

Frühe Eisenbahnen über die Alpen 1854–1909  
Die Entwicklung der Kunst der Tunnelvermessung<sup>1</sup>



Early railways crossing the Alps 1854–1909  
Developing the art of tunnel surveying

Michael Hiernanseder, Wien

... inter maxime memoranda equidem duxerim,  
montem perfossum ad lacum Fucinum emittendum  
inenarrabili profecto impendio et operarum multitudine per tot annos ...<sup>2</sup>

Plinius, Naturalis Historia XXXVI, 124

Kurzfassung

Seit Menschen Tunnel bauen, fürchten sie, sich in der Mitte des Berges zu verpassen. Um das zu verhindern, werden im Lauf der Zeit mit beeindruckendem Erfolg Vermessungstechniken entwickelt. Anhand der historischen Eisenbahnlinien über Semmering, Brenner, Mont Cenis, Gotthard und Tauern wird die Entwicklung der Kunst der Tunnelvermessung beschrieben.

**Schlüsselwörter:** Tunnelvermessung, Eisenbahn, Geschichte

Abstract

Ever since people have built tunnels, they have been afraid of missing their way in the middle of the mountain. To prevent this, surveying techniques have been developed over time with impressive success. The development of the art of tunnel surveying is described using the historic railway lines via Semmering, Brenner, Mont Cenis, Gotthard and Tauern.

**Keywords:** Tunnel surveying, railways, history

|    |                 |      |                          |                    |
|----|-----------------|------|--------------------------|--------------------|
| 1. | Semmeringbahn   | 1854 | 1.428 m                  | Carl von Ghega     |
| 2. | Brennerbahn     | 1867 | ges. 5.227 m (22 Tunnel) | Carl von Etzel     |
| 3. | Mont-Cenis-Bahn | 1871 | 12.820 m                 | Germain Sommeiller |
| 4. | Gotthardbahn    | 1882 | 14.998 m                 | Louis Favre        |
| 5. | Tauernbahn      | 1909 | 8.371 m                  | Carl Wurmb         |

Tab. 1: Wichtige Eisenbahntunnel in den Alpen, Fertigstellung, Tunnellänge und Erbauer

1. Einleitung: Tunnelbau von der Antike bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts

Die Geschichte des Tunnelbaus reicht bis in die Antike zurück. Die Höhenvermessung beim Bau

1) Der Beitrag ist eine überarbeitete und wesentlich erweiterte Version des Artikels Hiernanseder Michael, Die Entwicklung der Tunnelvermessung, Alpenquerende Eisenbahnen 1854–1909, VDV 3/2024, S 212 ff.

Der Verfasser ist Herrn em.Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Wunderlich für seine Anregungen zu Dank verpflichtet.

2) unter den denkwürdigsten würde ich in der Tat den Berg erwähnen, der für die Ableitung des Fuciner Sees mit unbeschreiblichem Aufwand und einer Vielzahl von Arbeiten über so viele Jahre hinweg ausgehöhlt wurde.

der ersten einfachen Wasserkanäle und Straßentunnels beherrscht man schon früh. Das Prinzip des Nivellements zur Bestimmung des Höhenunterschieds zwischen Punkten hat sich bis heute kaum verändert. Die horizontale Vermessung bereitet antiken Tunnelbauern jedoch erhebliche Mühe. In der Regel kommen sie seitlich von der geplanten Linie ab. Anhand der zur Mitte hin immer unstetigeren Linienführung historischer Bauwerke lässt sich das bis heute nachvollziehen.<sup>3</sup>

3) Fischer Roland, Wegweiser zum Treffen mitten im Berg, NZZ, 05.12.2007



Abb. 1: Hiskija-Tunnel



Abb. 2: Shiloah-Inschrift (Archäologisches Museum Istanbul)

Beim Hiskija-Wasserleitungstunnel<sup>4</sup> in Jerusalem aus dem 8. Jahrhundert v. Chr. treffen sich die beiden Stollen erst nach mehreren Richtungswechseln. Die 1880 unweit des südlichen Tunnelleingangs gefundene Shiloah-Inschrift berichtet von den Arbeiten kurz vor dem Tunneldurchbruch: „Dies ist die Geschichte des Durchbohrens. Als noch ... Hacke(n) ... jeder zu seinem Gefährten hin, und als noch drei Ellen zu durchbohren waren, ... die Stimme eines Mannes, der dem anderen zurief, denn da war ein Spalt an der rechten Seite ... Und am Tag des Durchbruchs begegneten sich die Arbeiter, Mann gegen Mann, Hacke gegen Hacke, und das Wasser floss von der Quelle zum

Teich, 1200 Ellen weit und 100 Ellen war die Dicke des Gesteins über den Köpfen der Arbeiter.“<sup>5</sup>

Vor allem längere Tunneln stellen die Ingenieure der Antike vor Probleme. Dabei ist es besonders wichtig, die Lage der beiden Tunnelenden relativ zueinander im Voraus zu erfassen. Die Richtung des Vortriebs lässt sich sonst nicht exakt vorgeben. Das zu erwartende Fehlgehen in der Mitte des Berges wird oft mit eingeplant. Man versucht sich beim Vortrieb in stumpfem Winkel von beiden Seiten schräg gegeneinander vorzuarbeiten, um sich mit Sicherheit irgendwo zu kreuzen, wie beim römischen Aquädukt-Tunnel Cave du Curé bei Lyon.<sup>6</sup>

Oft gräbt man auch, sobald die berechnete Distanz ungefähr erreicht ist, einen weiten Bogen und sucht so den Gegenstollen. Der Tunnel des Eupalinos ist Teil einer Wasserleitung, die im 6. Jahrhundert v. Chr. zur Versorgung der griechischen Stadt Samos auf der gleichnamigen Insel errichtet wurde. Der Tunnel ist der zweite bekannte Tunnel in der Geschichte nach dem Hiskija-Tunnel, der im Gegenortvortrieb gebaut wurde, und der erste, bei dem dies nach einem sorgfältig ausgearbeiteten Plan geschah. Mit 1.036 m Länge ist der Eupalinos-Tunnel der längste Tunnel seiner Zeit. Einfach aber effektiv ist die Methode mit der der Durchschlag der beiden Streckenabschnitte sichergestellt wird. Indem beide Vortriebe auf den letzten Metern gemeinsam scharf nach Osten abbiegen, wirkt man der Gefahr entgegen,

4) Nach 2 Kön 20,20 (Die übrige Geschichte Hiskijas und alle seine Erfolge, wie er den Teich und die Wasserleitung angelegt und das Wasser in die Stadt geleitet hat, das alles ist aufgezeichnet in der Chronik der Könige von Juda. vgl. 2 Chr 32,30) und Sir 48,17 (Hiskija befestigte seine Stadt und leitete in ihre Mitte Wasser ein. Er durchbrach mit Eisen den harten Felsen und errichtete Brunnen für die Wasser) wird der Tunnel 701 v. Chr. im Auftrag des Königs Hiskija von Juda erbaut, der Jerusalem vor den im 8. Jahrhundert durch Palästina nach Ägypten vordringenden Assyryern schützen muss. Wegen der vielen Flüchtlinge aus dem Nordreich Israel, ummauert Hiskija die gewachsene Stadt neu und sichert mit dem nach ihm benannten Tunnel die Frischwasserzufuhr von außerhalb. Der kurvige Tunnel, Gesamtlänge 533 m, beginnt bei der unterirdischen Gihonquelle in Jerusalem, die im Kidrontal entspringt. Der Wassertunnel nutzt zunächst den alten Zulauf zum Vertikalschacht. Dann verläuft er in großen Schleifen durch den Bergrücken und mündet in den Shiloah-Teich im geschützten Teil der Stadt. Es ist der älteste bekannte Tunnel, bei dem der Vortrieb von zwei Seiten gleichzeitig in Angriff genommen wurde. Die zahlreichen Blindstollen, die die Gesamtlänge des Tunnels um ein Drittel verlängern, deuten darauf hin, dass bei der Bestimmung der Vortriebsrichtung keine wissenschaftliche Methodik zum Einsatz gekommen ist. Man ist wohl dem Verlauf einer Wasserader gefolgt.

5) zitiert nach Israel Finkelstein, Neil A. Silberman, David und Salomo, München 2006

6) Die Cave du Curé, ein Tunnelabschnitt der Gier-Wasserleitung für Lyon bei Chagnon, erforderte für das Aufmaß eine ganz besondere Vermessungsmethode (Klaus Grewe, VDVmagazin 5/2021).

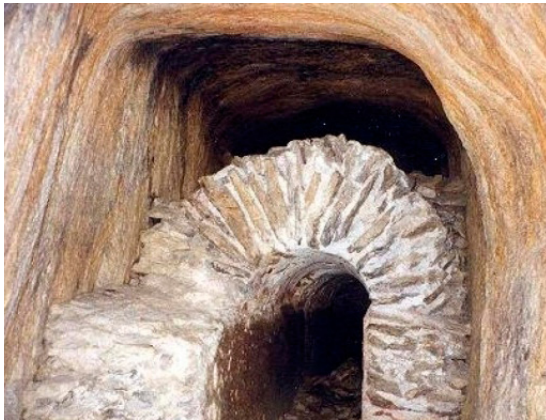


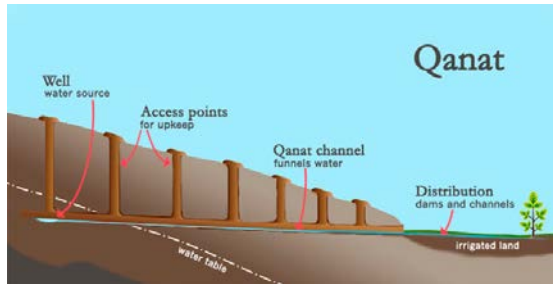
Abb. 3: Circuit de la Cave du Curé



Abb. 4: Tunnel des Eupalinos auf Samos



Abb. 5: Kanat im Iran

Abb. 6: Funktionsbild eines Qanats  
(<https://irandoostan.com/qanat-architect-persian-oasis/>)

zwei parallele Stollen zu graben, und macht einen Schneidepunkt unvermeidbar, sofern sich beide Stollen auf dem gleichen Niveau befinden.

Die verlässlichste Technik besteht jedoch darin, von der Oberfläche in regelmäßigen Abständen Schächte senkrecht bis zum Tunnelniveau hinunter zu graben<sup>7</sup>, wie dies in Persien schon seit dem 1. Jahrtausend v. Chr. üblich ist. Die Richtung für den Bau wird dann mit Loten angezeigt, die man an zwei Schachtwänden entlang in den Tunnel absenkt. Diese sogenannte Qanat-Bauweise<sup>8</sup> ist

7) Manholes were uniformly distributed along the conduit to ease its maintenance. Besides the tunnels excavated into the rock these shafts also served to facilitate the simultaneous excavation on several fronts, the withdrawal of materials, to ventilate the conduit, to facilitate setting out works through the introduction of the main alignments (by plumb bobs and ropes) and finally to mark the aqueduct's alignment on the surface, thus controlling the aqueduct's right of way (I. Moreno Gallo, Roman Water Supply Systems, New Approach).

8) Ein Qanat, (arabisch, Qanāh, persisch Kanat) ist eine traditionelle Form der Frischwasserförderung in Wüstengebieten, um Trink- und Nutzwasser aus höher gelegenen Regionen zu beziehen. Ein Qanat besteht aus einem Mutterbrunnen, mehreren vertikalen Zugangsschächten und dem Qanat-Kanal.

aber nur praktikabel, wenn der Stollen dicht unter der Oberfläche geführt wird.<sup>9</sup>

Von Johann Weichard von Valvasor (1641–1693) gibt es einen Plan zum Bau der Loiblpassstraße von 1679. Ihm ist die Bedeutung der Transportroute zwischen Krain und Kärnten bewusst: „Vor einigen Jahren hatte ich selbst die Absicht am Fuße des Berges ein Loch durch den Berg Loibl zu graben, und zwar in derselben Größe, wie er oben auf dem Berg besteht, so dass es möglich wäre durch den Berg zu reiten oder mit der Kutsche zu fahren. Und ich hatte auch schon alles vermessen. Das Loch in den Berg sollte bei St. Anna hineinführen und auf der anderen Seite des Berges bei St. Leonhard herausführen. So würde der Weg durch den Tunnel vom Eingang bis zum Ausgang vollkommen gerade verlaufen ...“ (Valvasor, Die Ehre des Hertzogthums Crain, 1689).

9) Die Vortriebsgeschwindigkeit ist sehr unterschiedlich und richtet sich vor allem nach der Tiefe, der Zahl der Arbeiter und der Bodenbeschaffenheit. Bei 20 Metern Tiefe erreicht ein Arbeitstrupp von vier Personen etwa 4 m/Tag, bei 40 m Tiefe halbiert sich dieser Wert. Der Qanatbau dauert daher in der Regel mehrere Jahrzehnte.



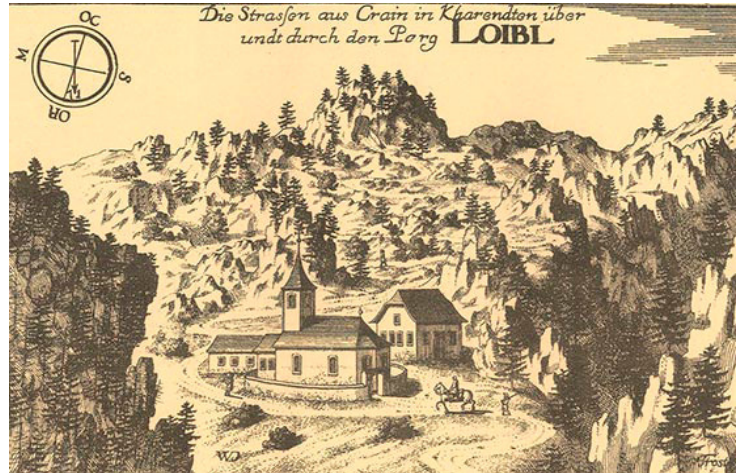
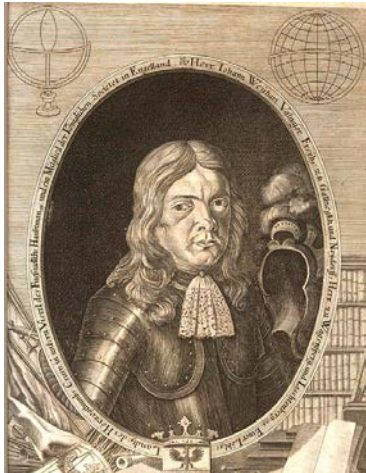
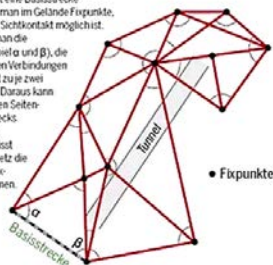


Abb. 7: Johann Weichard von Valvasor Abb. 8: Loiblpass 1689

#### Schematische Darstellung von Vermessungsmethoden im Tunnelbau

##### Triangulation (vor dem Bau):

Man misst zuerst eine Basisstrecke aus. Dann sucht man im Gelände Fixpunkte, zwischen denen Sichtkontakt möglichst ist. Nun bestimmt man die Winkel (als Beispiel  $\alpha$  und  $\beta$ ), die sich zwischen den Verbindungen von einem Punkt zu je zwei weiteren aufbau. Daraus kann man die fehlenden Seitenlängen des Dreiecks trigonometrisch berechnen. So lässt sich im Dreiecksnetz die Position jedes Fixpunktes bestimmen.



##### Polygonzug (während des Baus):

Ein Polygonzug besteht aus geraden Strecken, die mit einem Laser vermessen werden. Etwa alle vierhundert Meter setzt man eine Orientierungsmarkierung. Weiter reicht die Sicht im Tunnel wegen der statigen Luft oder auch wegen Kurven meist nicht. Die Position im Berg wird dann anhand der Längen der Strecken und der Winkel zwischen ihnen Schritt für Schritt vom Startpunkt am Portal her bestimmt.



Abb. 9: Vermessungsmethoden im Tunnelbau (NZZ)

Erst mit der Einführung der Triangulation Ende des 17. Jahrhunderts wird das Problem der Bestimmung der Lage der beiden Tunnelenden relativ zueinander gelöst. Man sucht im zu vermessenden Gebiet eine Reihe von Fixpunkten mit Sichtkontakt, wie weithin sichtbare Landmarken und Berggipfel. Dann bestimmt man die Winkel zwischen den Verbindungen eines Fixpunktes. Trigonometrisch kann man die Seitenlängen berechnen und damit die genaue Position der Fixpunkte. Als Maßstab muss noch eine Referenzlänge ins Triangulationsnetz eingebunden werden.

Um die Richtung des Vortriebs vom einen zum anderen Portal zu bestimmen, verwenden die Pioniere des alpinen Tunnelbaus seit der Mitte des 19. Jahrhunderts die Technik, zusätzlich zum Dreiecksnetz eine Linie quer über den Berg abzustrecken.<sup>10</sup> Dabei visieren sie im Gelände Punkte

an, die exakt über der imaginierten Tunnelachse liegen. Hat man die Linie zwischen den zwei Portalen vermessen, kann man deren Richtung in den Berg hinein übertragen, wie bereits beim Mont-Cenis-Tunnel um 1860. Für die Bestimmung der Tunnellänge, die man braucht, um die Dauer der Bohrarbeiten abzuschätzen, kommt man nicht ohne Triangulation aus, die bis zum Ende des 20. Jahrhunderts eine notwendige Vorarbeit für jedes Tunnelprojekt ist.

*Nachweis der Richtigkeit von einem Portalpunkt in einer Linie über das Hindernis festzulegen und die Querabweichung beim gegenüberliegenden Portalpunkt zahlenmäßig auszuweisen. Das bedeutet abenteuerlichste Messungen eines gestreckten Polygonzugs zu dem jeweils entferntesten topographischen Punkt, der meist sehr schwierig zu erklettern ist, ganz abgesehen von der Aufstellung des Messinstruments über einer provisorischen Marke. Es wird jeweils der letzte Punkt angezielt und dann das Fernrohr durchgeschlagen und der nächste Punkt festgelegt. Ähnlich geht man auch dann im Berg vor. Später hat man Fluchtinstrumente mit vier Fußschrauben verwendet. Erst als die Instrumente genau genug sind, kommen die Polygonzüge auf. (Thomas Wunderlich)*

<sup>10)</sup> Absteckung der Tunnelachse über das Gebirge: Diese Messmethode ist kein Ersatz für die Triangulation, sondern dient der Prüfung der Richtigkeit von Messung und Berechnung des Dreiecksnetzes. Bis Mitte des 20. Jahrhunderts ist vorgeschrieben, die Achse zum



Abb. 10: J. Kriehuber,  
Carl v. Ghega, Litho 1851



Abb. 11: Tunnelbau, Ghega Museum, Breitenstein



Abb. 12: Nivellier Stampfer<sup>11</sup> 1840 (Stw. Kremsmünster)



Abb. 13: Kippregel (Diottra a cannocchiale) Kern<sup>12</sup> 1835

## 2. Semmeringbahn 1854

1842 wird der Mathematiker und Ingenieur Carl(o) Ghega (1802–1860) zum Gesamtplanungsleiter der südlichen Staatseisenbahn ernannt und unternimmt eine Studienreise nach Großbritannien und Amerika. Die Erkenntnisse daraus fließen in die Planung und den Bau der Semmeringbahn und in zwei Publikationen ein, die Ghega neben Deutsch auch in Italienisch und Französisch veröffentlicht. 1849 wird Ghega Vorstand der Eisenbahnbausektion.

11) Nivellier-Instrument Messing, zaponiert, Tubuslänge 35 cm, Objektivdurchmesser 3 cm, „ $M = 18.09$  (bei dieser Stellung der Mikrometerschraube ist die Libelle parallel zur Umdrehungsebene der Alhidade). Es wird auf der vertikalen Skale der Teilstrich 18 eingestellt, während die Mikrometerscheibe auf 0 steht, und dann noch um 9 Teile (= 0.09) weiter gedreht. Um das Fadenkreuz deutlich zu sehen, wird bloß die vordere geschwärzte Glasfassung gedreht, wodurch der Abstand der Linse vom Faden, je nach der Beschaffenheit des Auges, sich ändert, ohne dass dabei das Diaphragma und die wichtige Korrektion der Fäden die geringste Störung erleidet; durch die feinere Einstellung der Oku-

Der kaiserliche Auftrag ergeht 1849: „Der Bahnbau über den Semmering ist fortzusetzen.“ Im selben Jahr wird die Scheitelstrecke in Angriff genommen. Ein großes Problem ist, dass die Trasse mit den damaligen Mitteln nicht in der notwendigen Präzision vermessen werden kann. Neue Instrumente und Vermessungstechniken müssen erst entwickelt werden, wie beispielsweise das in den 1830er-Jahren erfundene, „Stampfer'sche Nivellier-, Höhen- und Längenmessinstrument“ zur optischen Distanz- und Höhenmessung, das beim Bau der Semmeringbahn seinen ersten großen Einsatz findet. In den folgenden Jahrzehnten wird es zu einem der bedeutendsten Hilfsmittel in der Geodäsie. Schichtenpläne kommen erst nach und nach zum Einsatz.

larröhre mittelst des Triebwerkes lässt sich auch das Bild zur grössten Deutlichkeit bringen.“ ([http://www.specula.at/adv/monat\\_0704.htm](http://www.specula.at/adv/monat_0704.htm))

12) Ghega, Dell'ottante a diottra, 1833. Die Dioptra ist ein universelles geodätisches Instrument, das als früher Vorgänger des Theodolits angesehen werden kann.





Abb. 14: Semmeringbahn, Leipz.III.Ztg 1854, Hist. Museum Berlin



Abb. 15: Trassierung von Ghenga<sup>14</sup> (Symbolbild)

Ghenga kann auf die von Pionieroffizieren Erzherzog Johanns 1836–1839 angefertigten und 1842 im Auftrag der k.k. Generaldirektion für Staatseisenbahnen ergänzten Niveau-Verhältnisse der Semmeringregion zurückgreifen und damit verschiedene Trassenvarianten ausarbeiten. Trotzdem sind „wiederholte mühsame Begehungen der Gegend“ erforderlich, da für Ghenga „das Feld der Operationen [...] in seiner gesamten Beschaffenheit praktisch kennen zu lernen“ die „erste nothwendige Aufgabe“ bedeutet.<sup>13</sup>

1.428 Meter lang ist der Haupttunnel in 898 m Höhe. Damals gelten Tunnelbauten mit nur geringer Gebirgsüberdeckung als beherrschbar. Als Ghenga mit der Trassierung beginnt, liegen Gegenprojekte vor. Eines führt in die Prein und will die Kampalpe in der Richtung Prein-Spital mit einem 5000 m langen Tunnel durchbrechen, was bei dem damaligen Stand der Bohrtechnik auf kaum zu bewältigende Schwierigkeiten gestoßen wäre. Ghenga lehnt längere Tunnel vor allem wegen der Bauzeit entschieden ab, daher sind die notwendigen Vermessungsarbeiten nicht so risikobeladen wie später beim Mont-Cenis- oder gar beim Gotthard-Tunnelprojekt. Dennoch ist das Unterfangen „ein mörderischer Bau“. Alle Umsicht kann Felsstürze mit Todesopfern nicht verhindern. Im Haupttunnel macht aus unzähligen Quellen eindringendes Wasser die Einhaltung der Pläne fast unmöglich. Fachleute zittern, ob die Arbeiten

unter dem enormen Gesteinsdruck durchführbar wären. Wie bei der Qanat-Bauweise in der Antike werden in regelmäßigen Abständen senkrechte oder schräge Schächte bis zur Tunnelachse hinabgetrieben.<sup>15</sup>

Die Arbeiten für die Errichtung des Haupttunnels werden am 5. Juni 1849 aufgenommen. Wegen seiner Länge werden sechs vertikale und drei schräge Schächte abgeteuft, um zur eigentlichen Tunnelachse zu gelangen. Von diesen Punkten ausgehend kann dann der Tunnelvortrieb in beide Richtungen begonnen werden. Gleichzeitig dienen die neun Schächte dem Abtransport des gesprengten Materials, der Versorgung der Tunnelbaustelle mit Frischluft und dem Abpumpen des eindringenden Bergwassers. Nach jahrelanger Tag- und Nachtarbeit gelingt der Durchbruch des Richtstollens am 12. Juni 1851 und in der Folge findet die Aufweitung und Ausmauerung sowie der Ausbau statt. Die erste belegte Fahrt durch den Tunnel erfolgt am 24. September 1853.<sup>16</sup>

Die unter der Leitung von Carl Ghenga zwischen 1848 und 1854 in einer Rekordzeit von nur sechs Jahren als vollspurige Bergbahn errichtete Semmeringbahn wird bereits bei Fertigstellung als Pionierleistung bewundert. Sie gilt aufgrund des Trassenverlaufs und der Länge als erste Hochgebirgsbahn der Welt und wird 1998 als weltweit erste Eisenbahnstrecke zum UNESCO-Weltkulturerbe erklärt. 1857 wird die Gesamtstrecke Wien-Triest, die „Erzherzog Johann-Bahn“, eröffnet. Die zwei schwierigen zu überwindenden Abschnitte,

13) Dinhl Günter, Die Semmeringbahn, Eine Baugeschichte der ersten Hochgebirgsbahn der Welt, S 96 ff

14) [...] wie wichtig es ist, bei der Ausmittlung (Tracierung) einer Eisenbahnlinie auf dem Felde, die Neigungs- und Krümmungs-Verhältnisse der Bahn mit möglichster Rücksicht auf den Umfang der Leistungen der Locomotiven zu bestimmen. (Ghenga 1844)

15) Knittel Hartmut, Vermessung und Bau des Gotthardtunnels im 19. Jahrhundert, 2008, S 41

16) Dinhl Günter, Die Semmeringbahn, Eine Baugeschichte der ersten Hochgebirgsbahn der Welt, S 94 f



Abb. 16: Carl v. Etzel, Brennerbahn-Erbauer

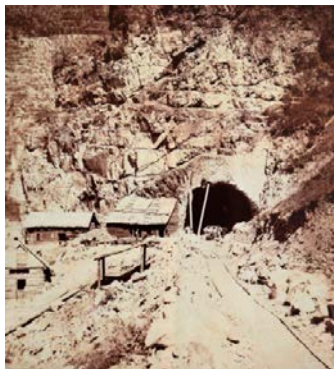


Abb. 17: Baubüros, Unterkünfte



Abb. 18: Schönberger Tunnel

Semmering und Karst, werden unter optimaler Ausnützung der geographischen Verhältnisse ohne großen Tunnel überquert. Die Trassierung im Laibacher Moor stellt Ghega vor größere Probleme als der Semmering. Der Talübergang Franzensdorf übertrifft die Dimensionen des Semmerings, ist aber nicht so spektakulär.

Die Dokumente zur Semmeringbahn gehören zu den frühesten technikhistorischen Schriften des Eisenbahnwesens. 164 Originalbelege zur Semmeringbahn aus dem historischen Museum der österreichischen Eisenbahnen (1886–1980) zeigen, dass die zwischen 1848 und 1854 gebaute Alpenbahn schon während ihrer Entstehung als Pionierleistung und international für künftige Bahnbauprojekte als richtungsweisend angesehen wird. Notizbücher der Ingenieure, Skizzen, Zeichnungen, Aquarelle, Lithografien und Stahlstiche zeugen von der Entwicklung einer Großbaustelle in der Bergwildnis sowie vom Bau der imposanten Viadukte und Tunnel mit den technischen Möglichkeiten der Zeit.<sup>17</sup>

Ghega wird mit Ehren überschüttet, der Kaiser erhebt ihn 1851 in den Adelsstand. Da der Staat aber nach und nach alle Bahnen abgestoßen hat, gibt es für Ghegas zentrale Baudirektion praktisch keine Kompetenz und keine Arbeit mehr. Man findet pro forma einen Ministerialratsposten für ihn und lässt ihn Pläne für das Siebenbürger Eisenbahnnetz machen. 1860 stirbt Ghega in Wien an Tuberkulose. Nie verheiratet, ist seine Arbeit zeitlebens seine einzige Liebe neben dem Vaterland, zu dem der Venezianer sich jederzeit bekennt: „Ich bin ein italienischer Österreicher.“

17) [https://www.technischesmuseum.at/tmw-zine/semmeringbahn\\_eine\\_bahn\\_als\\_weltdokumentenerbe](https://www.technischesmuseum.at/tmw-zine/semmeringbahn_eine_bahn_als_weltdokumentenerbe)

### 3. Brennerbahn 1867

Während die Semmeringbahn mit ihren kunstvoll gestalteten Viadukten, Brücken und Tunneln als eine der schönsten Gebirgsbahnen der Welt gilt, muss der Erbauer der Brennerbahn Carl von Etzel (1812–1865) bei der Ästhetik mit dem Verzicht auf viele große Kunstbauten Abstriche machen. Dafür wird die Brennerbahn nur halb so teuer wie die Semmeringbahn.

Vermessung und Planung: Vorarbeiten, Vorwärtstasten, Varianten sonder Zahl, keine Kurve zu viel. Das Ingenieurteam folgt den Vorgaben und nimmt mit einem Trupp Zeichner ein halbes Jahr lang die mühseligen Vermessungen vor Ort vor, quer durch die Schluchten bei Patsch und Schönberg nördlich sowie bei Atzwang und Blumau südlich des Brenners. Zum ersten Mal in der Geschichte des Eisenbahnbaus werden gekrümmte Tunneln, sogenannte „Kehrtunnels“, konstruiert. Fast alles bei dem Projekt ist Handarbeit. Mit Schaufeln, Schubkarren und Schwarzpulver schufteten bis zu 20.000 Arbeiter auf der Großbaustelle. Noch vor der Vollendung der Bauarbeiten stirbt Carl von Etzel an den Folgen eines Schlaganfalls.<sup>18</sup> Sein engster Mitarbeiter Achilles Thommen übernimmt die Leitung. Der Bau ist wegen der überwindenden Schwierigkeiten Vorbild für Erbauer späterer Gebirgsbahnen.

Aufgrund der günstigen Topologie kommt die Brennerbahn ohne große Tunnelbauten aus. Der erste längere Tunnel von 661,7 m, kurz nach Inns-

18) Am 2.5.1865 stirbt Carl v. Etzel in einem Eisenbahnwaggon in Kammelbach bei Ybbs an den Folgen des schweren Schlaganfalls vom 13.11.1864. Der Tod in einem Waggon ist nicht Ironie des Schicksals, sondern letzte Konsequenz seiner vielen Reisen, oft auf Bahnstrecken, die er geplant und gebaut hat.



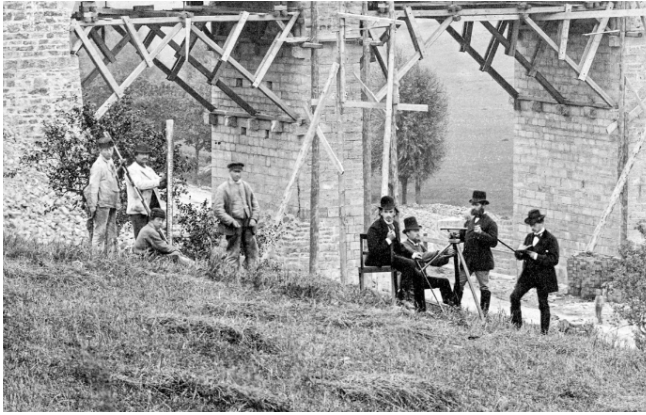


Abb. 19: Vermessung an der Eisenbahnbrücke



Abb. 20: Präzisionsnivellier Kern

bruck durch den Berg Isel, führt die Bahn ins Silltal. Der längste Tunnel der Bahn ist der 872 m lange Mühltaler Tunnel, unter dem der Mühlalbach in einem Tunnel quer durchgeführt ist. Sieben solche Bachtunnel werden zur Vermeidung kostspieliger und schwierig herzustellender Überbrückungen ausgeführt. Zwischen Patsch und Matrei wird der Sillfluß mit einem Tunnel von 102 m Länge unter der Bahn durchgeführt. Bei Stafflach fährt die Bahn in einer Schleife gegen Osten in das Schmirntal, wendet sich dann in dem 468 m langen St. Jodoker Kehrtunnel in das Valsertal, kehrt auf der südlichen Lehne des Schmirntals durch den 283 m langen Stafflachertunnel ins Silltal zurück bis zum Sillursprung auf der Höhe des Brennerpasses. Von da gelangt die Bahn ins Eisacktal und über Schellenberg nach Gossensaß, das um 176 m tiefer liegt.

Die Bahn erreicht Sterzing und überschreitet in gerader Linie das Sterzinger Moos. Am Sprechenstein wird beim Bau eine der ersten Rieseminen mit 1.500 kg Schwarzpulver zur Explosion gebracht.

1861 erhält der Eisenbahn-Ingenieur Julius Lott (1836–1883) von Carl von Etzel den Ruf zur Brennerbahn. Etzel überträgt ihm vorerst Projektierungsarbeiten und später die Bauausführung des Abschnitts Patsch–Matrei, den schwierigsten Teil der gesamten Strecke. Lott erledigt diese Aufgabe mit Bravour und macht sich damit einen Namen als Eisenbahntechniker. Nach dreieinhalb Jahren fährt am 24. August 1867 die Brennerbahn erstmals von Innsbruck nach Bozen. Die zunächst eingleisig geführte Strecke wird 1908 zweigleisig ausgebaut.



Abb. 21: Wassertunnel Gossensaß, 1907



Abb. 22: Sprengung Sprechensteinkofel, Jursitzka/Pawelka, C. v. Etzel, 2017



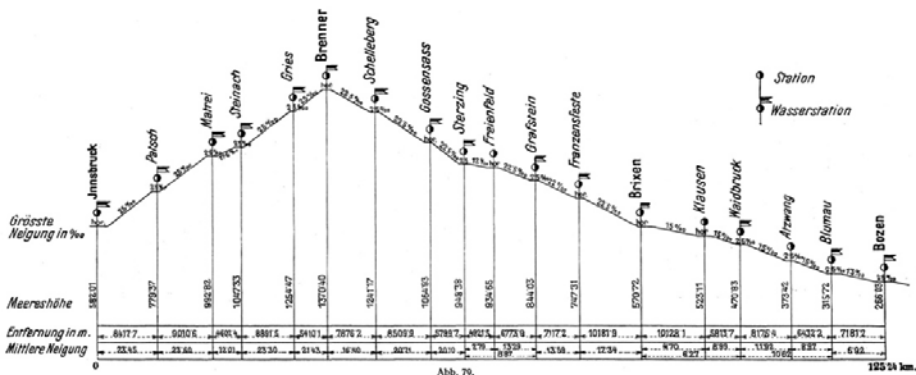


Abb. 23: Profil der Brennerbahn (Röll, Enzyklopädie des Eisenbahnwesens)



Abb. 24: Julius Lott 1880



Abb. 25: Denkmal in St. Anton



Abb. 26: Klimt, Lott auf dem Totenbett, 1883

Neben der Planung und Ausführung verschiedener Eisenbahnstrecken ist Lott auch Erbauer der Arlbergbahn, deren Fertigstellung er nicht mehr erlebt. Von schwerer Krankheit befallen, muss Julius Lott die Bauleitung der Arlbergbahn kurz vor der Fertigstellung an Johann Poschacher übergeben, der Lotts Werk erfolgreich zu Ende führt. Im Alter von nur 47 Jahren stirbt Julius Lott 1883 in Wien an Miliartuberkulose. Sein früher Tod führt zu dem Gerücht, Lott habe den Freitod gewählt, weil er befürchtet habe, dass die von Osten und Westen vorangetriebenen Richtstollen des Arlbertunnels nicht aufeinandertreffen würden. 1960 fordert der Bürgermeister von Bludenz das Unterrichtsministerium in Wien auf, die Lehrerschaft auf die unrichtige Behauptung über den Tod Lotts hinzuweisen. Auch der Bayerische Rundfunk strahlt 1960 die falsche Nachricht über den Suizid des Erbauers der Arlbergbahn aus und behauptet, dass Lott „wegen einer Liebesaffäre in St. Anton zum Zeitpunkt des Tunneldurchstichs vor seinen Arbeitern Suizid begangen“ hätte. Die widerlegte Behauptung findet sich noch 1983 im „Tirol-Lexikon“ von Gertrud Pfandler: „Beim Ein-

gang des 10,24 km langen Eisenbahntunnels steht ein Denkmal des Erbauers Julius Lott, der kurz vor der Fertigstellung des Tunnels Selbstmord verübt hat“. Nachforschungen des Verkehrsministeriums in Wien zeigen, dass alle Behauptungen über den Suizid Lotts frei erfunden sind, die Berechnungen für den Durchstich des Arlbertunnels richtig sind und kein Grund besteht, seine Planung anzuzweifeln.

1857 beginnt man im Ausland damit, ganz neue technische Maßstäbe zu setzen. Zwischen Frankreich und Italien wird die Errichtung des „Mont-Cenis-Tunnel“ (etwa 13 km) in Angriff genommen, 1871 wird dieser erste große Alpentunnel vollendet. Es stehen sich also zwei Konzepte gegenüber, Ausnutzung des vorhandenen Terrains ohne großen Tunnel oder Errichtung eines Groß-Tunnels. Angesichts des Fortschritts im Tunnelbau kommt es in der Folge zum Bau von Bahnen, welche keinesfalls überschießbare Gebiete durchqueren, die unterfahren werden müssen. 1881 wird der 15 km lange Gotthard-Tunnel eröffnet, 1884 gefolgt vom Arlberg-Tunnel. Bereits 1885 wird über die Errichtung eines Tauern-Tunnels gesprochen.

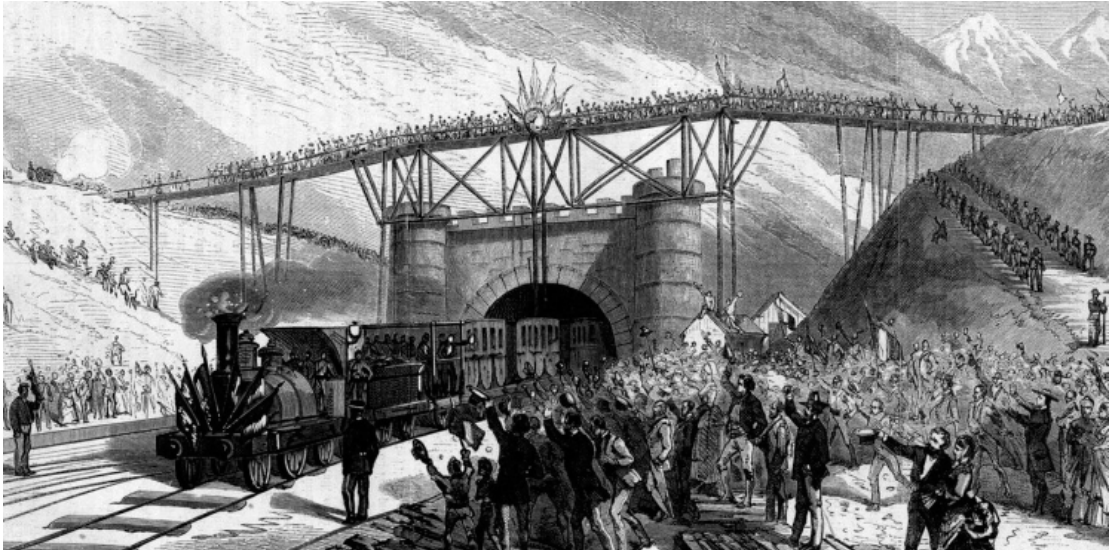


Abb. 27: Eröffnung des Mont-Cenis-Tunnels 1871

#### 4. Mont-Cenis-Bahn 1868/71

Die Mont-Cenis-Bahn ist eine von 1868 bis 1871 betriebene internationale Eisenbahnstrecke an der Grenze zwischen Frankreich und Italien über den 2081 Meter hohen Mont-Cenis-Pass zwischen Modane und Susa. Ziel ist es, eine Verbindung von Großbritannien über die Mittelmeerhäfen zum Suezkanal in Richtung der britischen Kolonie Indien zu schaffen.



Abb. 28: Germano Sommeiller

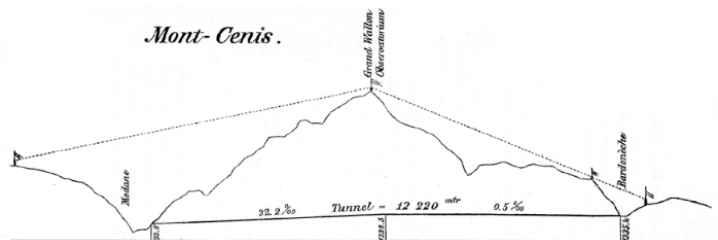


Abb. 29: Profil des Mont-Cenis-Tunnels

Viktor Emanuel II. von Sardinien-Piemont auf italienischer Seite zeitgleich die ersten Sprengungen auslösen, baut die private Bahngesellschaft Ferrovia del Moncenisio 1865 eine Bahnstrecke über den Pass. Man nimmt an, dass sich die

Obwohl bereits 1857<sup>19</sup> die Arbeiten am Eisenbahntunnel unter dem Mont Cenis in Angriff genommen werden, als Kaiser Napoleon III. auf französischer und König

Strecke während der Tunnelbauzeit von 25 Jahren amortisiert. Die Arbeiten, die zu Beginn mit den damals üblichen Handwerkzeugen ausgeführt werden, gehen anfangs sehr langsam voran. Unter Beibehaltung des Bautempos von 1857 bis 1860 hätte die Fertigstellung 40 bis 50 Jahre gedauert.

Der den Tunnelbau leitende Ingenieur Germain Sommeiller<sup>20</sup> (1815–1871) erfindet jedoch 1857 pneumatische

19) Ce fut Joseph François Medail (1784–1844) qui donna le premier l'idée du tunnel ferroviare du Fréjus (première appellation: tunnel du Mont-Cenis). Cet ouvrage gigantesque (1857–1870) devait relier les deux parties du Piémont de part et d'autre des Alpes (la Savoie et la province du Piémont d'aujourd'hui).

20) Germain (Germano) Sommeiller, italienischer Bauingenieur aus Savoyen, leitete den Bau des Fréjus-Eisenbahntunnels zwischen Frankreich und Italien, auch bekannt als Mont-Cenis-Tunnel.



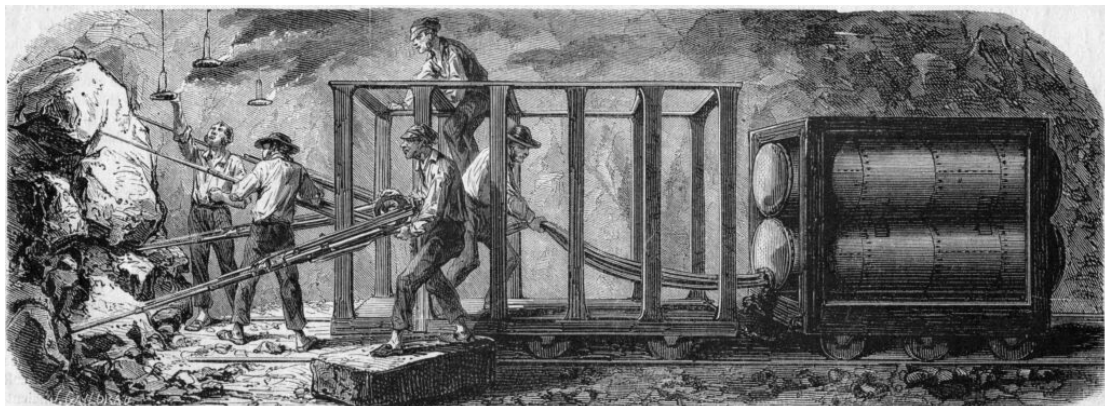


Abb. 30: Pneumatische Bohrhämmer Sommeiller

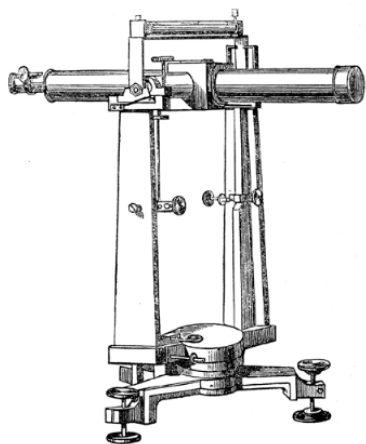


Abb. 31: Passageinstrument für Fluchtungen beim Bau des Mont-Cenis-Bahntunnels, 1858



Abb. 32: Ehemaliges Nordportal des Mont-Cenis-Tunnels

Bohrhämmer<sup>21</sup> und setzt sie ab 1861 ein. Zusammen mit der elektrischen Zündung der Sprengladungen wird die Baugeschwindigkeit verdreifacht und die Bauzeit auf 14 Jahre verkürzt.

Im August 1857 beginnen die Absteckungsarbeiten für den Mont-Cenis-Bahntunnel, die die Verbindungsgerade zwischen den in Aussicht genommenen Stollenmundlöchern festlegen. Danach können die Punkte für die Errichtung der Observatorien auf beiden Seiten des Tunnels und auf dem höchsten Punkt, dem Grand Vallon, bestimmt werden. Auch ein Nivellement zur Bestimmung des Höhenunterschieds der beiden

Mundlöcher wird noch im gleichen Jahr durchgeführt, sodass mit den vorbereitenden Bauarbeiten begonnen werden kann. Im Juli 1858 wird die bisher provisorisch festgelegte Tunnelrichtung durch drei Punkte definitiv markiert und auf dem Grand Vallon ein Observatorium errichtet, das mit einem größeren Theodolit ausgestattet wird. Mithilfe dieses Instruments kann ein etwa 9 km entfernter südlich gelegener Punkt eingefluchtet werden. Dieser Vorgang wird mehrfach von verschiedenen Beobachtern wiederholt, sodass der Punkt mit hoher Wahrscheinlichkeit in der gedachten Vertikalebene der Tunnelachse liegt. Weitere Zwischenpunkte und die beiden Beobachtungspunkte gegenüber den Tunnelportalen werden endgültig festgelegt. Durch ein direktes Nivellement werden die Höhenunterschiede der beiden Punkte

21) König, W. (Hrsg.): Propyläen Technikgeschichte, Bd. 2 „Mechanisierung und Maschinisierung“, Berlin 1997: 1857 Erfindung des Preßluftgesteinsbohrers von Sommeiller für die gegenläufigen Vortriebe des damals weltlängsten Tunnels von 13 km durch den Mont Cenis.





Abb. 33: Favres Tod im Tunnel, 1879

exakt bestimmt. Die Länge des Tunnels muss indirekt durch Triangulation über 86 Dreiecke mit den Hauptpunkten der Absteckung und einer Basis von 8,7 km ermittelt werden. Geflüchtet wird mit dem dargestellten Passageinstrument (Abbildung 31), das Otto Gelpke später für den Gotthardtunnel übernimmt. Das Gelingen eines Durchschlags hängt nicht allein von der Güte der Triangulierung ab, sondern auch von der bei der Absteckung der ermittelten Richtung der Tunnelachse geübten Sorgfalt, also von der bei deren Übertragung und Weiterführung in das Stolleninnere eingehaltenen Genauigkeit.<sup>22</sup>

Der Durchbruch erfolgt Ende 1870 und 1871 wird der Tunnel offiziell eröffnet. Die Länge des zweigleisigen Tunnels beträgt in der Geraden (samt den zwei aus Vermessungsgründen ausgeführten Richtungstunneln) 12.219 Meter. Die eigentliche Tunnellänge mit den in Kurven liegenden, beidseitigen Ausgängen erreicht 12.819,6 Meter. Der Tunnel gilt als technisches Meisterwerk und ist bis zur Eröffnung des Gotthardtunnels 1882 der längste Tunnel der Erde.

## 5. Gotthardbahn 1882

Vergleichbar mit dem Semmering fordert Pasquale Lucchini aus Lugano um 1850 noch eine Alpenbahn von Göschenen nach Airolo über den Gotthardpass, ein Tunnel ist nicht vorgesehen. 1865 fällt jedoch die Entscheidung für den (alten) Gotthardtunnel als Scheiteltunnel unter den Gipfeln des Gotthardmassivs in Nord-Süd-Richtung, das zentrale Bauwerk der Schweizer Gotthardbahn. Der rund 15.000 Meter lange Eisenbahntunnel besteht aus einer einzelnen, doppelgleisig ausgebauten Tunnelröhre zwischen Göschenen



Abb. 34: Durchschlag des Gotthardtunnels, 1882

im Kanton Uri und Airolo im Kanton Tessin. Der Tunnel wird um 1880 auf einer Höhe von 1.150 m über dem Meer gebohrt und gesprengt.

Der Bauunternehmer Louis Favre (1826–1879) übernimmt die ersten Bohrmaschinen Typ Sommeiller vom Mont-Cenis-Tunnel. Dazu erprobt er die wichtigsten Schlagbohrmaschinen vor Ort. Die Werkstattchefs in Airolo und Göschenen entwickeln die Maschinen weiter. Sie sollen weniger reparaturanfällig und mit einem automatischen Vortrieb versehen sein. Es wird ein signifikanter Fortschritt erzielt: Zu Beginn müssen pro Tag drei Maschinen ausgewechselt werden, gegen Ende des Baus nur noch eine Maschine alle drei Tage. Die Abluft der pneumatischen Schlagbohrmaschinen dient gleichzeitig der besseren Belüftung des Tunnels. Je sechs Bohrmaschinen sind auf Lafetten montiert. Mit den Maschinen werden zirka einen Meter tiefe Löcher gebohrt, die anschließend mit Dynamit, erfunden 1866 vom schwedischen Chemiker Alfred Nobel, gefüllt und gesprengt werden.

Am 19. Juli 1879 befällt Favre bei einer Besichtigung im Tunnel bei Kilometer 3 ein Unwohlsein und er stirbt wenige Minuten später im Alter von 53 Jahren an Herzversagen. Technischer Gesamtleiter wird ab 1879 Ernest von Stockalper. Obwohl Favre den Durchstich nicht mehr erlebt, soll ihm die Ehre zu Teil werden, als erster den Tunnel zu „durchqueren“. Am 24. Dezember 1879 hören Arbeiter des nördlichen Bautrupps zum ersten Mal den Sprenglärm im Süden. Nach weiteren 422 m durchdringt am 28. Februar 1880 ein Bohrer von Süden her die Felswand. Durch dieses Loch reichen die Arbeiter ihren Kollegen auf der Nordseite eine Blechdose mit dem Bild Favres mit den Worten: „Wer wäre würdiger gewesen, als Erster die

22) Wellisch Siegmund, Über Tunnelabsteckungen, ÖZ 1905, S 221



Abb. 35: Otto Gelpke



Abb. 36: Tunnelportal bei Göschenen um 1889



Abb. 37: Carl Koppe

Abb. 38: Großes Passageinstrument Kern von Koppe (Sammlung Kern, Stadtmuseum Aarau)<sup>24</sup>

Schwelle zu überschreiten, als Favre, der seinen Mitarbeitern Meister, Freund und Vater gewesen ist? Es lebe der Gotthard!“

Am 29. Februar 1880 erfolgt nach sieben Jahren und fünf Monaten der eigentliche Durchstich. Die Abweichungen betragen seitlich nur 33 Zentimeter und 5 Zentimeter in der Höhe, eine Meisterleistung der damaligen Ingenieur- und Vermessungstechnik. Das Ereignis wird in den europäischen Medien gefeiert, der mit 15 Kilometern damals längste Tunnel der Welt ist durchstoßen. In der Schweiz, in Europa und auch in Übersee lobt man nicht nur die Baumeister, sondern auch Gelpke und Koppe für die geleisteten vermessungstechnischen Arbeiten, die angewandten Messverfahren

ren und mathematischen Ausgleichsmethoden. „Man kann heute sagen, dass die ganze Presse des Kontinents dem Gotthardwerk ihre Huldigung darbringt und den Tribut aufrichtiger Anerkennung zollt.“<sup>23</sup>

Die Vermessung ist besonders bei sehr langen Tunnelbauten enorm wichtig. Beim Gotthard sieht Louis Favre eine kurze Bauzeit vor, die er dadurch erreichen will, dass von beiden Seiten gleichzeitig gebaut wird, wobei man sich in der Mitte treffen muss. Keine leichte Aufgabe für die Ingenieure, die dabei die Richtung vorgeben. Die Vermessung der gesamten Strecke erfolgt von 1869 bis 1874. Dabei werden von der Gotthardbahn Geländeaufnahmen in den Maßstäben 1:1.000 und 1:500 gefordert. Bei der Planung des Gotthardbahntunnels werden zwei voneinander unabhängige Triangulationen vorgenommen, die erste vom Schweizer Otto Gelpke (1840–1895), die zweite vom Deutschen Carl Koppe (1844–1910). Diese nehmen jeweils gut ein Jahr in Anspruch.

23) Knittel Hartmut, Vermessung und Bau des Gotthardtunnels im 19. Jh., 2008, S 47; Landbote Zürich, 4.3.1880.

24) Großes Passageinstrument aus der Mont-Genis-Tunnelabsteckung, umgearbeitet von J. Kern, Aarau, durchschlagbares Fernrohr, 60 cm Brennweite (Brunner'sches Fabrikat), 6 cm Öffnung, 50-fache Vergrößerung (nach Gelpke 36-fach), ein Horizontal- und ein Doppelvertikalfaden, mehrere Parallelfäden für Beobachtung von Sterndurchgängen, Okulartrieb, kleine Lineallibelle, eine große sehr empfindliche Reiterlibelle für feine Horizontalstellung der Fernrohrachse, Brems- und Mikrometervorrichtungen, Klemmen und Mikrometer, „kleiner Horizontal- und Verticaltheilkreis mit Noniusablesung auf 1 Minute zum raschen und sichern Einstellen der Marke bei Nacht.“ (Koppe 1880, S. 45), Kerzenhalter für seitliche Beleuchtung des Fadenkreuzes durch die durchbohrte horizontale Umdrehungsachse. Heinz Aeschlimann 1990, aktualisiert Beat Sievers, 12.4.2023.



Abb. 39: Vermesser am Gotthardtunnel (Ebnetter 2006)

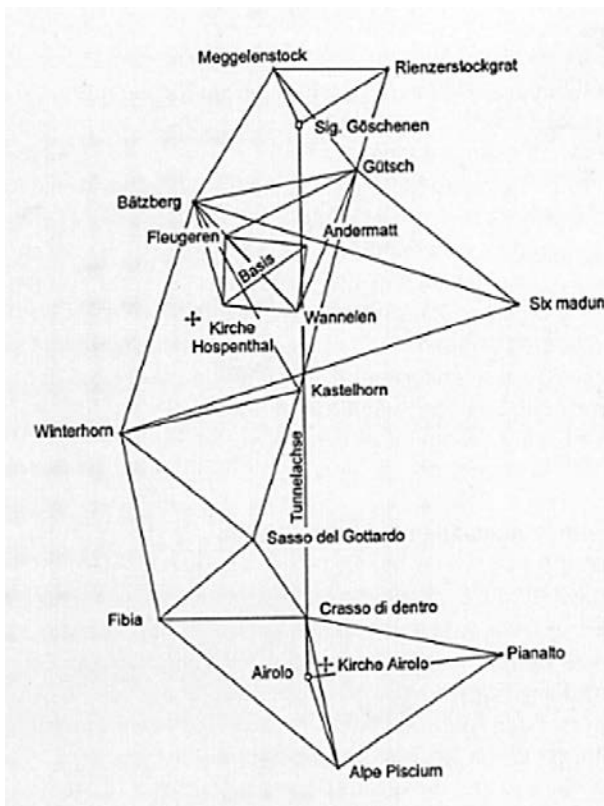


Abb. 40: Triangulationsnetz Gelpke 1871

Die doppelte Vermessung wird durchgeführt, um absolute Sicherheit über das Zusammentreffen der beiden Richtstollen zu erhalten, da bislang noch kein Tunnel dieser Länge ohne direkte Absteckung gebaut worden ist.<sup>25</sup> Von der Gotthardbahn wird dazu mit der Eidgenössischen geodätischen Kommission eine staatliche Stelle beauftragt. Diese kann teilweise auf bereits vorhandene Punkte zurückgreifen. Die Vermessung der Strecke gelingt dadurch in rekordverdächtigter Geschwindigkeit. Koppe ist von 1869 bis 1875 für die Vermessung der Gotthardbahn verantwortlich und führt auch eine barometrische Höhenmessung durch, wofür er große Bewunderung erhält.<sup>26</sup>

Für die Vermessung verwendet man u.a. Theodolite der Firmen Kern & Co, Aarau, Ertel & Sohn, München und Gustav Starke, Wien.<sup>27</sup>

25) Während der Mont-Cenis-Bahntunnel trotz einer Länge von mehr als 12 km noch direkt abgesteckt werden kann, ist dies für den Gotthard-Bahntunnel wegen der Topographie nicht möglich.

26) Carl Koppe ist einer der größten Förderer der Aneroidbarometer nach Jakob Goldschmid.

27) Sievers Beat, Vermessung der Gotthardbahn-Tunnel, GGGS Arbeitsgruppe Tunnelvermessung, S 52 ff





Abb. 41: 8" „Gotthard-Theodolit“ Kern, 1874, von Koppe (swisstopo Bild 9287, 2013)<sup>28</sup>



Abb. 42: 15" Universaltheodolit<sup>29</sup> Ertel & Sohn, 1863<sup>30</sup>



Abb. 43: 9" Theodolit Starke, 1837, von Gelpke (swisstopo Bild 5490, 2012)<sup>31</sup>

Die von Jakob Kern 1817 gegründete Firma ist bekannt für besonders präzise arbeitende Geräte.<sup>32</sup> In der großen Zeit des Schweizer Bahnbaus ist es von Vorteil, wenn man auf Geräte der Aarauer Firma zurückgreifen kann. Da die beschwerlichen Aufstiege immer wieder zu Schäden an den Theo-

doliten führen, entsendet die Firma Spezialisten zur Baustelle, die defekte Geräte instandsetzen und so die schnelle Durchführung der Vermessung ermöglichen.

Für die Wahl eines örtlichen Netzes als Voraussetzung für die exakte Absteckung der Achse des Haupttunnels spricht auch die damalige Genauigkeit der Vermessungsinstrumente wie der Theodoliten oder der Nivellierinstrumente und der Längenmessgeräte wie Stahlbänder und Holzlatten. Außerdem macht dem Vermessungstrupp die schlechte Luftqualität im Tunnel zu schaffen. Nicht nur die Lungenbelastung für die Menschen ist enorm hoch, sondern der Staub der Baustelle legt sich auch auf Optik und Feinmechanik der Vermessungsinstrumente. Somit gibt es Ungenauigkeiten bezogen auf die exakte Erdgestalt in der Gotthard-Region und andererseits wegen der präzisionsmechanischen Ungenauigkeit der Vermessungsinstrumente, insbesondere der Längenmessgeräte.<sup>33</sup> Das Netz besteht aus möglichst gleichseitigen Dreiecken, umfasst die beiden Achssignale Göschenen und Airolo, die Anschlussignale und Triangulationspunkte auf den umliegenden Gipfeln. Eine genaue Winkelmessung wird durch eine hohe Anzahl von Repetitionen (meistens 24) ermöglicht. Zwei Signale dienen zum Anschluss der Basisstrecke an das Netz. Zur Bestimmung der Tunnellänge wird 1869

28) „Gotthard, auch Gelpke-Theodolit“, 8", 1874–1878 Triangulation, Horizontalwinkelmessungen, Trigonometrische Höhenmessung, Bestimmung der Tunnelachse, Gotthardgebiet Koppe, SGK bis 1879, bis 1895 Gelpke, 22 cm Limbus 10', 4 Nonien 10", 16,5 cm Vertikalkreis 10', 4 Nonien 10", Sexagesimal-Teilung, Fernrohr Kern (alter Typ) 32 cm lang, Öffnung 3,4 cm, Achslibellen 20", Kollimationslibelle (1904). 1874–1879 Gotthardbahn, 1880 Eidg. Topographisches Büro. 1893 von J. Kern repariert. Lukas Gerber, 5.6.2023.

29) Beim Universal-Theodolit ist das Fernrohr zweiachsig gelagert.

30) Kompensationstheodolit, 15", 1863, Universal Horizontalkreis 40 cm, Universal Vertikalkreis 26 cm. Triangulation, 1867–1872 Prof. Plantamour, dann ca. 1872 von Koppe für die Azimut-Absteckung des Gotthardtunnels „Göschenen-Airolo“, anschließend Übungsinstrument in der Eidgenössischen Sternwarte Zürich, 1947 Landestopografie Bern. Lukas Gerber, 5.6.2023.

31) Theodolit, 9" (23 cm), ein Fernrohr, ein Horizontalkreis, von Oberst Quartiermeister Dufour 1837 in Wien bestellt. 1837–1877 für Triangulation, insb. Gotthard Vermessungen der Vermessungsbeamten Eschmann, Mohr u.a. 1837–1865, 1876/1877 von Kern neu geteilt. Hist. Instrumentensammlung swisstopo (Inventar Nr. 1012) in der Sammlung des historischen Materials der Schweizer Armee (HAM), Lukas Gerber, 5.6.2023, vgl. auch <https://emuseum.gggg.ch/eexpo-lv/mile-LV1840.html>.

32) Die Produktion von Vermessungsinstrumenten wird in Aarau 1991 eingestellt.

33) Knittel Hartmut, Vermessung und Bau des Gotthardtunnels im 19. Jh., 2008, S 43, 47

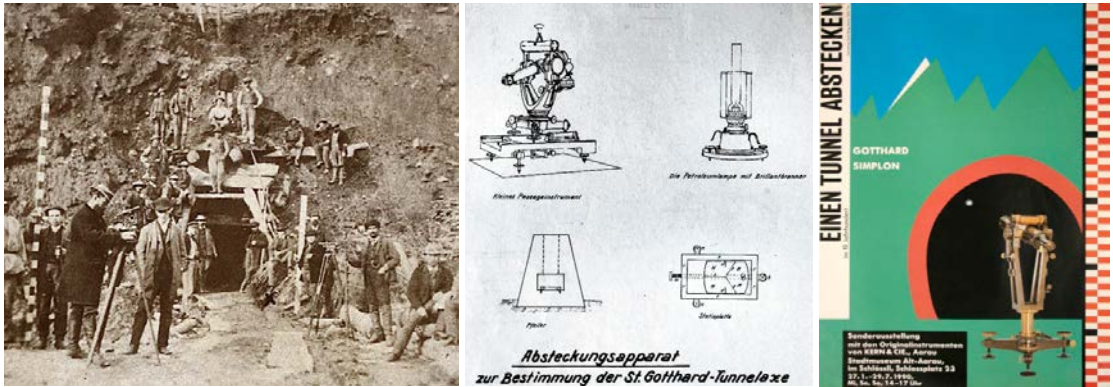


Abb. 44–46: Absteckung Gotthardtunnel um 1872 (Bildarchiv ETH-Bibliothek, Stadtmuseum Aarau)

eine provisorische Basismessung mittels Metallband durchgeführt, wobei eine Basislänge von 1.450,44 m ermittelt wird.

Die am 28.02.1880 in Göschenen eintreffende Meldung „Messieurs, la sonde a passé!“ und die am nächsten Tag erfolgte Sprengung der letzten Wand werden weltweit als Jahrhundertereignis gefeiert. Auch Gelpke und Koppe werden für den geringen Durchschlagsfehler („quasi Null“) als Helden gefeiert. Jedoch ist deren Freude getrübt. Der Durchschlagsfehler ist für sie wesentlich größer als erwartet (entspreche ca. 4,4" Fehler bei den beiden Achspunkten). Gelpke vermutet einen Fehler bei der Übertragung der Achsrichtungen in den Tunnel. Die mit Verbindungsmessungen zwischen den beiden Netzen berechneten Abweichungen der Absteckungsrichtungen betragen 0,15 mgon für Göschenen und 0,22 mgon für Airolo. Nach dem Durchschlag ergibt eine Kontrollmessung der Tunnellänge 14.892,4 m mit einer Seitenabweichung von 0,49 m. Im Gegensatz zur Längenabweichung wird der Seitenfehlleistung nur geringe Bedeutung beigemessen.<sup>34</sup> Die Tunnellänge ist um 7,6 m kürzer als das Resultat der Triangulation von Gelpke auf der Basis von Andermatt. Die Fehlerursache dürfte systematischer Natur sein: Bei der Basismessung wird es zu Ungenauigkeiten gekommen sein und die Längenmessungen im Tunnel dürften wegen der dortigen Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen nicht genau genug gewesen sein. Seit 1887 beträgt die offizielle Tunnellänge 14.997,89 m.

## 6. Tauernbahn 1909

1901 wird der österreichische Ingenieur Karl Wurmb (1850–1907) im 1896 neu gegründeten k.k. Eisenbahnministerium zum Sektionschef und Eisenbahnbaudirektor befördert.



Abb. 47: Denkmal für Karl Wurmb in der Salzburger Schwarzstraße (Johann Rathausky 2021)

34) Querfehler: Der schlimmste Fehlereinfluss lauert bei der Vortriebsmessung durch die Lateralrefraktion. Hilfreich ist Messung in der Tunnelachse.





Abb. 48: Tauernbahn Eröffnung 1909, Das interessante Blatt, 15. Juli 1909, S 4

Die großen Alpentransversalen (Semmering, Brenner, Mont Cenis, Gotthard) sind fertiggestellt und decken die gesamte Alpenkette von Ost nach West ab. Italien ist endlich mit Europa verbunden!

Der Schwerpunkt der Tätigkeit von Wurmb ist die Ausarbeitung des Gesetzentwurfes zum Bau der westlichen Alpentransversale („Neue Alpenbahnen“) nach Triest.<sup>35</sup> Das Projekt, auch als „Österreichische Alpenbahnen“ bezeichnet, sieht folgende Strecken vor:

- Die Pyhrnbahn inklusive Bosrucktunnel
- Die Karawankenbahn mit dem Karawankentunnel und Anschlussstrecken
- Die Wocheiner Bahn
- Die Karstbahn von Görz nach Triest
- Die Tauernbahn mit dem Tauerntunnel

Weitere Linien werden geschaffen, um Umwege zu vermeiden und Ausweichmöglichkeiten zu haben. Die Tauernbahn mit dem Scheiteltunnel fällt als dritte Alpentransversale in Österreich in diese Kategorie.

35) Reichsgesetzblatt für die im Reichsrath vertretenen Königreiche und Länder, RGBl.1901/63.



Abb. 49: Karte der Tauernbahn, Victor v. Röhl: Enzyklopädie des Eisenbahnwesens, Bd. 9. Berlin-Wien 1921

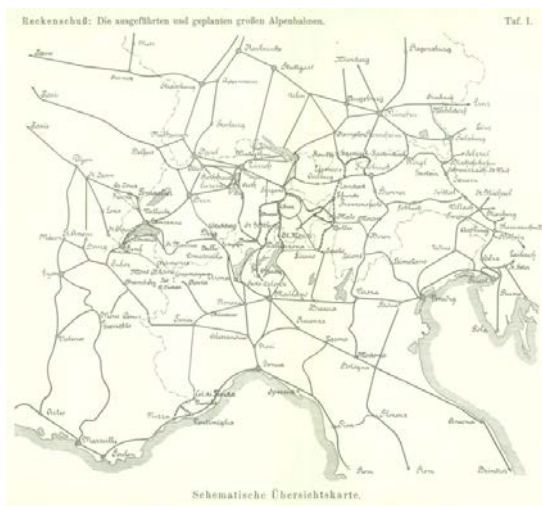


Abb. 50: Reckenschuß, Die ausgeführten und geplanten großen Alpenbahnen





Abb. 51: Mikroskop-Theodolit Tichy-Rost 1904



Abb. 52: Gewölbeausmauerung



Abb. 53: Tauerntunnel Nordportal

Neben den angeführten langen Tunneln ist eine Vielzahl weiterer Tunnel, Viadukte und anderer Brückenbauwerke in alpinem Gelände unter schwierigen geologischen Bedingungen zu errichten. Unvorhersehbare Zwischenfälle führen zu hohen Kostenüberschreitungen. Das Versiegen von Quellen und Bächen, die zur Versorgung mit Wasserkraft vorgesehen sind, Wassereinbrüche auf Tunnelbaustellen und geologische Widrigkeiten wie Felsstürze und Erdbeben, erschweren die Bauarbeiten an zahlreichen Stellen und machen umfangreiche bauliche Maßnahmen notwendig.

Im Juni 1901 beginnen kurz vor dem ersten Spatenstich Bestimmung, Absteckung und Signalisierung der Tunnelgeraden unter Einbeziehung der provisorischen Triangulierung von 1884. Die definitive Bestimmung des Höhenunterschieds zwischen den beiden Tunnelportalen erfolgt durch ein hochgenaues geometrisches Nivellement. Ein Mikroskop-Theodolit<sup>36</sup> der Firma Rudolf & August

Rost, Wien, nach k.k. Staatsbahnoberinspektor Anton Tichy findet bei den Vermessungsarbeiten für den Durchbruch des Tauerntunnels Verwendung. Tichy bestimmt damit Richtung und Länge des Tunnels durch eine neue Triangulation<sup>37</sup> und ein Nivellement zwischen Böckstein und Mallnitz über den Mallnitzer Tauern.<sup>38</sup>

Dr.-Ing. Karl Imhof (1873–1944), seit 1902 Bauführer der Nordrampe des 8.371 m langen Tauerntunnels, wird auch an der Südrampe zum stellvertretenden Vorstand für die Tunnelbauleitung berufen. Ihm ist der Großteil des Bauerfolges zuzuschreiben. Von der Gasteiner Seite werden 6.164 m und von Mallnitz aus 2.386 m des Tauerntunnels 1901–1906 in maschineller Bohrung durch den Alpenhauptkamm (Scheitelhöhe 1.226 m) vorgetrieben und eine Menge von 1,6 Millionen m<sup>3</sup> härtesten Granits ausgebrochen. Am 21.7.1907 erfolgt nach 6-jähriger Arbeit der Stollendurchbruch.

*Für lange Tunnel muss bei der Höhenbestimmung unbedingt die orthometrische Korrektur beachtet werden, was gravimetrische Schweremessungen bei Präzisionsnivellement unentbehrlich macht. Insofern hat Österreich mit dem Präzisionsnivellement Böckstein-Mallnitz (über das Gebirge und später durch den Eisenbahntunnel) unbezahlbare Erfahrungswerte, wie sonst nur die Schweiz mit den geometrischen und astronomi-*

36) Theodolit mit Mikroskopablesung, 1904 (nach dem Muster Gotthardtheodolit Kern), für trigonometrische Längenbestimmungen geodätischer Grundlinien, lange senkrechte Stahlachse, drehbar gelagert in Stahlbuchse wegen Standfestigkeit und Genauigkeit. Zum Schutz gegen die Witterung Horizontalkreis nicht mit Kappe abgedeckt, sondern staub- und wasserdicht eingekapselt. Grundriß der Magnesiumkappe ist ein Zehneck. Auch die mit Achat gefütterten Ypsilonlager der Kippachse des Fernrohrs sind staub- und wasserdicht eingeschlossen. Horizontalkreis mit zwei Teilungen: eine von 10 zu 10 Grad bezifferte, mit freiem Auge ablesbare Teilung in ganze Grade und eine nicht bezifferte, mikroskopisch feine Gradteilung aus 360 Gradstrichen. Zur Ablesung der Bruchteile eines Grades Mikrometerschraube 0,5 mm Ganghöhe mit 100teiler Trommel. Ein Teilstrich ergibt einen Winkelwert von 0,002 Grad, die Ablesung beider gegenüberliegenden Mikroskope 0,001 Grad gleich 3,6" und somit bei Zehntelschätzung 0,36". Sammellinse zur Beleuchtung der Teilung (Tichy,

Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architektenvereins 1909, S 41 ff).

37) Tichy Anton, Ration. Vorgänge d.Absteckung bedeutend langer Eisenbahntunnels, Z.d.Ö.Ing.A.-V.1914, S 720.

38) Schlögl Michaela, Rudolf & August Rost 1888–1988, Festschrift, Wien 1988, S 39; Oesterr. Allg. Bauztg. 1912.

schen Nivellements über den Gotthard-Pass. Die Höhere Geodäsie ist für die Ingenieurgeodäsie bei langen Tunnelprojekten zwingend, was leider manchmal aus Kostengründen vernachlässigt wird. Eine genaue Bestimmung des Geoids ist dabei das Wichtigste.<sup>39</sup>

Mutschlechner schreibt: „Am 24. Juni 1901 erfolgt im Anlauff der Spatenstich für den Tauern-tunnel. In sechsjähriger Bauzeit haben sich im Juli 1907 die beiden Vortriebe so weit genähert, dass man im Nordteil des Tunnels den Lärm des südlichen Vortriebes wahrnehmen kann. Die Geräusche scheinen aber von der Seite zu kommen, als arbeitete man aneinander vorbei. Sollte ein Vermessungsfehler schuld gewesen sein? Der Erbauer der Tauernbahn, Dr.-Ing. Karl Wurmb, Sektionschef im Eisenbahnministerium, der 17 Jahre an der Verwirklichung des Projektes gearbeitet hat und die Bauausführung leitet, bricht unter der Last der übergroßen Verantwortung zusammen und scheidet freiwillig aus dem Leben. Am 21. Juli 1907 fährt der Bohrer der Südbaustelle ins Leere. Der Durchbruch ist an der richtigen Stelle gelungen. Die Vermessung hat gestimmt. Alle Vermutungen und Befürchtungen sind unbegründet gewesen. Für den Erbauer ist es jetzt freilich zu spät. Darin liegt die Tragik des Mannes, der dieses Meisterwerk moderner Technik schuf.“<sup>40</sup>

Tatsächlich verstirbt Karl Wurmb bereits am 30.1.1907 an den Folgen einer Lungenentzündung.<sup>41</sup>

1909 zeigt das k.k. Eisenbahnministerium am Bahnhof Salzburg in einer Spezial-Ausstellung zur Eröffnung der Tauernbahn, der wichtigsten Strecke der 2. Eisenbahnverbindung mit Triest, geodätische Instrumente, die beim Bau der Alpenbahnen, insbesondere bei der Absteckung der langen Tunnels eingesetzt worden sind.<sup>42</sup>

## 7. Zusammenfassung und Ausblick

Vermessungsmethoden müssen so ausgewählt und angewandt werden, dass sie den Zweck des zu errichtenden Bauwerks ermöglichen. Dank des technischen Fortschritts im Instrumentenbau und der Weiterentwicklung der geodätischen Theorie

können im Lauf der Jahrhunderte immer kühnere Tunnelprojekte realisiert werden. Nach einfachen Wasserleitungs- und Straßentunnels in der Antike, deren Vortriebsarbeiten nach Versuch und Irrtum im stumpfen Winkel oder durch Sicherungsbögen aufeinandertreffen, bringen in der Neuzeit verbesserte Instrumente und Methoden wie die Triangulierung wichtige Fortschritte. In der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts kommen zu den Schwierigkeiten des Strecken- und Tunnelbaus im Hochgebirge noch Ungenauigkeiten der Vermessung hinzu. Ingenieurskunst und Spezialinstrumente mit bisher unerreichter Präzision erlauben Tunnel mit über 10 km Länge auch im unwegsamen Gelände der Alpen.<sup>43</sup> Eisenbahningenieure und Vermesser leisten dabei einen hohen persönlichen Einsatz, der ihr Leben verkürzt, auch wenn sie eher an Lungenkrankheiten durch die ungesunde Atmosphäre im Tunnel sterben als durch Selbstmord wegen der Belastung durch das manchmal ungewisse Ergebnis ihrer Arbeit, wie zuweilen vermutet wird.<sup>44</sup>

Neue Hochgeschwindigkeitsstrecken durch die Alpen stellen hohe Anforderungen an die Präzision der Bauwerke. Zuverlässige und hochgenaue Vermessungsverfahren garantieren die notwendige millimetergenaue Absteckung. Die Gotthard-Triangulierungen 1869 und 1874 nehmen noch über ein Jahr in Anspruch. Für die NEAT (Neue Eisenbahn-Alpentransversale) erfolgt in den 1970er Jahren eine Triangulation, die zwei Monate dauert. Viel schneller lässt sich die Tunnelstrecke mit GPS vermessen: zwei Tage braucht man 1995. Die Genauigkeit lässt sich mit GPS nur unwesentlich steigern, auf 1 cm statt 2–4 cm Abweichung.

Problematisch ist, dass sich Messungenauigkeiten mit wachsender Entfernung vom Tunnelleingang aufsummieren. Spätestens nach ein paar Kilometern treten im messtechnischen Gerüst der Vermessungsingenieure Probleme auf. Die fehlertheoretisch ungünstigste Stelle des Gesamtsystems liegt an der Durchschlagsstelle, wo die Vortriebe aus entgegengesetzten Richtungen aufeinanderstoßen. Man will deshalb auf Richtungsreferenzen im Innern des Tunnels zurückgreifen können, um nicht alle Messungen auf die beiden

39) Thomas Wunderlich

40) Mutschlechner Georg, Der Tauern-tunnel als Forschungsobjekt, S 594.

41) Der Bautechniker 1907, S 109; <https://www.friedhoeffen.at/verstorbenenuche>

42) Mikroskop-Theodolit Rost zur Messung von Horizontalwinkeln in Triangulationsnetzen, Präzisions-Nivellier Rost, Apparat zur trigonometrischen Basismessung (Invarstab), Passageinstrument.

43) Die Errungenschaften der sich immer mehr zur Wissenschaft entwickelnden Tunnelbaukunst ermöglichen nunmehr die Lösung großer Probleme. Durchörterungen mächtiger Gebirge an ihrer Basis werden nach Vollendung der großen Alpentunnels geplant (Lueger, Lexikon der gesamten Technik, 1910).

44) Häufiger früher Tod: Gegha mit 58, Etzel 53, Lott 47, Sommeiller 56, Favre 53, Gelpke 55, Wurmb 57.



Abb. 54: Vermesser im Gotthard-Basistunnel



Abb. 55: GPS-Messung des Grundlagentznetzes

Portale beziehen zu müssen. Mit dem Vermessungskreis, in dem sich ein rotierender Kreis nach der Erdachse ausrichtet, kann man die Vortriebsrichtung im Berg mit der geplanten Richtung bis auf drei Bogensekunden genau vergleichen. Beim Gotthard-Basistunnel wird dieser Vergleich etwa alle zwei Kilometer gemacht. Zwischenanriffe mitten auf der Tunnelstrecke sind erst durch den Vermessungskreis möglich geworden. Zur Richtungsvorgabe kommt versuchsweise auch die bei der Qanat-Bauweise benutzte Lotung zum Einsatz. Die Genauigkeit beträgt aber nur fünf bis zehn Meter Abweichung am Ende des Abschnitts, die Toleranz liegt bei 25 Zentimetern. Da im Tunnel sehr hohe Geschwindigkeiten gefahren werden, kann man eine seitliche Verschiebung nicht auf den letzten Tunnelmetern vor dem Durchstich korrigieren. Jeder Fehler über die Toleranzgrenze hinaus erfordert eine aufwendige Nachbesserung des Tunnelquerschnitts, womöglich über mehrere hundert Meter. Beim Durchstich des Gotthard-Basistunnels 2007 beträgt der Fehler auf einem 15 km langen Teilstück nur 15 cm.<sup>45</sup>

Für die Planung von Tunnels ist die Satellitennavigation inzwischen unersetzbar. Sobald es jedoch um die Orientierung im Inneren des Berges geht, können GPS-Empfänger, die nur unter freiem Himmel mit den Satelliten Kontakt haben, nicht eingesetzt werden. Unter Tage müssen sich die Vermesser deshalb heute noch immer auf dieselbe Weise zurechtfinden wie früher. Um sicherzustellen, dass die Bohrmaschine „auf Kurs“ ist, legen sie vom Tunneleingang aus einen Polygonzug in den Berg hinein. Dieser besteht aus geraden Strecken, die mit einem Laser vermessen

werden und etwa alle 400 m in eine Orientierungsmarke münden. Weiter reicht die Sicht im Tunnel normalerweise nicht, weil die Luft staubig ist und Kurven den direkten Blickkontakt beschränken. Die Position kann man im Berg nicht wie bei der Triangulation seitlich an Landmarken abstützen, sondern nur Schritt für Schritt rückwärts bestimmen bis zum Startpunkt am Portal. Für die optischen Instrumente, früher Theodolite heute Tachymeter, schafft die Atmosphäre im Tunnel Probleme. Weil verschiedene warme Luftschichten unterschiedliche Brechungsindizes aufweisen, wird das Licht an den Schichtgrenzen abgelenkt, was erhebliche Messfehler zur Folge haben kann. Im 1994 fertiggestellten Ärmelkanaltunnel kommen die Tunnelbauer wegen der Refraktion vorübergehend mehr als einen Meter vom Weg ab.<sup>46</sup> Rechnerische Methoden, die aus den Temperaturgradienten im Tunnel Korrekturfaktoren herleiten, werden ebenso entwickelt wie ein Messgerät mit einem zweifarbigem Laser, das die Refraktion, die von der Frequenz des Lichts abhängig ist, automatisch kompensiert.

Die beim Bau des Gotthard-Basistunnels gewonnenen Erfahrungen sowie der erreichte Stand in der Ingenieurgeodäsie<sup>47</sup> sind die Basis für den im Bau befindlichen 64 km langen Brenner-

46) In der Regel müssen sich die Ingenieurgeodäten an der ungünstigsten Stelle, dicht an der Tunnelwand auf Konsolen aufstellen. Dort ist der strahlableitende Einfluss der Seitenrefraktion am heftigsten, weil der horizontale Temperaturgradient am größten ist. Abhilfe ist nur mit gegenseitigen Kreismessungen (DMT Gyromat) auf mehreren Polygonseiten zu erreichen. (Thomas Wunderlich)

47) Ingensand Hilmar, Alpenquerende Tunnelprojekte und Herausforderungen an die Ingenieurgeodäsie, vgi 3/2009, S 319 ff

45) Fischer Roland, Wegweiser zum Treffen mitten im Berg



Basistunnel, bei dem sich zwischen den beiden Haupttunnelröhren ein 12 m tiefer liegender Erkundungsstollen befindet. Bereits vor der Hauptbauphase soll die erste TBM (Tunnelbohrmaschine) in einer Hauptröhre mit der Arbeit beginnen. Die erreichbaren Durchschlagsgenauigkeiten werden mit Hilfe von a-priori-Simulationsrechnungen geschätzt. Dafür erforderliche Grundlagen, wie die Genauigkeit der oberirdischen Festpunkte, die Tunnelachsen und die Portalnetze sind bekannt. Dafür müssen Kreiselazimute in den Hauptröhren gemessen werden. Den Richtungskontrollmessungen kommt eine besondere Bedeutung zu. Ein durchgehender Erkundungsstollen mit einem zusammenhängenden untertägigen Netz führt zu einer deutlichen Verbesserung der Zuverlässigkeit und Genauigkeit.<sup>48</sup>

## Referenzen

- 150 Jahre Brennerbahn, <https://wipptalblog.tirol.de/150-jahre-brennerbahn-ein-streifzug/>
- Aeschlimann Heinz, Einen Tunnel abstecken im 19. Jh., Gotthard Simplon, Aarau 1990
- Dinhobl Günter, Die Semmeringbahn, Eine Baugeschichte d. ersten Hochgebirgseisenbahn der Welt, Wien 2018
- Dolezalek Carl, Gotthardtunnel, in Röll Victor von, Enzyklopädie des Eisenbahnwesens, Bd 5, Berlin-Wien 1914
- Ebneter Franz, Die Absteckung des Gotthard-Bahntunnels vor 125 Jahren, Geomatik Schweiz 6/2006
- Fischer Roland, Wegweiser zum Treffen mitten im Berg, NZZ, 05.12.2007
- Gelpke Otto, Bericht über die Bestimmung der St. Gotthard-Tunnel-Axe, Der Civilingenieur, 16 (1870), S.143 ff, <https://www.digitale-sammlungen.de/de/view/bsb10479630?page=86,87>
- Gelpke Otto, Absteckungsapparat zur Bestimmung der St. Gotthard-Tunnelaxe, 1880, [http://www.alpentunnel.de/10-Epochial/30-Gotthard/20\\_Vermessung/10\\_Uebersicht/Bilder/Absteckungsapparat.JPG](http://www.alpentunnel.de/10-Epochial/30-Gotthard/20_Vermessung/10_Uebersicht/Bilder/Absteckungsapparat.JPG)
- Ghega Carl Ritter von, Dell'ottante a diottra, stromento geodetico per tracciare in pianta l'andamento delle curve circolari, Venedig 1833
- Held Hubert, Die Baugeschichte der Brennerbahn 1836–1867, Innsbruck 2018
- Helmert Friedrich Robert, Discussion der Beobachtungsfehler in Koppe's Vermessung für die Gotthardtunnelachse, ZfV, 5 (1876), 4, S. 146 ff: <https://www.digitale-sammlungen.de/de/view/bsb11335157?page=164,165>
- Hiermanseder Michael, Die Entwicklung der Tunnelvermessung, Alpenquerende Eisenbahnen 1854–1909, VDV 3/2024, S 212 ff
- Ingensand Hilmar, Alpenquerende Tunnelprojekte und Herausforderungen an die Ingenieurgeodäsie, vgi 3/2009, S 319 ff
- Knittel Hartmut, Vermessung und Bau des Gotthardtunnels im 19. Jahrhundert, Ferrum, 80 2008
- Kollenprat Dieter/Kollenprat Stephan, Entwicklungen in der Tunnelvermessung, Forum 2015, S 14 ff
- Koppe Carl, Die Absteckung der Axe im Gotthardtunnel, Die Eisenbahn, 12 (1880), 8, S 43 ff, <http://doi.org/10.5169/seals-8519>
- Löschner Hans, Über Tachymeter und ihre Geschichte, ÖZ 1907, S 106 ff
- Mayer-Brandt Theodor H., Die Bahn über den Berg, Bau der Semmeringbahn von Carl v. Ghega, Graz, 1946
- Gotthard-Tunnel Vermessung Übersicht, [http://www.alpentunnel.de/10-Epochial/30-Gotthard/20\\_Vermessung/Gotthard\\_Vermessung.html](http://www.alpentunnel.de/10-Epochial/30-Gotthard/20_Vermessung/Gotthard_Vermessung.html)
- Mutschlechner Georg, Der Tauerntunnel als Forschungsobjekt, NZZ Folio 07/1995 – Thema: Gotthard
- Reckenschuß Robert Ritter von, Die ausgeführten und geplanten großen Alpenbahnen, Wien 1911
- Röll Victor von, Enzyklopädie des Eisenbahnwesens, Bd 9, Berlin-Wien 1921
- Schlögl Michaela, Rudolf & August Rost 1888–1988, Festschrift, Wien 1988
- Semmeringbahn Geschichte, Die erste Bahn über den Semmering, <http://www.semmeringbahn.at/geschichte.php>
- SBB Cargo, Millimetergenau durch den Berg, 18.03.2015
- Schweizerische Landesvermessung e-expo, <https://emuseum.gggs.ch/eexpo-lv/mile-LV1890.html>
- Sievers Beat, Vermessung der Gotthardbahn-Tunnel, GGGS AG Tunnelvermessung, Geomatik Schweiz 2/2024
- Tichy Anton, Trigonometrische Längenbestimmung geodätischer Grundlinien, Z.d.Österr.Ing.A.-V.1909
- Tichy Anton, Rationelle Vorgänge der Absteckung bedeutender langer Eisenbahntunnels, Z.d.Österr.Ing.A.-V.1914
- WDR ZeitZeichen, 24. August 1867 – Die Brennerbahn wird eröffnet, 24.08.2022
- Wellisch Siegmund, Über Tunnelabsteckungen, ÖZ 1905, S 221 ff
- Witte Bertold, Vermessung langer Tunnel von der Antike bis zum 20. Jh., Geomatik Schweiz 11/2005
- Witte Bertold, Die Vermessungsmethoden bei bedeutenden Tunnelbauwerken von der Antike bis heute, Sonderheft Prof. Dr.-Ing. W. Schwarz, avn 88, 121 (2014 3)
- Wunderlich Thomas, Warum gerade 1860? In welcher Welt erwachte der Bedarf Österreichs an Zivilingenieuren? vgi 3/2010, S 134 ff

## Anschrift des Autors

Dr. Michael Hiermanseder, Managing Director, Leica Geosystems Austria GmbH (ret.); Partner, Rudolf & August Rost (ret.), Sommerergasse 11/5, A-1130 Wien  
E-Mail: [hiermanseder@gmx.net](mailto:hiermanseder@gmx.net)