbrücke zu ermöglichen, sind die Baukosten nach dem Preisniveau von 1936 berechnet worden. Die Gesamtbaukosten betragen 120 Mill. Kr., hierin eingerechnet die Kosten für den Anschluß der Tunnelstrecke an das Straßennetz auf Amager und in Schweden. Die Bauzeit ist zu sechs Jahren angesetzt, und es ist damit gerechnet, daß auf der Baustelle, in den Zementfabriken, in den Sand- und Kiesgruben usw. in diesen Jahren rund 2200 Arbeiter beschäftigt werden können.

Die laufenden Betriebsausgaben sowie Verzinsung und Abschreibung des Anlagekapitals sollen durch eine Gebühr für die Tunnelbenutzung gedeckt werden.

## Rundschau.

### Tunnel in den Vereinigten Staaten.

Bei einer Streckenlänge von 378970 km liegen von den Eisenbahnen der Vereinigten Staaten rund 515 km in 1539 Tunneln. Der längste unter diesen Tunneln führt auf der Strecke Spokane—Seattle im Westen der Vereinigten Staaten durch das Kaskaden-Gebirge, dessen Berge sich bis auf 4400 m erheben und das seinen Namen daher führt, daß es vom Columbia-Fluß in einer Anzahl von Wasserfällen durchbrochen wird. Er ist 12,5 km lang, bleibt also hinter dem Simplontunnel, dem längsten Tunnel Europas und der Welt, mit seinen 19,7 km Länge noch sehr erheblich zurück, und es dürfte den Amerikanern mit ihrer Vorliebe für große Zahlen und Höchstwerte ein Kummer sein, daß sie nicht behaupten können, der längste Tunnel der Welt befinde sich in den Vereinigten Staaten. Auf ihn folgt der Moffat-Tunnel mit 9,8 km Länge unter dem James-Peak im Staate Colorado auf der Strecke Denver—Salt Lake City. Das Gleis erhebt sich in ihm auf 2823 m Seehöhe. Bemerkenswert an ihm ist, daß das Gleis in ihm auf die ganze Länge zu einem lückenlosen Strang verschweißt ist. Durch seine Eröffnung wurde die Entfernung zwischen beiden Städten um 278 km verkürzt.

Der älteste Tunnel von beträchtlicher Länge in den Vereinigten Staaten ist der Hoosac-Tunnel unter dem gleichnamigen Gebirge im Staate Massachusetts zwischen den Städten Boston und Albany. Er ist zwar nur 7,6 km lang, bei seiner Würdigung vom Standpunkt des Tunnelbaus muß aber beachtet werden, daß er bereits 1851 in Angriff genommen wurde, also zu einer Zeit, wo man im Bau von langen Gebirgstunneln noch keine Erfahrung hatte. Sein Bau dauerte daher auch bis 1875, während die beiden erstgenannten Tunnel erst 1929 und 1928 in Betrieb genommen worden sind. Der Hoosac-Tunnel nimmt heute noch die dritte Stelle in bezug auf die Länge unter den Tunneln der Vereinigten Staaten ein, der Kaskaden-Tunnel ist mit seinen 12,5 km Länge der sechslängste Eisenbahntunnel der Welt. Alle diese Tunnel werden an Länge sehr erheblich von den Stollen übertroffen, die man in den Vereinigten Staaten neuerdings zur Heranführung des Trinkwassers für östliche Großstädte aus weit entfernten Gebirgen ausgeführt hat.

Wernecke (Berlin).

### Gotthard-Verkehr.

Daß die Gotthardbahn die wichtigste Eisenbahnstrecke der Schweiz, das Rückgrat der Bundesbahnen, ist, braucht nicht be-

sonders dargelegt zu werden. Damit ist aber ihre Bedeutung nicht erschöpft, es kann vielmehr wohl mit Recht gesagt werden, daß sie unter den die Staaten Europas miteinander verbindenden Eisenbahnen eine der wichtigsten, wenn nicht die wichtigste ist. Trotzdem hat sie noch nicht auf ihrer ganzen Länge ein zweites Gleis, und beim Ausbau der Schweizer Bundesbahnen, der zum Teil im Gange, zum Teil geplant ist, ist die vordringlichste Aufgabe, die Gotthardbahn und die Strecken, die von Norden her in sie einmünden und ihr ihren Verkehr zuführen oder abnehmen, mit einem zweiten Gleis auszustatten. Über die Gotthardbahn rollen 60 bis 70% des gesamten Schweizer Durchgangsverkehrs. Seit Eröffnung des Betriebes im Jahre 1882 bis heute hat sich der Güterverkehr auf ihr verzehnfacht, während der ganze Durchgangsverkehr der Schweiz nur auf das achtfache gestiegen ist. Der Personenverkehr ist in dieser Beziehung zurückgeblieben, er hat aber doch den vierfachen Umfang angenommen. Im großen Durchschnitt kann gesagt werden, daß der Durchgangsverkehr der Gotthardbahn ungefähr 20% des Güterverkehrs der Schweizer Bundesbahnen ausmacht.

Das Jahr 1940 hat einen Verkehr auf der Gotthardbahn gebracht, wie er noch nicht dagewesen ist. Am lebhaftesten war er in den Monaten Juni, Juli und August. Die Höchstzahl von Güterwagen, die an einem Tage in der Richtung von Norden nach Süden rollten, war 1385 mit 33000 t, in der Gegenrichtung war die entsprechende Zahl 1130 mit 20400 t. Im ganzen sind im Jahre 1940 680000 Güterwagen mit 12,5 Millionen Tonnen über die Gotthardbahn gelaufen, gegen 415000 Güterwagen mit 7,17 Millionen Tonnen im Jahre 1939 ein Zuwachs von 64% bei der Zahl der Wagen und von 74% bei der Belastung in Tonnen. Wernecke (Berlin).

### Tunnel durch Berge und Meeresstraßen.

Im Juliheft 1941 der technopolitischen Zeitschrift „Deutsche Technik“ ist ein kurzer Aufsatz über „Tunnel durch Berge und Meeresstraßen“ von Ing. B. und H. von Römer, München, enthalten. Diesen Ausführungen wird folgendes entnommen.

Die größten Eisenbahntunnel sind bekanntlich die beiden Simplon-Tunnel mit einer Länge von je fast 20 km. Deutschlands längste Tunnel sind der Arlberg-Tunnel mit 10250 m, der Tauern-Tunnel mit 8526 m und der Karawanken-Tunnel mit 8016 m.

Die größten Bergbahntunnel sind der Tunnel der Jungfrau-

bahn mit einer Länge von 7123 m und der Tunnel der Bayerischen Zugspitzbahn mit einer solchen von 3700 m.

Eine besondere Stellung in der Tunneltechnik nimmt der Rove-Tunnel bei Marseille ein; es ist der größte bisher erbaute Schifffahrtstunnel. Er bildet das letzte Stück des Rhone-Marseille-Kanals. Die Kanalbreite in der unterirdischen Schifffahrtsstraße beträgt 18 m, so daß zwei 1000 t-Frachtkähne nebeneinander vorbeifahren können. Der Querschnitt ist ungefähr fünfmal so groß wie der eines zweigleisigen Eisenbahntunnels. Die Tunnellänge beträgt 7,2 km.

Von den Unterwassertunnel der Erde war bisher der Severn-Tunnel in England mit 7,4 km der längste. Ihm folgte an zweiter Stelle der Holland-Tunnel in New York 3,8 km lang. Zu den modernsten Tunnelbauten dieser Art gehören die beiden Schelde-Tunnel in Antwerpen, der eine für Kraftfahrzeuge mit einem Tunnelrohr-Durchmesser von 9,4 m mit Zufuhr der Frischluft und Absaugung der verbrauchten Luft in den Kreisabschnitten unter und über dem Fahrdamm, der andere als Fußgängertunnel unter der Schelde mit senkrechten Eingangsschächten mit Aufzügen und Rolltreppen an den Enden.

Vor kurzem ist nun in Japan eine Unterseeverbindung zwischen den Inseln Honschiu und Kiuschiu fertiggestellt worden. Dieser Tunnel für Schnellbahnverkehr ist 8 km lang und jetzt somit der längste Meerestunnel der Welt. Man beabsichtigt jedoch in Japan ein noch weit größeres Tunnelwerk zu bauen. Man will die 200 km breite Meeresstraße von Korea für einen Schnellbahnverkehr untertunneln und so die Halbinsel Korea mit dem japanischen Mutterland verbinden. Der Tunnel soll 55 m unter dem Meeresboden hindurchgetrieben werden. Zur Zeit werden verschiedene Entwürfe geprüft.

Ebenso wie der Bau des Korea-Tunnels verdient der beabsichtigte Bau des Gibraltar-Tunnels auch wegen der weltpolitischen und weltwirtschaftlichen Bedeutung stärkste Beachtung. Von spanischen Ingenieuren sind bisher drei Pläne zur Untertunnelung der Straße von Gibraltar zwecks Verbindung von Spanien mit Spanisch-Marokko bereits bis ins kleinste ausgearbeitet worden. Der neueste Entwurf, der angeblich die größte Aussicht auf Verwirklichung hat, sieht einen Untergrundtunnel mit einer Gesamtlänge von nur 35 km vor, während die Tunnellängen der beiden anderen Entwürfe 48 und 75 km betragen. Die kürzeste geradlinige Verbindung zwischen Spanien und Afrika ist zwar nur etwa 14 km lang; jedoch sind an dieser Stelle Wassertiefen von 700 bis 1000 m vorhanden. Bei der in Aussicht genommenen, stark gekrümmten Linienführung ist dagegen nur eine Meerestiefe von 360 m zu überwinden.

Als Querschnitt der Eisenbeton-Tunnelröhre ist eine hochgestellte Ellipse gewählt. Im oberen und unteren Teil ist je eine Autobahn, nur in einer Richtung befahrbar, untergebracht; in der Mitte liegen zwei Gleise für die elektrischen Güterzüge und die elektrischen Schnelltriebwagen.

Durch den Bau des Gibraltar-Tunnels wird die verkehrswirtschaftliche Bedeutung der Trans-Sahara-Bahn, an die die Tunnelgleise in Afrika angeschlossen werden, wesentlich gesteigert werden.

J. Kuhnke (Berlin).

### Beseitigung von Schäden in einem amerikanischen Tunnel.

Der Franklin-Tunnel der Atchison, Topeka und Santa Fe-Eisenbahn, die im Westen der Vereinigten Staaten ein Netz von 15266 km Länge betreibt, durchdringt in 1708 m Länge, nur 40 m über dem Meeresspiegel der Bucht von San Francisco ungefähr 50 km östlich von ihr gelegen, einen Gebirgsvorsprung, dessen Inneres aus quelligen Massen besteht. Der Tunnel wurde in den Jahren 1898 bis 1901 erbaut und mit Holz ausgezimmert. Trotz wiederholter Verstärkung konnte die Auszimmerung dem Druck, der sich infolge des Quellens des Gebirges entwickelte, nicht widerstehen, und es erwies sich als nötig, seine Standfestigkeit auf anderem Wege zu erreichen.

Ehe man an die Arbeit ging, versuchte man zu ermitteln, ob das Quellen der Massen etwa dadurch verursacht würde, daß sie mit der Luft in Berührung kommen. Es wurde deshalb zunächst ein 30 m langer Versuchstunnel aufgeföhren und mit Beton ausgekleidet; diese Auskleidung wurde ebenso wie die Auszimmerung des Franklin-Tunnels durch den Gebirgsdruck zerstört. Ein zweiter Versuchstunnel wurde halb mit Beton, halb mit Holz ausgekleidet, beide Teile gingen alsbald zu Bruch. Trotz dieser unbefriedigenden Ergebnisse entschloß man sich, den Tunnel mit

einer Ausmauerung in Beton, die seitlich 0,9 m, im Scheitel 0,75 m dick ist, zu befestigen. Er erhielt dadurch einen Querschnitt von 4,42 m lichter Breiten in Höhe der Schwellenoberkante und von 4,76 m lichter Breite in 3,87 m Höhe über Schwellenoberkante mit oberem Abschluß durch ein Halbkreisgewölbe. Die Auskleidung wurde in den Jahren 1907 bis 1910 hergestellt, war aber im Laufe der Zeit in einen solchen Zustand geraten, daß im Jahre 1939 durchgreifende Instandsetzungsarbeiten vorgenommen werden mußten. Die Überlagerung des Tunnels ist wasserdurchlässig, das durch sie durchsickernde Wasser hatte den Beton ausgelaugt und zermürbt. Dazu kam die zerstörende Wirkung des Lokomotivrauchs, und die Folge war, daß sich von der Oberfläche des Betons Betonschalen abgelöst hatten. Die Hauptschäden erstreckten sich auf rund 300 m und 450 m von den beiden Enden her, aber auch im mittleren trockenen Teil hatte der Gebirgsdruck Formveränderungen der Betonauskleidung hervorgerufen.

Eine Verkleinerung des Tunnelquerschnitts war ausgeschlossen, Anbringen eines Vorsatzbetons also nicht möglich. Die Instandsetzung des Tunnels wurde daher in der Form ausgeführt, daß der zermürbte Beton durch Einpressen von Mörtel neu verfestigt wurde, während die abgesprungenen Schalen durch neuen Beton ersetzt wurden. Schließlich erhielt die Oberfläche einen dichten Überzug zum Schutze gegen den Lokomotivrauch.

Zum Einpressen in den Beton wurde ein Portlandzementmörtel mit einem Zusatz verwendet, von dem unsere Quelle, die Zeitschrift Railway Age, leider nichts weiteres angibt, als daß er ebenfalls unter Wasser abbindet. Von diesem Mörtel kamen ungefähr 0,25 m<sup>3</sup> auf 1 m<sup>3</sup> Ausmauerung. Der Mörtel ließ sich gut einpressen, ohne die Eintrittsöffnungen zu verstopfen, und erhärtete zu einer Masse von großer Festigkeit. Probezylinder, wie sie in den Vereinigten Staaten an Stelle der bei uns gebräuchlichen Würfel üblich sind, und ausgebohrte Kerne ergaben eine Mindestfestigkeit von 210 kg/cm<sup>2</sup> nach 30 Tagen.

Wo an der Oberfläche Schalen abgesprungen waren, wurde der mübe Beton in der Umgebung dieser schadhafte Stellen mit dem Drucklufthammer abgearbeitet; darauf wurde eine Bewehrung angebracht, und schließlich wurde Mörtel derselben Zusammensetzung aufgeblasen, wie sie zum Einpressen verwendet worden war. Mit einem Sandstrahlgebläse wurde die Oberfläche von losen Teilen gesäubert, und auf die so vorbereitete Fläche wurde ein dichtender Überzug aufgebracht. Hierzu diente eine zu diesem Zweck besonders ausgebildete Schleifscheibe mit Druckluftantrieb, durch die der dichtende Mörtel unter Druck aufgespritzt und verdichtet wurde. Auch über die Zusammensetzung dieses Mörtels enthält unsere Quelle leider keine Angaben. Der Beton wurde dadurch oberflächlich gehärtet, und es ist neuerdings kein Wasser durch ihn ausgetreten.

Die Geräte zur Ausführung der Arbeiten waren auf Rüstwagen aufgebaut, die auf dem Tunnelgleis liefen. Der Mörtel wurde in einer Menge von 130 l/min unter einem Druck von 33 kg/cm<sup>2</sup> in den Beton eingepreßt. Er wurde abwechselnd in einem von zwei Mischbehältern von rund 226 l Inhalt aufbereitet und dauernd durch ein Rührwerk in Bewegung gehalten. Die Leistung der Pumpe und die Größe der Behälter waren so aufeinander abgestimmt, daß das Mischen in dem einen Behälter ebenso lange dauerte wie das Entleeren des anderen. Auf 1 m<sup>3</sup> Mörtel kamen 265 bis 530 l Wasser, die Menge richtete sich nach dem Grad der Zermürbung des Betons. Um diese zu ermitteln, wurde zunächst durch Bohrlöcher Wasser in die Auskleidung eingepreßt; aus der Menge des Wassers, die der Beton aufnahm und die aus ihm, zuweilen in 6 m Entfernung, austrat, gewann der die Pumpe bedienende Arbeiter ein Bild von der Beschaffenheit des Betons, und es entwickelte sich bei ihm ein Gefühl dafür, wie steif der einzuressende Mörtel sein müsse. Es wurde darauf gehalten, daß der Mörtel möglichst steif angemacht wurde. Von einem Bohrloch aus wurde eine Fläche bis zu rund 2 m<sup>2</sup> Größe mit Mörtel ausgefüllt und so verfestigt. Um das Austreten aus benachbarten Öffnungen zu verhüten, wurden diese mit Werg oder mit Mörtel gedichtet.

Die Ausführungen der Arbeiten im Tunnel wurde dadurch erleichtert, ja, geradezu ermöglicht, daß Züge nur in der Nacht und dazu noch ein Zug in der Mittagspause verkehrten. Der Tunnel konnte in 15 Minuten für den Zugverkehr freigemacht werden. Nach der Durchfahrt des Mittagzugs mußte die Lüftungs- vorrichtung des Tunnels in Tätigkeit gesetzt werden, um den Lokomotivrauch auszutreiben, ehe die Arbeit wieder aufgenommen werden konnte.

Wernecke (Berlin).