Vermessung und Bau des Gotthardtunnels im 19. Jahrhundert

Autor(en): **Knittel, Hartmut**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG**

Band (Jahr): **80 (2008)**

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-378440

Nutzungsbedingungen

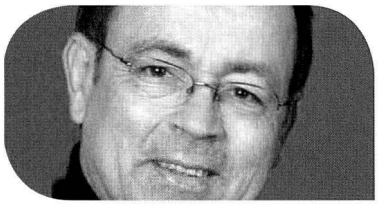
Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch



Vermessung und Bau des Gotthardtunnels im 19. Jahrhundert

Dr. Hartmut Knittel
Mitarbeit als Ingenieur für Vermessungstechnik (grad.) beim nordwesteuropäischen Küstennivellement und bei der Grundlagenvermessung in Niedersachsen; Studium an der TU Hannover, Schwerpunkte Industrieliteratur, Technikgeschichte und Wissenschaftsphilosophie; Promotion an der Helmut-Schmidt-Universität der Bundeswehr Hamburg über Fertigungstechnik im Zweiten Weltkrieg; seit 1988 Konservator am Landesmuseum für Technik und Arbeit in Mannheim. Unter anderem Publikationen zur Eisenbahn- und Kommunikationsgeschichte im deutschen Südwesten.

Bild 1: Firmenanzeige der Unternehmen Heinrich Wild aus Heerbrugg und Jakob Kern aus Aarau. (Quelle: Walter Grossmann, Vermessungskunde III Trigonometrische und Barometrische Höhenmessungen, Tachymetrie und Absteckungen, Berlin (West-), 1965)

Die Vermessungsarbeiten für die Trassierung der Gotthardbahn mit ihren Kreiskehrtunneln und insbesondere für den Bau des Gotthard-Haupttunnels erwiesen sich als Meilensteine in der weltweiten Geschichte der Geodäsie. Die Internationalität der Vermessung zeigte sich bei der Erstellung des notwendigen örtlichen Lage- und Höhenfestpunktfeldes, bei den Vermessungsinstrumenten, bei den Mess- und Ausgleichsmethoden sowie bei der Entscheidung über die gewählten Trassierungsparameter.

Surveying work for the line routing of the Gotthard Railway with its spiral tunnel and especially the building of the Gotthard Tunnel marked milestones in the global development of geodesy. The internationality of surveying is exemplified in the establishment of the required local datum points of position and altitude, in the surveying instruments, the measurement and compensation methods as well as in the choice of routing parameters.

Vorbemerkung und Einleitung

Die Abschnitte der Planung, des Baus und der Fertigstellung von Grossprojekten widmen sich weniger den geodätischen und vermessungstechnischen Bedingungen und Leistungen als vielmehr den Taten im Hochbau, im Tiefbau und im Ingenieurbau. So ist es erst der Gotthard-Haupttunnel, der bei Planung, Bau und Fertigstellung publizistisch neben dem Tunnelbau auch die Bedeutung der Vermessungstechnik und deren Pionierleistungen ausreichend würdigt.

Die Internationalität bei der Gotthardvermessung war mit eine Überlegung, sich diesem eher speziellen Thema zu widmen. Schweizer Ingenieure aus den Bereichen des Maschinenbaus und der Bautechnik schufen Voraussetzungen für den Eisenbahnbau und -betrieb. Umfangreicher Technologieimport, aber auch -export prägten die Eidgenossen auf dem Wege zur Industriegesellschaft.

Auch in die Absteckung und Vermessung der Gotthardbahn als eines Ganzen floss internationales Gedankengut. So lieferte Carl Friedrich Gauss (1777–1855) mit der Kurhannoverschen Landesaufnahme in den 1840er Jahren die erste systematische Erstellung eines Lagefestpunktfeldes durch Triangulation, die internationale Anerkennung erfuhr. Seine Fehleranalysen und Ausgleichstheorien besitzen ihre

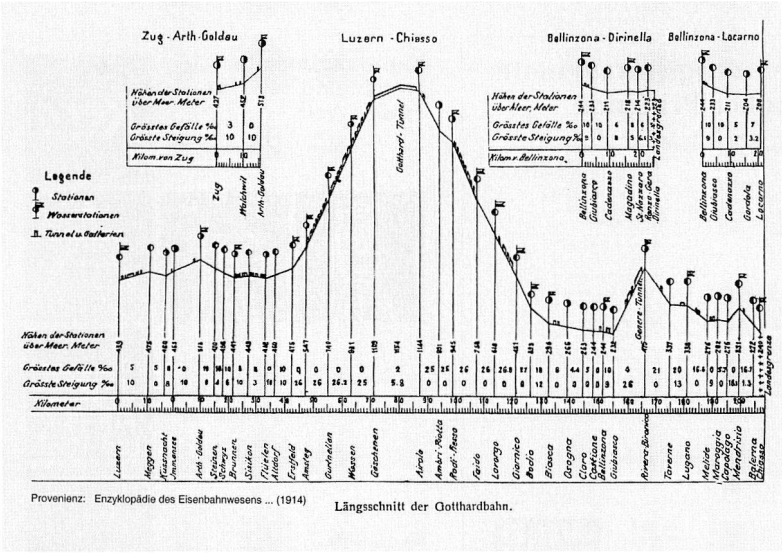


Bild 2: Längsschnitt der Gotthardbahn.
(Quelle: Enzyklopädie des Eisenbahnwesens, 1914)

Legitimation bis heute. 1806 – von Gauss unabhängig und etwa zeitgleich – entwickelte der französische Mathematiker Adrien-Marie Legrendre (1752–1833) die Ausgleichsmethode der kleinsten Quadrate.

Ein Augenmerk bei der Betrachtung der Internationalität gilt den Vermessungsinstrumenten aus der Schweiz. Unabhängig davon, welches Unternehmen welche Instrumente beim Bau der Gotthardbahn eingesetzt hatte – die Schweizer Firmen Heinrich Wild und Jakob Kern profitierten später von der europaweiten Anerkennung durch die gelungenen Bauabsteckungen und durch die erfolgreichen Durchschläge bei späteren Tunnelprojekten wie beim Simplon oder bei der Jungfraubahn (Bild 1).

Der Beitrag soll eine Teilbeschreibung der vermessungstechnischen Arbeiten leisten, die vom Beginn der konkreten Planungsstudien 1869 bis hin zur Schlussvermessung der fertigen Eisenbahnstrecke 1882 reichten. Die Vermessung zur Planung, zum Bau und zur Fertigstellung eines Eisenbahntunnels im Allgemeinen umfasst die Einrichtung eines Lage- und eines Höhenfestpunktfeldes oder auf deren Zugriff, die Absteckungsarbeiten für den Tunnelvortrieb, die Absteckungen zur Schaffung eines Gleisoberbaus und die Schlussvermessung des fertigen Tunnelgleises.
Der Schwerpunkt liegt auf den Vermessungs- und Absteckungsarbeiten für den Haupttunnel; darüber hinaus werden Kreiskehr- oder Spiraltunnel kurz erwähnt (Bild 2 und 3).[1]

Eine Bewertung der Qualität der vermessungstechnischen Arbeiten kann aus zeitgenössischen Quellen geschehen, kann aber auch aus gegenwärtiger Perspektive vorgenommen werden. Beide Blickwinkel sind ein spannendes Unterfangen, insbesondere wenn schlüssige Erklärungen für Abweichungen und Fehler gefunden werden sollen. Man darf die Erkenntnisse der Gegenwart zur Qualitätsbeurteilung

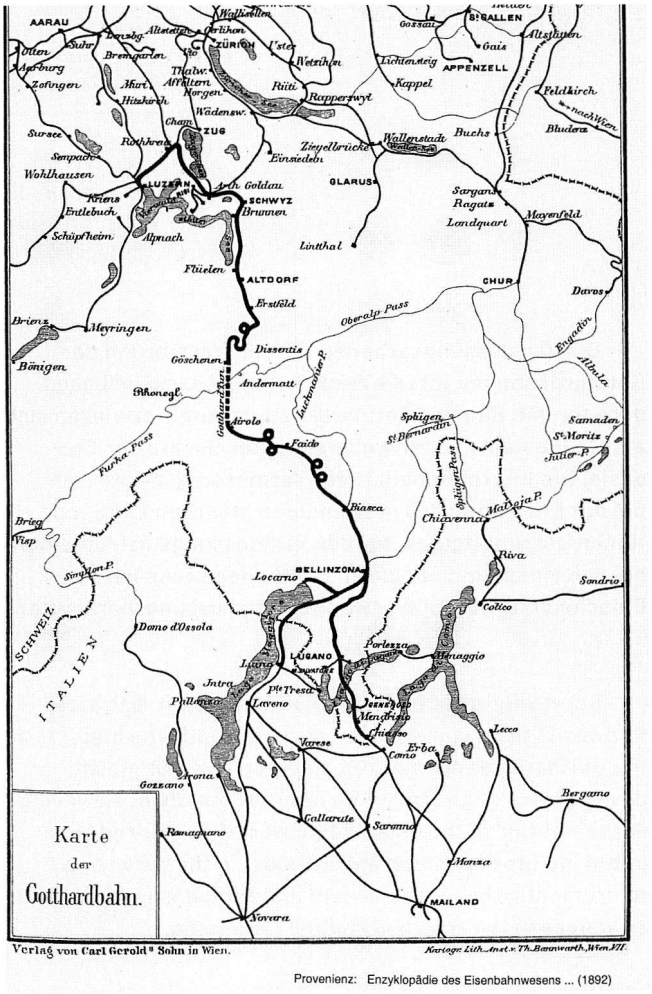


Bild 3: Übersichtskarte der Gotthardbahn.
(Quelle: Enzyklopädie des Eisenbahnwesens, 1892)

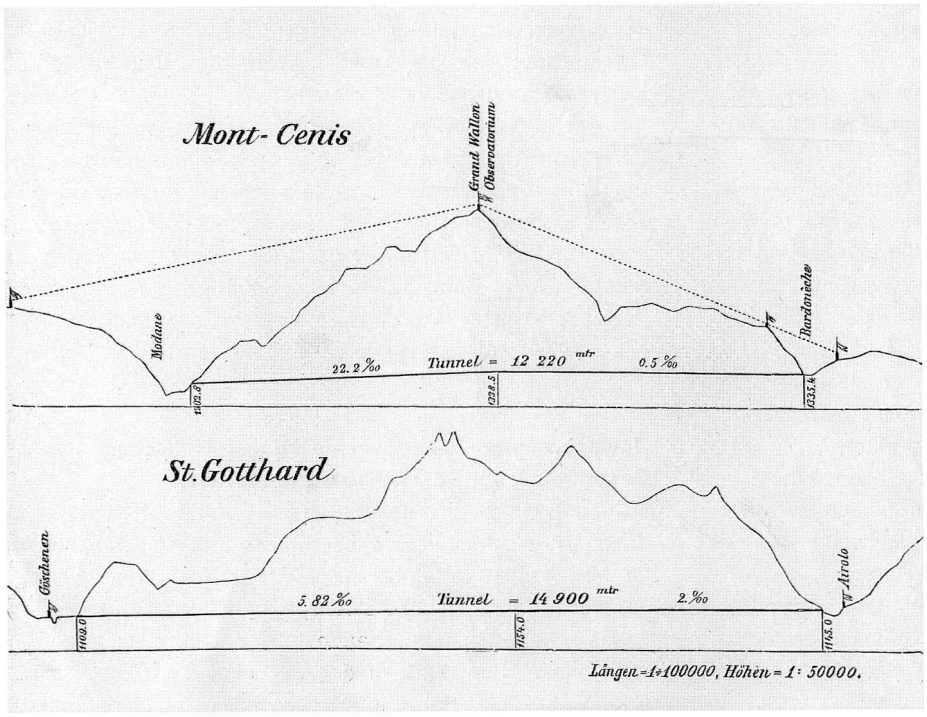


Bild 4: Mont-Cenis-Massiv und Gotthard-Massiv als Vertikalschnitte, nach Zeichnung F. Schüpbach aus Zeitschrift für Vermessungskunde 1875. (Quelle: W. Jordan, C. Reinhertz, O. Eggert, Handbuch der Vermessungskunde, Zweiter Band: Feld- und Landmessung, Stuttgart, 7. Aufl. 1908)

heranziehen, sollte aber die zeitgenössischen Leistungen der Vermessung zum Bau des Gotthard-Tunnels mit den damaligen Möglichkeiten, Erfahrungen und Erkenntnissen beurteilen.

Vermessungstechnische Erfahrungen vor dem Gotthard-Projekt

Bewusst soll an dieser Stelle nicht auf den Tunnelbau in der Antike eingegangen werden. Die konkrete Fragestellung lautet: Auf welche Erfahrungen und Erkenntnisse konnte zurückgegriffen werden, als in den 1860er Jahren die Planungen für einen Eisenbahntunnel durch das Gotthardmassiv reiften? Der Bau der Semmeringbahn für eine Eisenbahnverbindung von Wien über die Alpen zum Seehafen Triest am Mittelmeer zwischen 1849 und 1853 lieferte erste verwertbare Erkenntnisse. Bergschichten aus Quarz, Kalkstein und Tonschiefer mussten durchdrungen werden. Bei den Trassierungselementen distanzierte sich Carl Ghega (1802–1860) von den englischen Baugrundsätzen, passte die Streckenführung der Topografie an und begründete unter anderem damit die österreichische Tunnelbauweise. Carl Ritter von Ghega war Strassenbau-, Brückenbau- und Eisenbahningenieur und beim Baubeginn der Semmeringbahn Leiter der Eisenbahnbausektion des Ministeriums für Handel, Gewerbe und öffentliche Bauten und damit der hauptverantwortliche Bauleiter. Da Ghega lange Tunnel wegen der zu langen Bauzeit entschieden ablehnte, waren die notwendigen Vermessungsarbeiten nicht so risikobeladen wie beim Mont-Cenis- oder gar beim Gotthard-Tunnelprojekt.

Wie bei der Qanat-Bauweise in der römischen Antike wurden in regelmässigen Abständen senkrechte oder schräge Schächte bis zur Tunnelachse hinabgetrieben. Dieses Verfahren besass folgende Vorteile: Von der Tunnelachse konnte der Vortrieb in beide Richtungen vonstatten gehen. Das Ausbruchsgestein wurde von den Stollenköpfen zu den bis zu 150 m entfernten Schächten und anschliessend mit Seilzügen nach aussen befördert. Die vielen Schächte garantierten grundsätzlich eine gute Bewetterung der Stollen. Gleichzeitig konnten durch sie Nacharbeiten – auch vermessungstechnischer Art –, die manchmal bei der Installation des Gleisoberbaus notwendig wurden, mit relativ wenig Aufwand kostengünstig durchgeführt werden.

Die Schachtbauweise ist bei Bergtunneln wie dem Semmering sinnvoll, für Bauvorhaben mit Basistunnelcharakter jedoch nicht geeignet, da Letztere durch ihre Länge zu viele Schächte bräuchten und ein Teil der Schächte 1000 m und mehr in die Tiefe reichen müsste.

Die Anwendung dieser österreichischen Tunnelbauweise bedeutete für die Semmeringbahn Steilrampen mit maximaler Neigung von 1:130, was einer Steigung von 7,7 $^{0}/_{00}$ entspricht. Bei den Krümmungsradien ging man auf einen Mindesthalbmesser von 285 m herunter, sodass weniger Kunstbauten, also Brücken und Tunnel, gebaut werden mussten.[2]

Aufgrund der engen Radien besassen die insgesamt 646 m langen Weinzettelwand-Tunnel und der 1408 m lange Semmering-Haupttunnel eine im Vergleich zu späteren Tunnelbauvorhaben grosszügig dimensionierte Lichtraumprofilbreite von 8,69 m.

Die Diskussion um das Tunnel-Lichtraumprofil wurde bei allen folgenden Bauvorhaben ständig geführt – mit dem Ergebnis der Tunnelprofilbreiten von 8,00 m beim Haupttunnel und 8,20 m bei den Kreiskehrtunneln der Gotthardbahn.

Je mehr sich der Charakter eines Basistunnels als Trassierungsvariante in den Planungserörterungen durchsetzte, desto grösser die Mindestradien und desto geringer die Maximalneigung. Basistunnel sind meist deutlich länger und häufig auch teurer, ihre Lichtraumprofilbreite jedoch etwas geringer als bei Bergtunneln; Züge können durch Basistunnel schneller fahren. Somit war die österreichische Methode des Tunnelbaues für die Alpenquerungen des Mont-Cenis-Massivs und des Gotthard-Massivs nicht anzuwenden. Die Erfahrungen und Erkenntnisse beim Bau des über 12 km langen Mont-Cenis-Tunnels, des ersten langen Alpentunnels, der nur von den beiden Portalen her gegraben wurde, flossen unmittelbar in das Gotthard-Haupttunnel-Projekt mit ein. Der Mont-Cenis-Tunnel sollte die Orte Bardonecchia im Piemont mit Modane in Savoyen mit der Eisenbahn verbinden (Bild 4).

Im Unterschied zum Gotthard-Massiv hatte das Mont-Cenis-Massiv im Querschnitt der zu bestimmenden Hauptachse eine annähernd symmetrische Form, die an einen flachen Kegel erinnert. Diese topografische Reliefform benötigte nicht so zwingend ein örtliches Lage- und Höhenfestpunktfeld, das durch direkte Messungen aufgebaut werden konnte. So wurde die Absteckung der Tunnelachse des Mont Cenis mit vier Zwischenpunkten kontrolliert. Zwei lagen auf dem Massiv zwischen den Portalen und zwei in der Verlängerung der Tunnelachsen.

1857 wurde mit den Bauarbeiten des Mont-Cenis-Tunnels begonnen. Gebirgsschichten von Kalkschiefer, Anthrazit und Quarz mussten durchschlagen werden. Drei Jahre nach Baubeginn und sehr langsamem Voranschreiten des Vortriebes kamen technische Neuerungen auf den Markt, deren Anwendung die Bauarbeiten beschleunigten, für die Vermessungsarbeiten jedoch eine Herausforderung darstellen sollten. Durch die Einführung von Bohrmaschinen mit Druckluftantrieb ab 1861 und die Verbreitung der elektrischen Zündung der Sprengladungen gingen die Arbeiten etwa dreimal so schnell voran. Mit dem Fortschreiten in Richtung Tunnelscheitelpunkt des Fréjus-Massives trat das Problem der ausreichenden Sauerstoffversorgung auf. Auch die Vermessungsarbeiten im Tunnel mussten anders organisiert werden. Denn die feinmechanisch-optischen Arbeiten mit Theodoliten und Nivellierinstrumenten vertrugen nicht die Nähe der Schläge und Erschütterungen von Drucklufthämmern. Am 25.12.1870 erfolgte der Durchschlag. Über die Masse der Verfehlungen in Richtung, Höhe und Länge ist wenig bekannt.

Am 17. September 1871 wurde er in der ursprünglichen Länge von 12 233 m eröffnet; er verband Rom mit Paris über Turin und Grenoble. Das Neigungsverhältnis auf französischer Seite betrug 22,2 ‰, die Rampe in Italien besass sogar nur 0,5 ‰ Neigung. Vom Scheitelpunkt etwa in der Mitte des Mont-Cenis-Tunnels, der 1338 m ü. N.N. lag, waren nach Frankreich 134 m Höhenunterschied bzw. nach Italien nur 3 m Niveaudifferenz geplant und realisiert.

Unwägbarkeiten bei der vermessungstechnischen Bestimmung der St. Gotthard-Tunnelachse

1872, mit dem Beginn des Baues des Gotthard-Tunnels, waren die wichtigsten Eisenbahnhauptstrecken des Schweizer Mittellandes vorhanden. Der 1871 eröffnete Mont-Cenis-Tunnel verband regionale Eisenbahnnetze und schuf – wie schon erwähnt – die internationale Eisenbahnverbindung von Italien nach Frankreich. Mindestens die gleiche Bedeutung wies die Gotthard-Kommission der wichtigsten Nord-Süd-Verbindung durch die Alpen zu. Im Grunde verband der zu bauende Gotthard-Tunnel Mitteleuropa mit Italien. Nicht umsonst beteiligten sich 1869 per Staatsvertrag das Königreich Italien und später das Deutsche Reich unter Reichskanzler Otto von Bismarck an der Finanzierung des Gotthardtunnel-Projektes.

Ein internationales Lage- und Höhenfestpunktnetz sowie ein einheitliches Koordinatensystem lagen noch nicht vor. Erst im 20. Jahrhundert verbanden von der Genauigkeit her verwertbare Dreiecksketten des Schweizer Mittellandes die Triangulation mit der italienischen Schweiz und weiter mit Oberitalien. Die bestehende Schweizer Landesaufnahme für die Dufourkarte, die Topografische Karte der Schweiz im Massstab 1:100 000, reichte nicht aus. Also musste ein örtliches Netz geschaffen werden. Der Vorteil eines örtlichen Festpunktfeldes besteht darin, dass Ungenauigkeiten durch die genaue Erdgestalt im Vergleich zum angenommenen Idealfall der Kugel wesentlich geringer ausfallen als bei einer geschlossenen Landesaufnahme über die Zentralalpen hinweg nach Oberitalien.

So ist die Erde keine Kugel, sondern in erster Näherung in Folge der Erdrotation an den Polen leicht abgeplattet – also ein Rotationsellipsoid. Diese geometrische Form wird der exakten Erdgestalt jedoch immer noch nicht gerecht, denn die Erdmassen sind ungleich dicht und ungleich verteilt. Die Ozeane und Landmassen sind ungleich verbreitet und unterschiedlich tief bzw. hoch. Massen besitzen die physikalische Eigenschaft, sich gegenseitig anzuziehen. Ein Senkblei wird im allgemeinen von der gesamten Erdmasse angezogen und insbesondere von einem in unmittelbarer

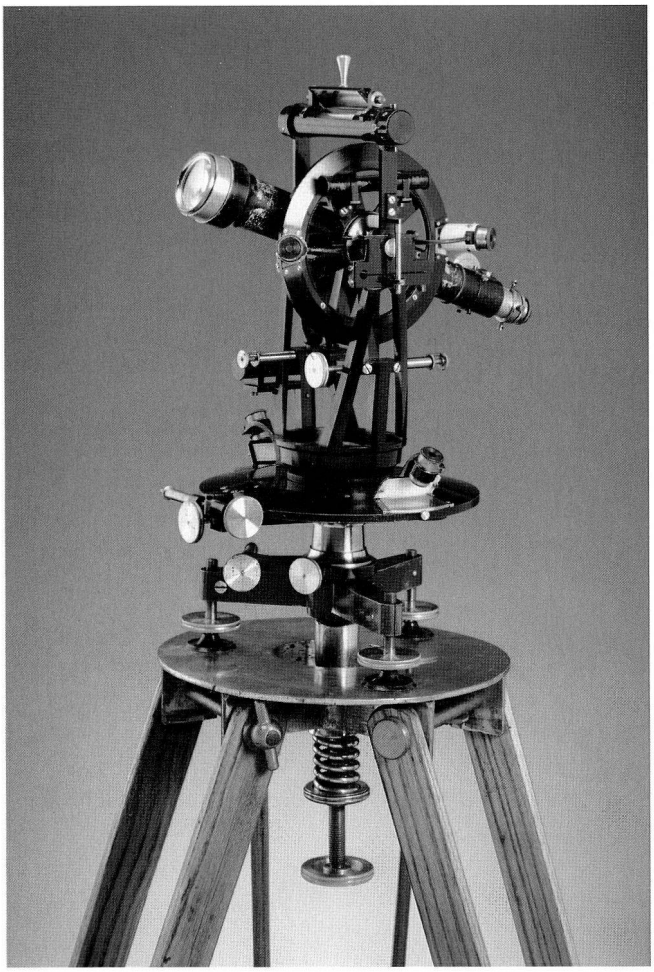


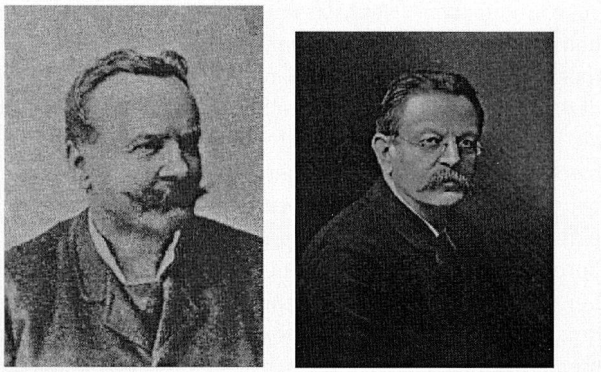
Bild 5: Theodolit – Ende des 19. Jahrhunderts. (Theodolit auf Stativ. Hersteller: Fa. Sickler, Karlsruhe für die Badischen Staatseisenbahnen, Ende 19. Jh. Foto: Landesmuseum für Technik und Arbeit in Mannheim [LTA])

Nähe liegenden sich auffaltenden Gebirgsmassiv, das das an einer Schnur hängende Lot leicht gegen sich ablenkt. In zweiter Näherung bezeichnet man die Erde als einen unregelmässigen Körper – überspitzt ausgedrückt ähnlich wie eine Kartoffel, jedoch angenähert an die Form eines Rotationsellipsoides. Da sich Vermessungsinstrumente bei ihrer Justierung auf eine Lotlinie beziehen, wählen die Geodäsie und das Vermessungswesen das Geoid als exakte Bezugsfläche. Unter dem Begriff «Geoid» versteht man eine Fläche, die in jedem Punkt senkrecht auf der Lotlinie steht. Das Geoid entspricht der Summe der Anziehungskraft aller Massenteile des Erdkörpers und der Zentrifugalkraft der Erdrotation. Das Geoid wird in den mittleren Pegelständen der Ozeane angenommen und geht als gedachte Fläche unter den Kontinenten weiter. Infolge der ungleichen Massenverteilung im Erdkörper gegenüber dem Rotationsellipsoid weist das Geoid Buckel und Vertiefungen auf. Nach Josef Schüpbach[3], Naturwissenschaftler und dem Verkehrshaus Luzern nahestehend, können diese Verformungen mehrere Meter betragen. Schüpbach bezieht sich dabei auf den 1871 erschienenen Originalbericht von Otto Gelpke über die Bestimmung der Tunnelachse wie auch auf Folgeabsteckungen und -aufmessungen bis 1939. Die Tunnelabsteckung käme wegen der beschränkten Ausdehnung mit einem Ellipsoid als Bezugsfläche aus, wenn nicht gerade durch die Gebirgsmassen die Lotlinie von der exakten Senkrechten erheblich abweichen könnte. Die Korrekturgrössen aus den Gebirgsvolumina wurden unter Auswertung topografischer Karten und einer geschätzten Gesteinsdichte berechnet – im Nachhinein betrachtet eine mögliche Ursache der später beschriebenen Abweichungen.

Die Kenntnisse über die spezifischen Gesteinsmassen und deren Dichte im Gotthard-Massiv waren beim Beginn der Absteckungsarbeiten eher ungenügend. Erst nach dem Durchschlag ergaben sich Kenntnisse über die folgende Gesteinsstruktur: 2,0 km Gneisgranit mit Gneiseinlagerungen, 2,3 km Urserngneis, Cipoltit, schwarzer Schiefer und Sericitgneis, 7,4 km Glimmergneis, glimmerschieferartige Schichten, Hornblendgestein, Serpentin und quarzitischer Gneis, 3,2 km Tessinmulde mit felsitischem Glimmergneis, grünem Schiefer, Hornblendegesteinsschichten, Kalkglimmerschiefer, Dolomit, Grauwacke und Moränenschutt.[4]

Für die Wahl eines örtlichen Netzes als Voraussetzung für die exakte Absteckung der Achse des Haupttunnels sprach auch die damalige Genauigkeit der Vermessungsinstrumente wie die des Theodolites oder der Nivellierinstrumente und der Längenmessgeräte wie Stahlbänder und Holzlatten. Somit gab es Ungenauigkeiten einerseits bezogen auf die exakte Erdgestalt in der Gotthard-Region und andererseits bezogen auf die präzisionsmechanische Ungenauigkeit der Vermessungsinstrumente – insbesondere der der Längenmessgeräte (Bild 5).

Die dritte Ungenauigkeit ist methodenbedingt und entsteht bei der zweidimensionalen Abbildung eines dreidimensionalen Körpers. Nach der notwendigen Zylinderprojektion, die im Prinzip auf Carl Friedrich Gauss zurückgeht, kann man mit rechtwinkligen Koordinaten rechnen. Für die Berechnungen müssen die auf der unregelmässig ausgebildeten Erdoberfläche gemessenen Werte um eine Verjüngung der Ordinate, der X-Achse, korrigiert werden, um Projektionsverzerrungen zu berücksichtigen. Bei der schon erwähnten Dufourkarte, deren aktuellste Ergebnisse bis 1865 in die Erstausgabe eingearbeitet wurden, liegt eine flächentreue, unechte Kegelprojektion vor.[5] Grundlage waren die technischen Pläne im Massstab 1:10 000, die neben der Gotthardbahn auch für die Projektierung der Simplonbahn herangezogen wurden. Sie wiesen Höhenlinien mit 10-m-



Otto Gelpke

1840 – 1895

Carl Koppe

1844 – 1910

Bild 6: Porträts von Otto Gelpke und Carl Koppe.

Niveaudifferenz im Hochgebirge aus. Im Hügelland und in der Ebene wurde das geografische Relief durch Höhenlinienabstände von 5 m, 2 m und bestenfalls von einem Meter Niveauunterschied abgebildet.

Otto Gelpke und der Beginn der Vermessungsarbeiten

Das Gotthard-Comité betraute den 29-jährigen Otto Gelpke, seit 1866 Ingenieur beim eidgenössischen Stabsbureau, mit der Bestimmung der Richtung des Haupttunnels. Gelpke studierte an den Bergakademien Clausthal im Harz und Freiberg in Sachsen und wurde Hütten- und Bergbauingenieur (Bild 6).

Gelpke legte zwischen den Endpunkten Göschenen und Airolo ein aus 13 Signalpunkten bestehendes Hauptnetz. Für Kontrollmessungen fügte er weitere hinzu. Als Punkte der Hauptdreiecke wurden runde steinerne Pfeiler als Signale gesetzt, auf denen sich der Theodolit zur Winkelmessung justieren liess. Auch die Endpunkte der Absteckung wurden durch steinerne Pfeiler gesichert.

Auf der Grenzscheide der Kantone Uri und Tessin auf dem Gotthard fanden Vermessungsarbeiten im August und September 1869 bei unterschiedlichsten Witterungsbedingungen statt. Gelpke schreibt in seinem Bericht:

«Vom Gebrauch des Schirmes war hier und auch mehrmals auf anderen Stationen, wegen des heftigen Sturmwindes nicht die Rede, daher die Beobachtungen bei den fortwährenden Correctionen des Niveaus nur langsam fortschreiten konnte, in ihrer Güte zu wünschen übrig liessen. Hätte ich nur Beobachtungen nach einer Seite zu machen gehabt, so wäre ich fast an einem Tage fertig geworden. So aber bildeten diese Punkte gerade die Verbindung zwischen Urner und Tessiner Seite, und selten herrschte eine gleichmässige Witterung auf beiden Abhängen. Sie bildeten vielmehr die Wetterscheide des ganzen Gebirges, auf der einen Seite Sonne, auf der anderen Sturm und Schneegestöber; die eine Hand erwärmt in italienischem Sonnenbrand, die andere erstarrt in nordischem Winter.» [6]

Sämtliche Winkel wurden im Schnitt 24-mal – im Maximum sogar bis zu 40-mal – zu verschiedenen Tageszeiten gemessen. Damit versuchte Gelpke, die unterschiedlich auftretenden Refraktionskoeffizienten beim Anvisieren eines Signals – zum Beispiel Schneefelder vor sonnenerwärmtem Gestein – zu berücksichtigen. Mit dem häufigen Anvisieren gelang es Gelpke, die relative Fehlergrösse zu minimieren. Die Dreiecksschlussfehler wurden in sich ausgeglichen.

In nur 32 Tagen war das Hauptnetz trigonometrisch vermessen; in weiteren elf Tagen errichtete Gelpke die Signale für das Anschlussnetz, um die Basis übertragen zu können.

Die Basismessung stellt die Grundlage für die Triangulation dar. Mit der Basislänge und zwei anliegenden Winkeln ist zur Bestimmung der beiden zu berechnenden Seiten im beliebigen Dreieck der Sinussatz anzuwenden: Dabei verhält sich sin α zu sin β wie die Länge der zu berechnenden Dreiecksseiten a zu b. Je genauer die Basislänge bestimmt wird, desto genauer die zu ermittelnden Koordinaten der trigonometrischen Punkte. Es gilt das Prinzip: Eine Kette ist nur so stark wie ihre schwächsten Glieder. Gelpke bestimmte in der Ebene von Andermatt seine erste Basis mit einem 20-m-Stahlband. Alternativ hätte die Basismessung auch durch das horizontale Aneinanderlegen von geeichten Messlatten aus Holz durchgeführt werden können. Gelpke entschied sich wegen des geringeren Aufwandes für einen Einsatz des 20-m-Stahlbandes. Auf die Höhe von Andermatt bezogen, betrug die ermittelte Länge der Basis 1450,44 m. Die Endpunkte der Basis wurden 1869 nicht gesichert; man sah dazu keine Notwendigkeit. Das Ziel war die Bestimmung der exakten Richtung der Tunnelachse – (noch) nicht deren exakte Länge. Dennoch besann man sich im Herbst 1871 eines Besseren, führte eine zweite Basismessung durch – zum Einsatz kamen geeichte Messlatten aus Holz – und sicherte die Endpunkte durch Granitpfeiler. Diese Massnahme galt auch als Rückversicherung für eventuell anfallende Nachmessungen – sowohl für die Dreiecksmessung im Lagefestpunktfeld als auch für eine trigonometrische Höhenbestimmung.

Gelpke ermittelte eine Basislänge von 1430,535 m bezogen auf die Höhe von Andermatt. Nach der Berücksichtigung der Höhenkorrektur bezogen auf die Höhe des Tunnel-Nordportals in Göschenen von 1110 m ergab sich eine um 10 cm reduzierte Basislänge von 1430,435 m. Sein

Ausgangspunkt für die Berechnung der Triangulation waren die Koordinaten des Punktes Six Madun und das ebene Azimut der Dreieckseite Six Madun–Winterhorn. Gelpkes Ausgangspunkt bezieht sich auf den Koordinatenursprung Bern. Das bedeutet, die +X-Achse zeigt nach Süden und die +Y-Achse nach Westen; die Richtungswinkel zählen von Süd über West nach Nord und Ost (Bild 7).

Gelpke arbeitete zeitgemäss korrekt: Sphärische Reduktionsgrössen und der Umstand, dass sich die benutzten Grundlagen auf eine im Meereshorizont gelegene Projektionsebene bezogen, liess er bis auf die örtliche Höhenkorrektur unberücksichtigt. In einem örtlich angelegten Lagefestpunktfeld mit Dreieckseiten von wenigen Kilometern und unter Berücksichtigung der Instrumentengenauigkeit sowie des Zustandes der bodennahen Atmosphäre während der Messungen war dies durchaus zu vertreten.

Mehr Strenge in den Fehlertoleranzen forderte die geodätische Kommission, die 1869 ein Präzisionsnivellement durchführen liess, das über 16 Polygone das Höhenfestpunktfeld der gesamten Schweiz in ihren Hauptrouten erfasste. Ingenieur Benz verantwortete das Nivellement über den Gotthard. Die Präzisionshöhenübertragung wurde mit Zielweiten von ca. 25 m zwischen Nivellierinstrument und Nivellierlatte durchgeführt. Die Ausgangshöhe, basierend auf dem Höhenausgangspunkt der Dufourkarte, bezog sich auf Repère Pierre du Niton und entsprach 376,2 m über dem mittleren Meeresspiegel («Alter Horizont»).

Guillaume-Henri Dufour (1787–1875), der Generalquartiermeister und Chefkartograph der Eidgenossenschaft, erhielt im Frühjahr 1834 nach einer Konferenz in Bern den Auftrag, eine kartographische Grundlage für die gesamte Schweiz zu erstellen.[7] Die bis 1865 geschaffenen 25 Blätter der Dufourkarte waren die erste Grundlage für eine Landesaufnahme der Schweiz. Für ingenieurtechnische Vermessungen wie die Absteckungen von Tunnel- und Brückenprojekten für den zukünftigen Eisenbahnbetrieb eignete sich die Dufourkarte nur bedingt; die Schaffung örtlicher Netze wurde notwendig.

Mit Spannung verglich man die mit dem Nivellement ermittelten Höhenangaben mit den von Gelpke aus der trigonometrischen Höhenberechnung resultierenden Höhenbestimmungen. Im Mittel gab es Abweichungen zwischen beiden Höhenangaben von 98 mm.

Welche Bedeutung beziehungsweise welche Gewichtung sollte der Abweichung beigemessen werden? Die Ausgangspunkte vor dem bautechnisch festgelegten Nord- und vor dem Südportal besassen nur Plangenauigkeit hinsichtlich ihrer Koordinaten und ihrer Höhenangabe aus der Dufourkarte – mithin wohl eine Genauigkeit im Dezimeter-Bereich.

Die durchgeführte Triangulation wies teilweise eine hervorragende innere Genauigkeit auf. Sie sagte jedoch

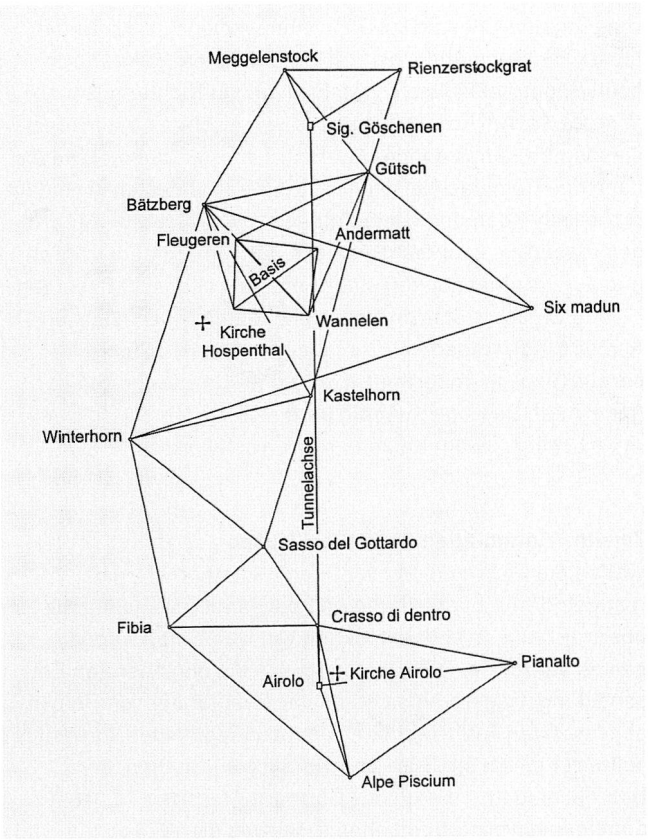


Bild 7: Triangulation durch Otto Gelpke 1869–1872. (Quelle: Kohle, Strom und Schienen. Die Eisenbahn erobert die Schweiz. Katalog zur Ausstellung «Schienenverkehr», hrsg. vom Verkehrshaus der Schweiz, Zürich 1997.)

nichts über die Richtigkeit der abgesteckten Achsen. Deshalb regte Otto Gelpke 1870 an, eine oberirdische Absteckung der Tunnelachse in Richtung und Länge durchzuführen. Durch das oberirdische Abstecken der Azimute über das Bergmassiv des Gotthards ergab sich eine Kontrolle der erfolgten Richtungsbestimmung und Längenermittlung der Tunnelachse über die ausgeführte Triangulation. Wenn sich die vom Nord- und Südportal ausgehenden abgesteckten Azimute in einem gestreckten Winkel – also bis auf minimalste Abweichungen – von genau 180° trafen, war die Absteckung korrekt. Die oberirdische Absteckung von Richtung und Länge der Tunnelachse galt auch für die Koordinatenbestimmung eines befürworteten Schachtes bei Andermatt, von dem aus der Tunnelvortrieb in beiden Richtungen bewerkstelligt werden konnte. Gelpke berechnete den Schnittpunkt der Tunnelachse mit der bei Andermatt gemessenen Basis und sicherte diesen mit einem eisernen Pfahl. Dann bestimmte er vermessungstechnisch die Richtung der Tunnelachse und liess in Abständen mehrere Fluchtstäbe – auch Jalons genannt – befestigen. Ausgehend

vom Orientierungspfeiler Göschenen steckte er die Tunnelachse Richtung Andermatt ab. In ähnlicher Weise wurde beim Südportal in Ariolo verfahren und in Richtung Norden abgesteckt. Als Ergebnis dieser oberirdischen Absteckung standen 15 Jalons auf dem Gotthard-Massiv, definierend die Lage der Tunnelachse. Jeder Jalon war mindestens von dem vorhergehenden und nächstfolgenden aus sichtbar. Aufgrund der Topografie konnten die Jalons auf dem Kastelhorngrat und auf Fortunei nur von einer Seite aus beobachtet werden.

Im Ergebnis überprüfte Gelpke mit der oberirdischen Absteckung wirksam die Tunnelachse von Göschenen bis zur Basis in Andermatt. Eine Kontrollmessung von der Andermatt-Basis nach Airolo liess sich wegen der schwierigen Topografie am Kastelhorn nicht realisieren.

Zweite Triangulation durch Carl Koppe

War es die wegen der schwierigen Kastelhorn-Region mangelnde Teilüberprüfung und die damit unvollständige oberirdische Kontrollabsteckung von Otto Gelpke – oder gab es darüber hinaus Restbedenken bei den obersten Entscheidungsträgern hinsichtlich der Qualität der von Gelpke abgesteckten Tunnelachse? Denn der Beginn des Vortriebes sollte zeitgleich am Süd- und Nordportal erfolgen, der Durchschlag im Inneren des Gotthard-Massivs möglichst punktgenau vonstatten gehen. Oder gab die 1872 von Oberingenieur Robert Gerwig (1820–1885) im Auftrag der Gotthardbahn-Gesellschaft verfügte Entscheidung den Ausschlag über eine Korrektur der Linienführung der Tunnelachse? Gerwig, projektierender Ingenieur der Schwarzwaldbahn, konnte seine Vorstellungen bei den Trassierungselementen für die Gotthard-Nordrampe weitestgehend durchsetzen. So entstanden 1863 bei der unterirdischen Trassenführung erstmals Kehrtunnel für einen Richtungswechsel um 180°. Auf diese Weise konnten Steilrampen durch grosszügige Schleifen weitgehend vermieden werden. Das nördliche Tunnelportal wurde beibehalten, das südliche Portal in Airolo jedoch um 155 m in südwestliche Richtung gedreht; das heisst, anfangs war der Tunnel gerade angelegt, und am südlichen Ausgang befand sich zunächst ein gerader Richtstollen. Mit der nachträglichen Projektierung des Gleisbogens am Südportal erreichte Gerwig eine etwas günstigere Lage der Eisenbahnstation in Airolo. Gerwigs Erfahrungen führten auch wegen der Änderung der Trassenführung im Bereich des Südportals zum Entschluss einer Kontrollmessung. So erfolgte eine zweite unabhängige Triangulation durch den Ingenieur Carl Koppe (1844–1910). Koppe stammte aus dem preussischen Soest, einer Stadt zwischen dem Ruhrgebiet und dem Sauerland. Nach dem Studium der Naturwissenschaften nahm er an einer Indien-Expedition teil. Für Koppe sprach die einschlägige Praxis im Eisenbahnbau. So wurde er als 25-Jähriger unter 1500 Bewerbern für diese Aufgabe ausgewählt. Sein Auftrag begann 1873; infolge eines erlittenen Beinbruches konnten die eigentlichen Vermessungsarbeiten erst 1874, also ein Jahr später, beginnen. Allerdings übernahm Koppe die Andermatter Basis von 1430,435 m und übertrug sie auf sein eigenes Netz. Wegen ungünstiger Witterung übertrug er jedoch die Basislänge über die Seite Loitascia–Boggia. Koppes Dreiecksnetz ist klarer im Aufbau und wirkt homogener als das Netz von Gelpke (Bild 8).

Entscheidend ist, dass die Triangulation Koppes sowohl an die Dreiecksmessung von Gelpke anschloss als auch an sieben gegebene trigonometrische Punkte aus der Schweizer Landesvermessung anknüpfte. Darüber hinaus glich er mehrfach fehlertheoretisch nach der Gauss'schen Methode der kleinsten Quadrate die ermittelten Winkel innerhalb eines Dreiecks sowie das Dreiecksnetz insgesamt aus. Auch der französische Mathematiker Adrien-Marie Legendre entwickelte 1806 etwa zeitgleich mit Gauss dieses Rechnungsverfahren – wie eingangs schon erwähnt.

Auch Koppe nahm zusätzlich eine oberirdische Absteckung vor, um sich über die korrekte Richtung und Lage der Achse des Haupttunnels zu vergewissern. Vom südlichen Portal in Airolo ausgehend, verzichtete er auf den Theodolitstandpunkt Kastelhorn durch Winkelmessung auf vier weiteren Punkten und stellte auf dem nördlichen Grat des Kastelhorns lediglich ein Signal auf. Danach bestimmte Koppe vom Pfeiler Nord in Göschenen aus einen Punkt in der Vertikalebene der Tunnelachse mit Rückblick zum Meggelenstock. Dort richtete er das Zielfernrohr seines Theodolites zuerst auf die Tunnelmarke und danach durch Drehen des Instrumentes um einen Kreisausschnitt der Horizontalachse auf das Signal auf dem Kastelhorngrat. Josef Schüpbach schreibt, dass Koppe unmittelbar «neben» dem Fadenkreuz des Fernrohres die Signalstange erblickte. Für Carl Koppe war damit die korrekte Bestimmung der Achse des Gotthard-Haupttunnels erbracht. Ideal wäre natürlich gewesen, wenn das Kastelhorn-Signal direkt im Ursprung des Fadenkreuzes gesehen worden wäre.

Tunnelbau und Vermessung

1874 wurde die Absteckung der Achsrichtung in das Tunnelinnere vorgenommen. Voraussetzung war die Fertigstellung der beiden Visierstollen in Göschenen. 1875 lagen die vollständigen Berechnungen vor, sodass die endgültige Länge auf das Gebirgsrelief übertragen werden konnte. Das nördliche Tunnelportal stand nach diesen Berechnungen 584,34 m vom Achspunkt Nord entfernt; das Tunnelportal Süd befand sich in einer Distanz von 347,76 m zum Achspunkt Süd. Somit ergab sich eine vertragliche Tunnellänge von 14 920 m. Da der endgültige Tunnel in Airolo in einer

Kurve enden sollte, wurde der Kurvenanfangspunkt ins Innere des Tunnels verlegt, 165 m vom Richtstollen Süd entfernt. Dabei sah der Übergang von der Geraden mit dem Radius ∞ einen Gleisbogen mit einem Radius von 300 m und einer Bogenlänge von 145 m vor. Durch diese Korrektur ergab sich eine reduzierte vertragliche Tunnellänge von 14 900 m (14 920 m – 165 m + 145 m).

Die Absteckung im Tunnel selbst ist im Prinzip relativ einfach, lässt man die örtlichen Bedingungen ausser Acht. In der zuvor bestimmten Richtung visiert man in den Tunnel hinein und lässt Lichtpunkte ins Fadenkreuz des Theodolites in verschiedenen Distanzen einweisen und die Lagepunkte markieren. Bei fortschreitender Tunnellänge wird der Standort zum letzten der eingewiesenen Punkte verlegt und der Absteckungstheodolit mit Rückblick auf einen zuvor bestimmten Punkt visiert. Anschliessend wird das Fernrohr zu der Vortriebsseite umgeschlagen und erneut ein Signal, bestehend aus einem Lichtpunkt, eingewiesen. Die Verständigung im Tunnel erfolgte mit Laternen und Signalhörnern. Missverständnisse und Zeitverluste blieben nicht aus.

Ausserdem machte dem Vermessungstrupp die temporär schlechte Luftqualität zu schaffen. Nicht nur die Lungenbelastung für die Menschen war enorm hoch, sondern der Staub der Baustelle im Tunnel legte sich auch auf Optik und Feinmechanik der Vermessungsinstrumente.

Drei Genauigkeitsfelder galt es strikt zu beachten:

1. Das Einhalten der Richtung stand an oberster Stelle. Von Norden her war die Vorgabe einer exakten Geraden umzusetzen, von Süden her musste eine äusserst genaue richtungs- und längenmässige Absteckung des Gleisbogens erfolgen, bevor der Vortrieb in die ca. sieben Kilometer lange Gerade ging.
2. Das Genauigkeitsfeld der Neigungsverhältnisse in der Achse des Haupttunnels folgte an zweiter Stelle. Die Trassierungselemente sahen neben der Geraden, des Gleisbogens mit einem Radius von 300 m folgende Neigungsverhältnisse vor: Von Norden her wies die Rampe – wie schon gezeigt – ein Steigungsverhältnis von 5,6 ‰ auf, im Süden lag lediglich eine Steigung von 2 ‰ vor. Diese «Fasthorizontale» hatte zwar den Nachteil, dass auftretendes Wasser nur langsam ablaufen konnte, für den späteren Eisenbahnbetriebsdienst jedoch den Vorteil, dass die Dampflokomotiven bei der Tunneldurchfahrt nicht ständig die letzten Leistungsreserven mobilisieren und damit zwangsweise mehr Sauerstoff verbrauchen mussten.
3. Die exakte Absteckung der Länge hatte beim Tunnelvortrieb eine nachgeordnete Bedeutung; die Richtung und die Übertragung der Trassenneigung spielten eine wesentlich grössere Rolle.

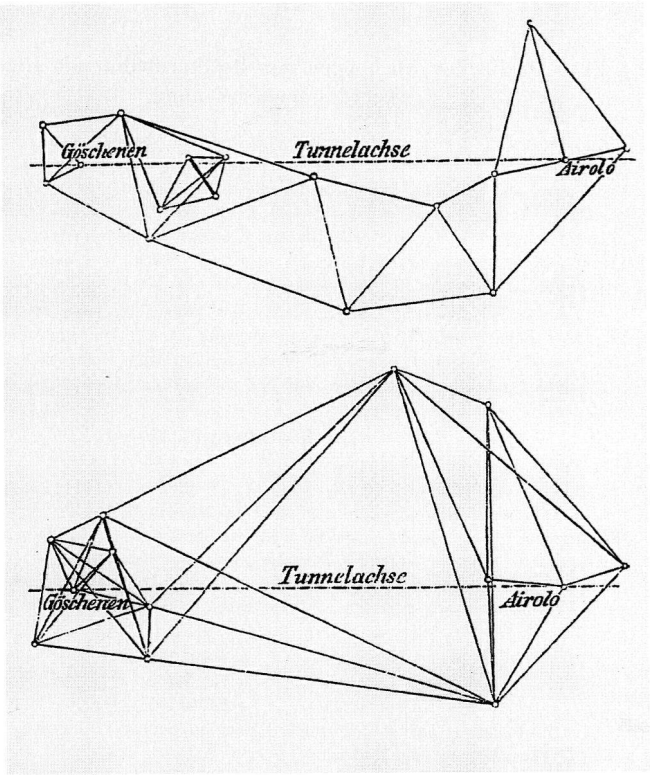


Bild 8: Vergleich der Triangulationen von Gelpke und Koppe. (Quelle: Enzyklopädie des Eisenbahnwesens, 1892)

Der Durchschlag und die Vermessung der Tunnellänge

Am 29. Februar 1880 erfolgte der Durchschlag. Die beiden Stollen wichen dabei lediglich um 33 cm in der Horizontalen – Durchschlagsrichtungsfehler nur 4,4 Winkelsekunden – und nur 5 cm in der Vertikalen voneinander ab. Die Öffentlichkeit in der Schweiz, in Europa und auch in Übersee zollte ein grosses Lob – nicht nur für die Baumeister, sondern auch den Herren Gelpke und Koppe für die geleisteten vermessungstechnischen Arbeiten und die angewandten Messverfahren und mathematischen Ausgleichsmethoden.

Nach dem Durchschlag fand unmittelbar eine Kontrollmessung der Tunnellänge statt mit dem Ergebnis einer Länge von 14 892,4 m und einer Seitenabweichung von 0,49 m. Im Gegensatz zur Längenabweichung wurde der Seitenfehlleistung nur eine geringe Bedeutung beigemessen. Die Tunnellänge war 7,6 m kürzer als das Resultat der Triangulation von Gelpke auf der Basis von Andermatt. Eine Nachmessung in der fast fertiggestellten Tunnelröhre ergab im Frühjahr 1882 – als Mittel dreier Messungen – die Länge von 14 892,9 m. Ein Wert, der bis auf einen halben Meter mit der 1880 erfolgten Baumessung übereinstimmte, hingegen von der trigonometrischen Berechnung immer noch um über 7 m abwich. Die Fehlerursache dürfte systematischer Natur sein: Zum einen wird es bei der Andermat-

§ 211. Dreifacher Korbbogen der Gotthardbahn mit allgemeiner Koordinatenberechnung.

Wir geben in der nachstehenden Fig. 1. S. 883 die Absteckung des Pfaffensprung-Kehrtunnels der Gotthardbahn bei Wasen, nach einer Mitteilung: „Über die Bestimmung der Absteckungselemente für die sieben Kehrtunnels der Gotthardbahn, von Dr. C. Koppe, Separatabdruck aus der „Eisenbahn", Band XIII, Nr. 6 u. 7 vom 7. und 14. August 1880. Das dabei benützte Koordinatensystem ist das schweizerische, mit dem Koordinatenursprung Bern, mit $+x$ nach Süden, $+y$ nach Westen, und entsprechende Zählung der Richtungswinkel von Süd über West (vgl. § 68 Fig. 2 S. 271).

Die nachstehende Fig. 1 zeigt zunächst den Verlauf der Traße im allgemeinen: die offene Bahn kommt nördlich von Flüelen her zu der Tunnelmündung Q. Die Linie $Q\,N\,M\,P$ ist Tunnel, und von P wendet sich die Bahn wieder offen nach Süden, dem Gotthard zu. Die Tunneltraße, mit der wir uns hier beschäftigen wollen, besteht aus drei verschiedenen Bögen:

$$\left.\begin{array}{lll} Q\,N & \text{mit dem Halbmesser} & r = 280\,m \\ N\,M & \text{„ „ „} & r = 500 \\ M\,P & \text{„ „ „} & r = 300\,. \end{array}\right\} \quad (1)$$

Zur weiteren Bestimmung dienen die Tangenten in Q und P, welche sich in W schneiden, und auf diesen Tangenten sind zwei Punkte E (in der Nähe des Tunneleingangs) und A (in der Nähe des Tunnelausgangs) fest bezeichnet.

Die drei Punkte W, E und A sind durch eine Triangulierung an das allgemeine Koordinatensystem angeschlossen, und haben folgende Koordinaten:

	y	x
W	$-90259{,}848\,m$	$+25095{,}146\,m$
E	$-89838{,}163$	$+25139{,}362$
A	$-90041{,}229$	$+24740{,}765\,.$

(2)

Die Punkte Q und P sind durch Einmessen auf den Tangenten $W\,E\,Q$ und $W\,A\,P$ bestimmt, mit den Maßen:

$$E\,Q = 84{,}30\,m \qquad A\,P = 228{,}73\,m\,. \quad (3)$$

Dadurch ist alles bestimmt und die Rechnung kann beginnen.

Fig. 1. Pfaffensprung-Kehrtunnel.

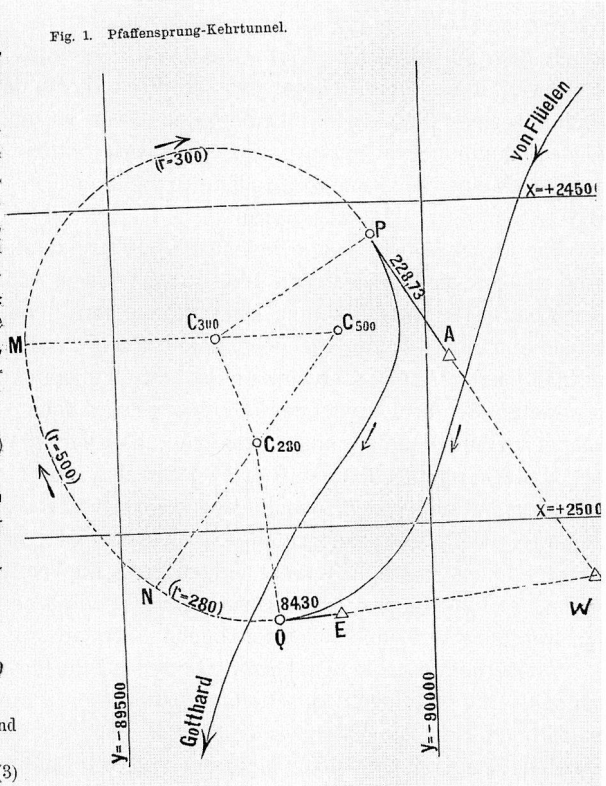


Bild 9: Prinzipzeichnung des Pfaffensprungtunnels nach Wilhelm Jordan. (Quelle: W. Jordan, C. Reinhertz, O. Eggert, Handbuch der Vermessungskunde, Zweiter Band: Feld- und Landmessung, Stuttgart, 7. Aufl. 1908, S. 882 f.)

ter Basismessung zu systematischen Ungenauigkeiten gekommen sein, und zum anderen dürften die Längenmessungen im Tunnel wegen der dort herrschenden Klimabedingungen nicht die notwendig ausreichende Genauigkeit aufgewiesen haben.

Unabhängig von den Ungereimtheiten bei der Längenbestimmung des Haupttunnels wurde dieser 1882 weiter ausgebaut. Den südlichen Ausgang im Tessin verlängerte man um 46,3 m und den nördlichen Ausgang um 45,0 m. 1886 wurde das südliche Tunnelende nochmals um 13,7 m verlängert, als die Minenkammer gebaut wurde. Seit 1887 betrug die offizielle Tunnellänge 14 997,89 m.

1938 wurde unter Einbeziehung zwischenzeitlicher auch untergeordneter Triangulationen die winkelmässige Übereinstimmung zu Gelpkes Messungen von 1872 festgestellt. Die aus den gewonnenen Koordinaten der Endpunkte errechnete Länge der Basis ergab 1430,170 m – mithin war sie 26,5 cm kürzer, als Gelpke mass. Ausgangspunkt für dieses Ergebnis war die Aarberger Basis, die eine Genauigkeit von 1 mm haben soll. Sowohl der Andermatter Basis als auch der Längenmessung im Tunnel müssen grosse systematische Fehler anhaften – eventuell Temperatur- und Feuchtigkeitskoeffizienten. Nach H. Zölly, dem Chefingenieur der eidgenössischen Landestopographie in Bern, wurde 1938 die Länge des Haupttunnels mit 15 002,64 m ermittelt.

Schaut man sich die Abweichungen der Durchschläge anderer vergleichbarer Tunnelprojekte an, so wird die Präzision der Vermessung beziehungsweise der Absteckung im Wert nicht geschmälert. Sowohl der Praktiker Otto Gelpke und als auch der Theoretiker Carl Koppe haben beide auf ihre Weise mit ihren Vermessungen Grossartiges geleistet.

Durchschlagsabweichungen F in m

Tunnel	Länge	F quer	F Höhe	F Länge
Gotthardtunnel	15 km	0,33	0,05	7,6
Simplontunnel	20 km	0,20	0,09	0,8
Lötschbergtunnel	14 km	0,26	0,10	0,4

Kreiskehrtunnel oder Spiraltunnel – Herausforderung an Geodäten und Bauingenieure

Während die Arbeiten im Gotthard-Haupttunnel voranschritten, wurden im Zeitraum von 1878 bis 1882 vier Kreiskehrtunnel gebaut. Die Absteckungen orientierten sich an den vorangegangenen Triangulationen, deren Dreiecksnetze nach Bedarf verdichtet und durch Polygonzüge an die unmittelbare Topografie angepasst wurden. Die Höhen führte man durch Nivellements heran.

Damit die Portalhöhe von 1109 m am Nordportal und 1145 m am Südportal ohne Überschreitung der maximalen Neigung von 26 ‰ erreicht werden konnte, wurde auf der Nordrampe der Pfaffensprungtunnel mit 1476 m Länge gebaut. Mit der Schleife von Wassen, mit dem Wattinger Kehrtunnel und mit der zweiten spiralförmigen Hebungskurve des Leggisteintunnels erreichte man die notwendige Höhe zum Nordportal des Haupttunnels (Bild 9).

Die Trasse befindet sich bei Wassen in drei verschiedenen Höhenlagen. Der Reisende konnte die Kirche zu Wassen in drei unterschiedlichen Perspektiven betrachten (Bild 10).

Die Bedeutung dieser Kreiskehrtunnel zeigt sich auch im internationalen publizistischen Niederschlag. So weist das Handbuch für Vermessungskunde eigens für die Absteckung des Pfaffensprungtunnels ein ganzes Kapitel aus.

Auf der Südrampe mussten sogar vier Kreiskehrtunnel gebaut werden, denn das Tessintal zeichnet sich durch zwei Stufen aus: die obere bei Dazio Grande, die untere in der Biaschina, welche die Gotthardbahn ebenfalls mit Hebungskurven überwindet. In Dazio Grande sind es die Kreiskehrtunnel von Prato (1560 m) und Freggio (1568 m), in der Biaschina die Spiraltunnel von Travi (1547 m) und Piano Tondo (1508 m).

Schluss

Am Ende seines Vorwortes zur fünften Auflage des Handbuches für Vermessungskunde, das schon damals ein Klassiker der Lehrbuchsammlungen an den Technischen Hochschulen war, schreibt Wilhelm Jordan im September 1897:

«Verfasser ist inzwischen Preusse geworden, und glaubt damit die Erfahrung gemacht zu haben, dass ebenso wie ein Gebilde auf der geodätischen Erde nur durch Beobachtungen von mindestens zwei Standpunkten richtig aufgenommen werden kann, so auch die amtlich geodätischen Zustände der einzelnen Staaten nur durch vergleichende Beobachtungen auf staatlich verschiedenen Standpunkten richtig verglichen und beurteilt werden können.» [8]

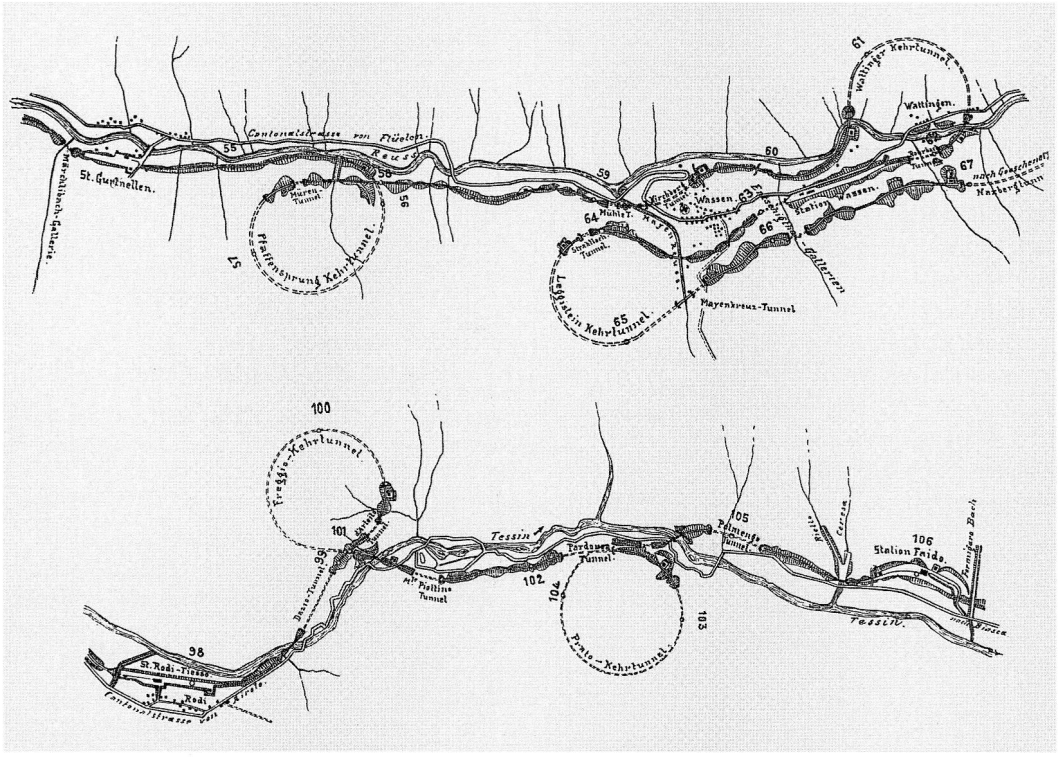


Bild 10: Kreiskehr- oder Spiraltunnel auf der Nord- und Südrampe der Gotthardbahn.

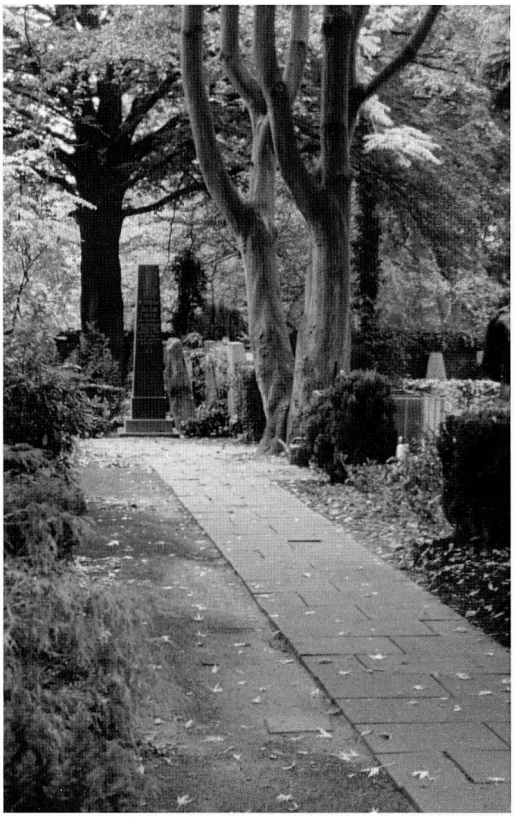


Bild 11 und 12: Wilhelm Jordans letzte Ruhestätte auf dem Friedhof zu Hannover-Herrenhausen. (Foto: H. Knittel, Mannheim)

Das ehemalige Königreich Hannover wurde nach 1866 die preussische Provinz Hannover (Bild 11 und 12).

Sowohl die Vermessung und Absteckung der Achse des Haupttunnels als auch die der fünf Kreiskehrtunnel oder Spiraltunnel auf der Nord- und Südrampe des Gotthardmassivs können als echte Pionierleistungen angesehen werden. Auch heute noch gelten sie als Meilensteine in der Geschichte des weltweiten Tunnelbaues. Man darf auch aus geodätischer Sicht gespannt sein auf den Endausbau des Simplon-Basistunnels – und natürlich vor allem auf die 2017 geplante Eröffnung des Gotthard-Basistunnels: Er ist die realisierte Vision, quasi ebenerdig auf der Schiene vom Schweizer Mittelland und von Deutschland in das Tessin, nach Oberitalien und weiter an das Mittelmeer zu fahren.

[1] Siehe Schrafl, Gotthardbahn, S.1839 ff. In: Enzyklopädie des Eisenbahnwesens. Hrsg. von Victor von Röll. Berlin, Wien 1892.

[2] Nach: Karl Heinz Knauer und Günter Dinhobl, S. 12 f. In: Faszination Semmeringbahn. Katalog der Ausstellung vom 3. Juli bis 2. November 2004, hrsg. vom Technischen Museum Wien und der Marktgemeinde Reichenau an der Rax, S. 8–33. o.O. (Wien), o.J. (2004).

[3] S. Josef Schüpbach, S. 466 f. In: Die Bestimmung der St. Gotthard-Tunnelachse im letzten Jahrhundert. ZS Eisenbahn-Amateur 8/96, S. 465–470.

[4] Nach: Dolezalek, Tunnelbau der Eisenbahnen S. 3268 f. In: Enzyklopädie des Eisenbahnwesens. Hrsg. von Victor von Röll. Berlin, Wien 1895.

[5] Zum Vergleich: In den deutschen Territorien gab es regionale Söldner- oder Gauss-(winkel-)konforme Netze.

[6] Zit. Nach: J. Schüpbusch, a.a.O. S. 468.

[7] Siehe: David Gugerli und Daniel Speich, Attaouer Les Alpes, Kartographische Vermessung der Alpen im 19. Jahrhundert, S. 48. In: Bulletin ETH Zürich Nr. 284, Februar 2002, S. 48–51.

[8] Wilhelm Jordan, S. VII, in: W. Jordan, C. Reinhertz, O. Eggert, Handbuch der Vermessungskunde. Stuttgart, 7. Aufl. 1908.