

## Die Kunstbauten der Eisenbahn - Tunnel

«Raum und Zeit sind überspannt... gewaltig und ungeahnt ist der Aufschwung, den Handel und Gewerbe durch die... Eisenbahnen genommen haben. Sie erschließen die abseits gelegenen Gegenden, wecken Gewerbethätigkeit in ihnen, führen deren Städten und Ortschaften neues Leben, neue Triebkraft zu, bringen sie zur Entwicklung und zur Blüte. Sie verbilligen und verbessern die wirtschaftlichen Güter, vermehren die Annehmlichkeiten des Lebens und erhöhen somit den Lebensgenuß. Und welcher Art sind dabei die Wege, die das Dampfroß wählt! Bald durchheilt es mit großen Lasten die sonnendurchglänzten Fluren des Flachlandes, bald klettert es schwer beladen an den Berglehnen entlang hoch in die Alpenwelt, in die Region der Lawinen hinauf, der Gebirge breiten Rücken in langem Tunnel durchziehend. Bald rasselt es über kühn geschwungene Viadukte und Brücken, tiefe Täler, Ströme und Schluchten überschreitend, oder es rollt auf langer Hochbahn über den Straßenverkehr unserer Großstädte hin. Es steigt hinab in der Erde Schoß und fährt unter Straßen, Kirchen, Häusern, Docks und Flüssen her, oder erklimmt endlich der Berge Gipfel, um der wanderlustigen Menschheit den mühelosen Anblick erhabenster Naturschönheiten zu gewähren.»<sup>1</sup>

Wege zur Verkürzung der Entfernungen zwischen menschlichen Ansiedlungen existieren bereits lange vor der Erfindung der Eisenbahn. Doch während sich Land- und Wasserstraßen vorrangig an den natürlichen Gegebenheiten orientierten, stellte das neue spurgebundene Verkehrsmittel und seine Antriebstechnik völlig andere Bedingungen an die Ausgestaltung der Linienführung bei grundsätzlich gleicher Forderung nach möglichst geringen Anlage-, Unterhaltungs- und Betriebskosten. Die speziellen Parameter der Eisenbahntechnik ermöglichen lediglich im Sonderfall den Bau einer Geraden als die ideale, kürzeste Verbindung von zwei Orten.

Im Regelfall funktioniert die Eisenbahn nach dem Prinzip der Adhäsion, woraus sich Maximalwerte für Steigungen, Neigungen und Krümmungsradien aus physikalischen und betriebswirtschaftlichen Gesetzmäßigkeiten ergeben, die bei der Trassenführung einer Bahn berücksichtigt werden müssen. Der möglichst gleichmäßige Verlauf der Bahnlinie läßt sich bei den vorgegebenen Parametern zumeist nur durch künstliche Veränderung der Landschaft – durch Einschnitte, Dämme, Brücken und Tunnel – erreichen, wodurch den sog. «Kunstbauten» eine primäre Bedeutung im Eisenbahnbau zukommt, die jedoch bei der Beurteilung einer Bahn aus der Sicht des Laien durch die leicht zugängliche Architektur der Empfangsgebäude überschattet wird. Auf letztere lassen sich problemlos die erprobten Beurteilungskriterien aus Kunst- und Baugeschichte anwenden, die hingegen bei den Kunstbauten gegenüber den anzulegenden technischen Maßstäben zurücktreten müssen.

Unter den Kunstbauten nimmt der Tunnel eine besondere Stellung ein, nicht allein deshalb, weil mit der Einfahrt in die Dunkelheit der Tunnelröhre menschliche Grundängste in das Bewußtsein drängen – «Nichts beweist, daß am Tunnel etwas nicht in Ordnung ist außer, daß er nicht aufhört», schrieb Friedrich Dürrenmatt dazu –, sondern weil der Tunnelbau sich

eigentlich erst durch die Eisenbahn zu einer eigenständigen Baugattung entwickelte. Sicher kannte der antike Bergbau bereits den Stollenvortrieb. Auch aus dem Wasserbau, vor allem bei Wasserleitungen, sind Tunnel überliefert. Doch Verkehrs- und ingenieurtechnische Bedeutung erhielt der Tunnel erst durch die Eisenbahn.

Die frühesten Eisenbahntunnel entstanden bereits im Zuge der ersten Eisenbahnstrecke von Manchester nach Liverpool, eröffnet 1830, die nach traditionellen Bergbaumethoden von Bergleuten aufgeföhren wurden. Gleiches galt auch für den ersten deutschen, 515,3 m langen Tunnel bei Oberau in der Bahn Leipzig–Dresden, der 1839 in Betrieb genommen wurde. 500 Freiburger Bergleute föhren von vier Schächten sowie von beiden Enden einen Sohlstollen auf mit anschließendem Vollaussbruch, zum Schluß wurde die Röhre mit Naturstein ausgemauert.

Eine spezielle Tunnelbautechnologie entwickelte sich mit dem Bau der Großtunnel in den Alpen, deren erster, der Semmeringtunnel mit 1.428,7 m Länge, am 1. August 1848 noch traditionell mit Handbohrer, Schwarzpulver, Schlägel und Eisen begonnen wurde. 1853-58 folgten der Hauensteintunnel I nach gleicher Baumethode, deren geringe Leistung im Tunnelvortrieb beim Bau des 12.233,5 m langen Frejus- oder Mont-Cenis-Tunnels (1857-1870) die Entwicklung neuer Arbeitsgeräte förderte. Zum Bohren der Sprenglöcher kamen hier erstmals druckluftbetriebene Stoßbohrmaschinen zur Anwendung, nochmals bessere Ergebnisse erbrachte beim Bau des Arlbergtunnels 1880-1884 die von dem Ing. Alfred Brandt entwickelte hydraulische Drehbohrmaschine zum Setzen der Sprenglöcher.

Neben der notwendigen Weiterentwicklung der Vortriebswerkzeuge stellten Baustelleneinrichtung und Bewetterung, besonders bei langen Tunnelröhren im Hochgebirge, ständig neue Anforderungen an die Erfindungsgabe der Ingenieure. So mußte beim Bau des Simplontunnels (1898-1906), bei dem Lufttemperaturen bis über 50°C und einbrechendes Wasser von über 45°C die Arbeiten erschwerten, der Richtstollen für eine zweite Röhre als Bewetterungs- und Versorgungsstollen gleichzeitig mit dem Haupttunnel aufgeföhren werden. Der Ver- und Entsorgung in dem fast 20 km langen Bauwerk diente eine, gerade durch den Tunnelbau in ihrer Entwicklung geförderte, durchdachte Drucklufttechnik.

Neben der Maschinenteknik gehört zur Beurteilung eines Tunnels die Kenntnis der angewendeten Bauverfahren, grob unterschieden in «offene» bzw. «geschlossene Bauweise». Die offene «cut and over» Methode als Tunnelbau von der Oberfläche her, entwickelt für die Metrotunnel Londons ab 1860, ist bis heute eine verbreitete, vor allem bei innerstädtischen Tunnelbauten angewandte Bauweise geblieben, erlangte jedoch nie Bedeutung beim Eisenbahntunnelbau, wo die geschlossene Bauweise dominierte.

Abhängig von den geologischen Verhältnissen erfolgt bei der geschlossenen Bauweise der Vortrieb im festen Gestein nach bergmännischen Verfahren, die sich vorrangig auf Sprengungen stützen, bei weicheren Bodenformationen werden vorwie-

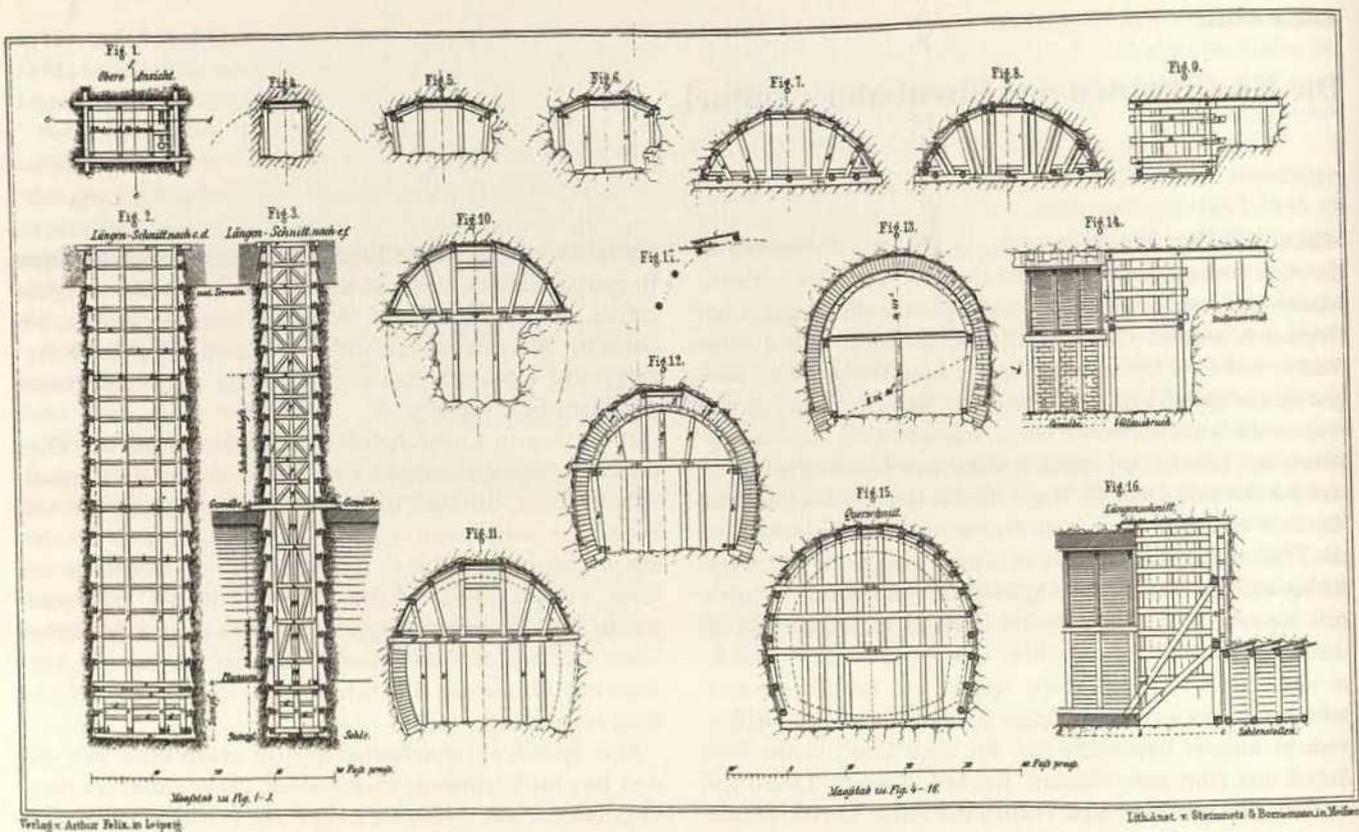


Abb. 98. Schematische Darstellungen zur Technik des Tunnelbaus: Englisches System (nach W. Schleifenbaum).

gend mechanisierte Abbauverfahren mit Vortrieb- und Ausbruchmaschinen angewandt. Seit dem ersten Einsatz eines Schildes beim Bau des ersten Untertunnels 1825-1841 unter der Themse durch Marc Isambart Brunel veränderte sich zwar die Technik von der einfachen dreigeschossigen gedeckten Arbeitsbühne zu komplizierten Maschinenverbänden, nicht jedoch das Prinzip, nach dem hauptsächlich städtische Tunnelbauten entstehen.

Beim bergmännischen Vortrieb im Rhythmus Bohren – Sprengen – Schüttern beeinflussen die geologischen Verhältnisse die Art des Ausbruchs des Tunnelquerschnitts, der oft nur in Abschnitten, als Teilausbruch, erfolgen kann. Nach der Art des Ausbruchs klassifizierte der bekannte Tunnelbauingenieur Franz Ritter von Rziha 1858 die Herstellung des Tunnelquerschnitts in die englische, belgische, deutsche und österreichische Bauweise.

Für diese vier im Detail unterschiedlichen Ausbruchsmethoden gilt einheitlich die Sprache des Bergmanns:

Unter Stollen versteht man einen gangartigen Grubenbau, welcher in söhlicher, d.h. horizontaler Richtung verläuft, sein Anfang heißt Mundloch, das Ende des Stollens das Ort oder der Ortstoß. An letzterem wird noch zwischen der Brust, dem oberen Teil, und dem Kern, dem unteren Teil, sowie dem Ein- oder Vorbruch, der eigentlichen Abbruchstelle unterschieden. Die Seitenwände bezeichnet man als Ulmen, die Decke als Firste und den Boden als Sohle. Der Ausbau des Stollens durch sog. Gevierte – Vierpässe, Türstöcke – entsprach ebenfalls dem gleichzeitig im Bergbau üblichen Ausbau.

Als ältestes aller modernen Tunnelbausysteme zuerst in England angewandt, wird bei der englischen Methode der Tunnel

nach ca. 4,0 m Vortrieb eines Firststollens sofort in seinem vollen Querschnitt, zur Beschleunigung in mehreren Etagen stufenweise von oben nach unten, ausgebrochen, anschließend werden die Widerlager und das Gewölbe aufgemauert (Abb. 98). Das Gebirge stützt eine reine Längskonstruktion aus sog. Wandruten, die einerseits auf dem fertigen Tunnelgewölbe, andererseits auf der Ortverzimierung aufliegen, vorausgesetzt, daß die Ausmauerung in gleichem Abstand dem Ausbruch folgt. Die wegen der Holzersparnis kostengünstige Baumethode eignet sich jedoch nur für festes, druckloses Gestein, bei dem zur Abstützung auf eine Getriebezimierung verzichtet werden kann.

Etwas ungewöhnlich nimmt sich die belgische Bauweise aus, die mit dem Gewölbeausbruch und dessen Ausmauerung beginnt, so als wollte man bei einem Haus vor den Mauern das Dach ausführen (Abb. 99, Fig. 1-6). Nach dem Vortrieb eines Richtstollens am First, der mit seiner Sohle bis zur Höhe des Gewölbewiderlagers herabreicht, mit seiner Kappe über den Rücken des fertigen Gewölbes hinausgeht, werden nach und nach die Bogenorte ausgebrochen und verzimert, darauf folgt die Ausmauerung der Tunnelkalotte, abgesetzt auf provisorische Widerlager. Anschließend wird das untere Profil durch Abteufen kleiner Schächte und Unterfangen der Gewölbeausmauerung gewonnen. Dem Vorteil des geringeren Holzverbrauches steht als gewichtiger Nachteil die unvermeidliche Absenkung des Gewölbes unter dem Druck des Gebirges gegenüber.

Eine rationellere, der belgischen Bauweise beim Ausbruch jedoch sehr ähnliche Methode, stellt das Kernbau- oder deutsche Tunnelsystem dar (Abb. 99, Fig. 7-8). Nach dem Vortrieb

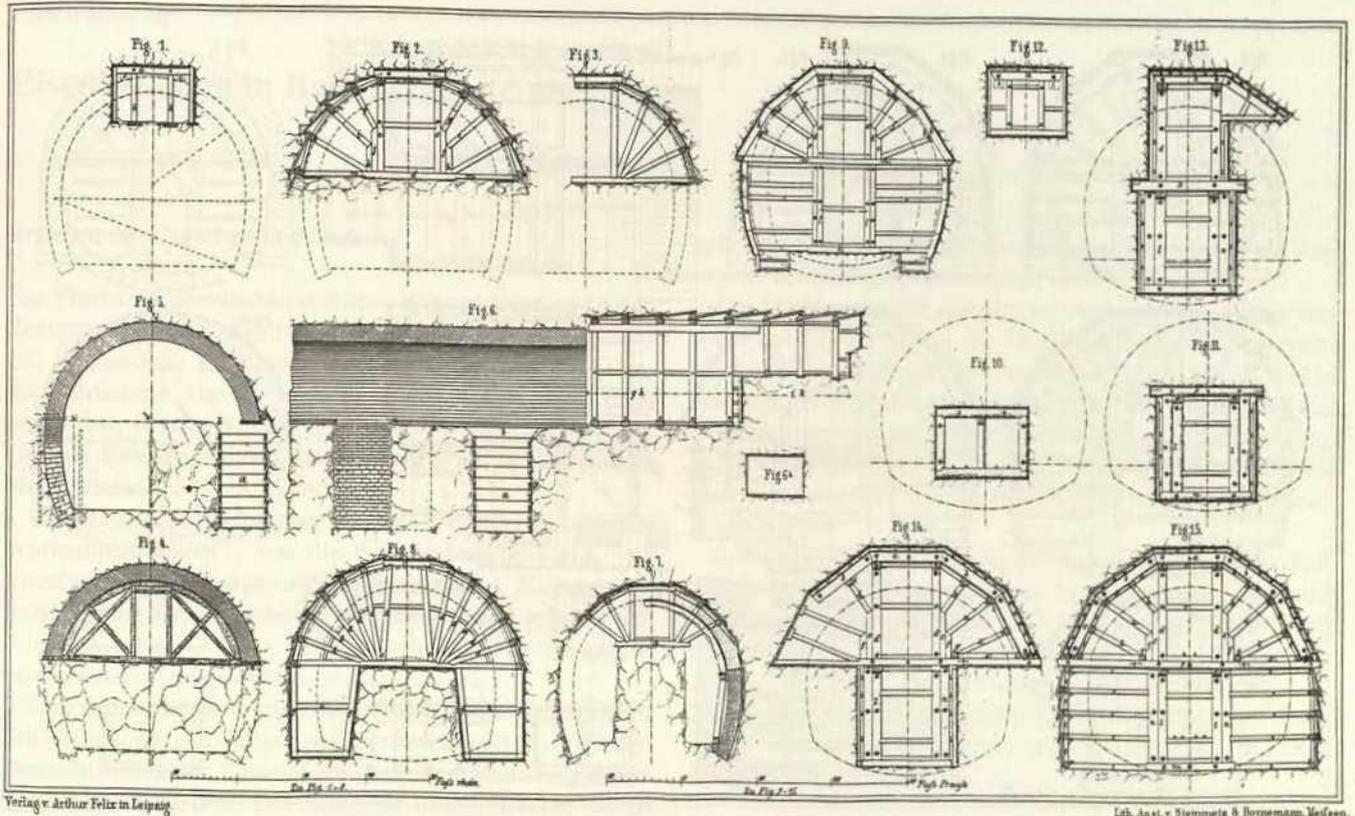


Abb. 99. Schematische Darstellungen zur Technik des Tunnelbaus, Fig. 1-6: Belgisches System; Fig. 7-8: Deutsches System; Fig. 9-15: Österreichisches System (nach W. Schleifenbaum).

des Richt- oder Firststollens wird das Tunnelprofil bis zur Kämpferhöhe des Gewölbes ausgebrochen und verzimert, danach auf beiden Seiten durch Sprengarbeit bis zur Tunnelsohle niedergegangen, wobei in der Mitte ein Kern stehen bleibt, auf den sich die Verzimierung abstützt. Sodann werden die Widerlager aufgeführt und das Gewölbe gemauert bei gleichzeitigen Abbau der Verzimierung. Erst nach Fertigstellung der Ausmauerung erfolgt die Aussprengung des Kerns. Auch hier stehen einer Holzersparnis die Nachteile einer erschwerten Baustellenorganisation durch Überschneidungen der Arbeitswege für Förderung und Ausbau gegenüber. Auch dieses Bausystem rentiert sich nur bei nichtdrückendem, festem Gebirge, das keine Getriebezimierung erfordert.

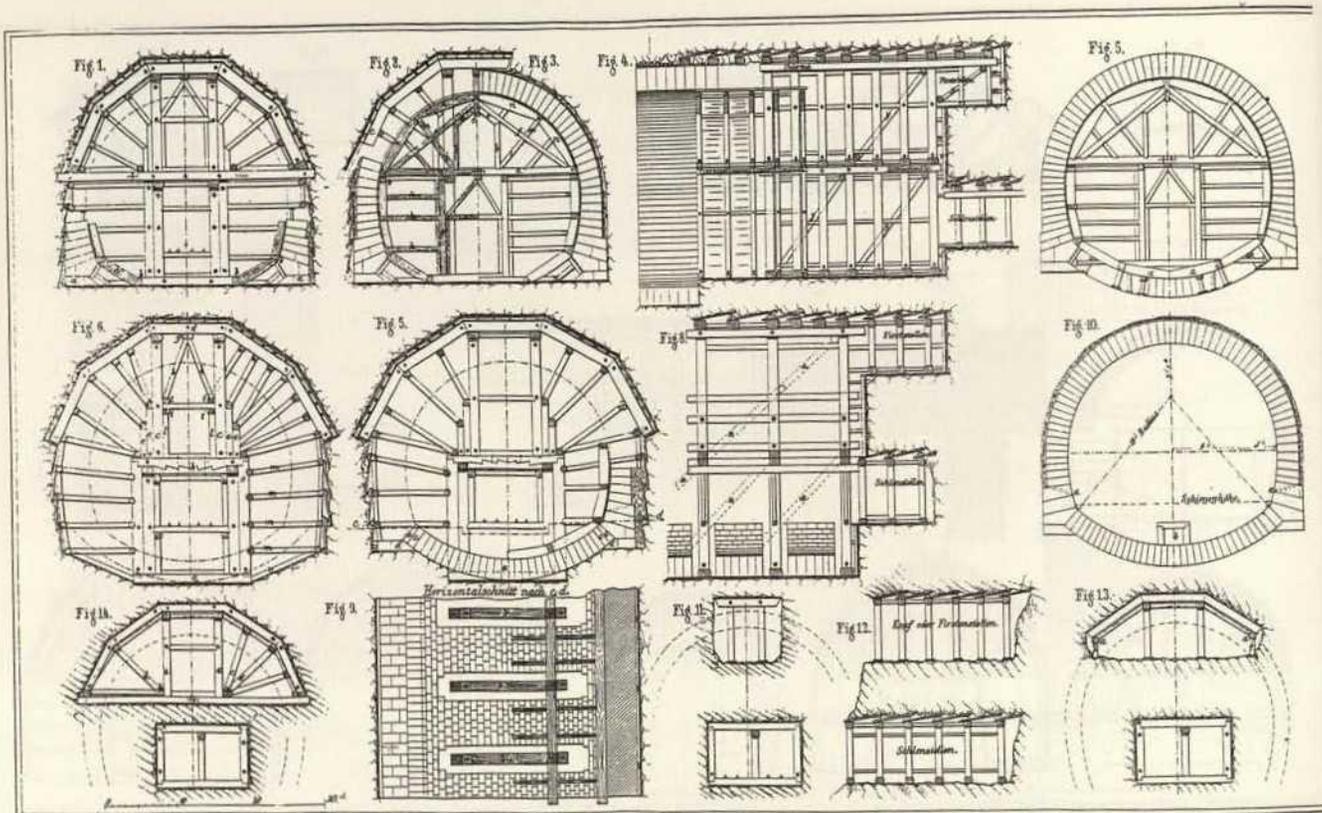
Trotz dieser Nachteile war die Kernbaumethode bis in die 1860er Jahre die in Deutschland übliche, jedoch nicht ohne auf Kritik zu stoßen: «Das starre und lange Festhalten an der Kernbaumethode liefert zwar einen hervorragenden Beweis deutscher Zähigkeit, kann aber nicht mehr gerechtfertigt erscheinen. Wenn man von der belgischen Methode (welche das Gebäude im buchstäblichsten Wortsinne mit dem Dache beginnt und so der dem Deutschen eigenen Vorsicht geradezu entgegenläuft) absieht, so ist in der That die Kernbaumethode die schlechteste aller Bauweisen. Sie versperrt den Platz, welchen man bei einem gedeihlichen Entwickeln des Baues so nöthig hat und beruht es nur auf einem Irrthume, wenn man glaubt, daß der Kern oder Mittelkörper einen zuverlässigen Träger der Gebirgslast abgibt.»<sup>2</sup>

In den 1860er Jahren setzte sich das österreichische Tunnelbausystem, erfolgreich erprobt und verbessert durch Franz Rziha beim Ausbau des österreichischen Bahnnetzes, als das

für alle geologischen Gegebenheiten, besonders für Tone, Sande und schwimmende Gebirge, am besten geeignete durch (Abb. 99, Fig. 9-15, und Abb. 100). Wie bei der englischen Bauweise wird das ganze Tunnelprofil hereingewonnen, im Unterschied zu diesem aber das Gebirge durch Sprengwerke abgestützt. Der Ausbruch kann vom First- oder Sohlstollen bzw. von beiden gleichzeitig aus beginnen.

Die Verzimierung eines Tunnelprofils stellte nicht nur einen gewichtigen Kostenfaktor dar, sondern behinderte auch den reibungslosen Baufortschritt nicht unerheblich durch die zwangsläufige Verengung des freien Profils. Wieder war es Franz Rziha, der durch Einführung des eisernen Ausbaues unter Verwendung gebrauchter Eisenbahnschienen dem Tunnelbau nach 1860 neue Impulse gab. Die vollständigen Gespärre, wie sie auch bei den Tunnelbauten von Naensen und Ippensen auf der Braunschweig-Holzmindener Eisenbahn (Teilstrecke Kreiensen-Höxter eröffnet am 10. Oktober 1865) verwendet wurden, bestanden im wesentlichen aus einem dem Tunnelumriß folgenden Bogen aus Doppel-T-förmigen Gußeisenprofilen. Auf diese Bögen stützten sich annähernd rektanguläre Rahmen aus alten Eisenbahnschienen als Auflager der das Gebirge absteifenden Bohlen. Den Längsverband bildeten ebenfalls Eisenbahnschienen, die gußeisernen Bögen dienten gleichzeitig als Lehrgerüst für die Ausmauerung.

Durch die Übertragung kontinentalen Holzausbaues auf das Material Eisen gelangte Rziha zu einem Erfolg, der Brunel beim Bau des ersten Themsetunnels wegen der nur mit Längsverband arbeitenden englischen Verzimierung noch verwehrt blieb. Eine Weiterentwicklung des eisernen Ausbaues bei weichem oder schwimmendem Gebirge bildete dann das von Peter



Verlag v. Arthur Felix in Leipzig.

Abb. 100. Schematische Darstellungen zur Technik des Tunnelbaus: Österreichisches System (nach W. Schleifenbaum)

Barlow beim Bau des zweiten, am 2. August 1870 eingeweihten Themsetunnels erprobte Verfahren, die Ausmauerung durch verflanschte gußeiserner Segmente, durch Tübbings, zu ersetzen.

Ein weiteres technisches Bestimmungs- bzw. Unterscheidungsmerkmal der Tunnel ergibt sich aus der Strecke selbst, die im Gebirge, wenn irgend möglich, den Flußtälem folgt, diese jedoch durch Verkürzungen oder Verlängerungen der Trasse den bahnspezifischen Bedingungen definierter Radien und Steigungen anpassen muß. Am häufigsten geschieht der Ausgleich durch sog. «Sporntunnel», die mit unterschiedlicher, von den natürlichen Gegebenheiten bestimmter Länge durch Bergnasen in zu engen Talkrümmungen führen.

Reicht die Länge eines Tales nicht aus, um die nötige Höhe zu erreichen, bleibt neben dem Zahnstangenbetrieb nur noch die Möglichkeit, die Streckenführung künstlich zu verlängern. Stehen keine Seitentäler zur Streckenverlängerung zur Verfügung, muß die Bahn im Haupttal wenden, um nach ausreichendem Höhengewinn wieder in die ursprüngliche Fahrtrichtung zurückzukehren. Dies geschieht fast ausschließlich durch die Anlage gekrümmter Tunnel in der Talwand, durch «Kehr- oder Wendetunnel» bzw. durch volle 360° ausführende «Schrauben-

tunnel». Ein besonders eindrucksvolles Beispiel dafür bietet die von Robert Gerwig geplante und 1873 eröffnete Teilstrecke Hausach-Villingen der Schwarzwaldbahn, auf der die Bahn auf der 28,7 km langen Strecke zwischen Hornberg und St. Georgen nicht weniger als 34 Tunnel bei zum Teil dreifach übereinanderliegender Trassierung durchfährt. Wegen seiner bei der Schwarzwaldbahn gewonnenen Erfahrung erhielt Gerwig anschließend von der Gotthardbahn-Gesellschaft einen Ruf als bauleitender Ingenieur für die ähnlich komplizierte Nordrampe zum Gotthardtunnel.

Von geringerer Bedeutung für den Bahnbau in Mittelgebirgen sind die bei steil ansteigenden Seeuferzonen notwendigen Wandtunnel unmittelbar hinter der Felswand. Nach der Höhenlage werden noch unterschieden die Scheitel tunnel am Hochpunkt einer Strecke sowie die heute durch den Bau von Hochgeschwindigkeits-Strecken an Bedeutung gewinnenden Basistunnel.

An den Tunnelenden vermitteln die Portale als imponierende Architektur im Geschmack der Bauzeit zwischen der bedrohlichen Irrationalität des dunklen Gebirgsinneren und der realen Welt der Erdoberfläche als einzig sichtbarer Beweis für eine, sonst nur durch Bauakten und Beschreibungen nachzuvollziehende außergewöhnliche Leistung der Ingenieurbaukunst.

#### Literatur

Zeitschrift für Bauhandwerker 1862/1864;  
Der Civilingenieur N.F.X. 1864;  
Hermann H. Saitz, Tunnel der Welt – Welt der Tunnel, Berlin 1988.

#### Anmerkungen

1. Das Buch der Erfindungen Gewerbe und Industrie, Bd. IX, Leipzig 1901, S.75.  
2. Zeitschrift für Bauhandwerker, 12. 1862, S. 196.