

Vermessung der Gotthardbahn Tunnel



Gotthardbahn Tunnelportal in Göschenen, um 1875

© Schweizerisches Nationalmuseum

Autor: Prof. em. Beat Sievers, Bahnhofstrasse 11, 3454 Sumiswald

Inhalt

1. Einführung, Zusammenfassung und Redaktionelles	4
2. Plangrundlagen für die Trassierung der Gotthardbahn	6
3. Initiale Hauptpunkte, Observatorien und Tunnelvortrieb	9
3.1 Hauptpunkte zur Absteckung der Richtstollen	10
3.2 Observatorien	15
3.3 Tunnelvortrieb	17
4. Gotthardbahn-Tunnel, Grundlagennetz 1870 von Otto Gelpke	20
4.1 Disposition, Versicherung, Messung und Auswertung des oberirdischen Durchschlagsnetzes	20
4.2 Bericht 1880 von O. Gelpke: Tunnelabsteckungen in Höhe und Lage	24
4.2.1 Tunnelmarken	25
4.2.2 Passageinstrumente des Mont Cenis	27
4.2.3 Universalstativ, Lampenuntersätze, Lampen und Reflektoren	28
4.2.4 Nivellement	28
4.2.5 Absteckungen im Allgemeinen	29
4.2.6 Vorgehen und Schwierigkeiten bei früheren Absteckungen	29
4.2.7 Absteckung vom Oktober 1875 und Errungenschaften	29
4.2.8 Beurteilung der letzten Absteckung (Göschenen)	30
4.2.9 Letzte Verifikation in Airolo und Gesichtspunkte für diese letzte Absteckung	30
4.2.10 Nivellement und Längenmessung in Airolo	30
4.2.11 Telegraphie in Airolo	31
4.2.12 Vorbereitung der Absteckung in Airolo	31
4.2.13 Absteckung in Airolo	31
4.2.14 Nivellement im Durchschlagspunkt	32
4.2.15 Richtung (Durchschlagsfehler quer zur Tunnelachse)	32
5. Gotthardbahn-Tunnel, Grundlagennetz 1875 von Carl Koppe	33
5.1 Disposition, Versicherung, Messung und Auswertung des oberirdischen Durchschlagsnetzes	33
5.2 Tunnelrichtungsmarken, astronomische Beobachtungen, Hauptabsteckung	36
5.3 Trigonometrische Höhenmessung zur Tunneltriangulation	38
5.4 Tunnelabsteckungen	39
5.5 Aus der Biografie von Anna Koppe	40
6. Gotthardbahn Kehrtunnel	41
7. Gotthardbahn-Tunnel: Rezensionen, Nachforschungen und Ergänzungen	46
8. Beschrieb der eingesetzten Instrumente	52
8.1 Theodolite von O. Gelpke	52
8.1.1 9" Zoll Theodolit von Starke in Wien	52
8.1.2 7 Zoll Theodolit von Otto Fennel in Cassel	53
8.2 Theodolite von C. Koppe	54
8.2.1 8 Zoll Theodolit von Kern in Aarau	54
8.2.2 15 Zoll Universal-Instrument von Ertel	56
8.3 Passageinstrumente (auch Durchgangsinstrumente genannt)	57
8.3.1 Grosses Passageinstrument	57
8.3.2 Kleines Passageinstrument	58
9. Glossar	61
10. Quellen	62
10.1 Museen und Sammlungen	62
10.2 Internet	62

10.3	Literatur	62
11.	Anhänge	68
11.1	Koordinatenverzeichnis der Triangulations- und Achspunkte von Gelpke und Koppe in LV95/LN02	68
11.1.1	Triangulationsnetz von O. Gelpke	69
11.1.2	Triangulationsnetz von C. Koppe	72
11.1.3	Achspunkte, Observatorien und weitere Punkte	74
11.2	Inventarblätter	76
11.2.1	grosses Passageinstrument (Kern Aarau, VHS 119)	76
11.2.2	8" Gotthard-Theodolit (swisstopo Nr. 1020)	76
11.2.3	Astronomischer Pfeiler (VHS 12154)	76
11.2.4	7 Zoll Theodolit von Otto Fennel in Cassel (VHS Nr. 3525)	76
11.3	Abbildungsverzeichnis	77

1. Einführung, Zusammenfassung und Redaktionelles

Dieser Bericht stellt die Vermessungsarbeiten an den Gotthardbahn Tunnel der Bergstrecke Erstfeld – Biasca anhand der originalen Literaturquellen vertieft dar. Sie erfolgten in den Jahren 1869 bis 1881. Der «Grosse Tunnel» der Gotthardbahn, der Naxberg-Tunnel und die sieben Kehrtunnel werden beleuchtet, die vielen weiteren Tunnel nicht.

Zusammenfassend lässt sich feststellen:

- Die grundlegenden Methoden waren die Triangulation, die Polygonierung und das geometrische Alignment: lange Tunnel verliefen bis 24.7.1908 (Einbruch des Lötschbergtunnels im Gasterntal) streng in einer Vertikalebene, Kurven in der Horizontalebene wurden mittels geradlinig weitergeführter Richtstollen bewältigt (z.B. Tunnelende in Airolo, siehe Abb. 36).
- Höhen wurden mittels geometrischem Nivellement oder trigonometrischer Höhenmessung übertragen.
- Topografische Plangrundlagen wurden mit Messtisch und Kippregel (Messtischverfahren) grafisch und halbgrafisch erstellt, anfänglich im Massstab 1:10'000, später 1:2'500 bis 1:1'000, letzterer für örtlich begrenzte Katasterpläne (z.B. Göschenen) und Detailprojekte.
- Instrumentenbauer stellten Messmittel meist auf Bestellung her und nicht in Serien: Die Gotthardbahn-Ingenieure erstellten dazu Konstruktionszeichnungen und ihre Erfahrungen flossen in Neuentwicklungen ein.
- Der geodätische Massstab stammte anfänglich aus der damals noch ungenügenden Landestriangulation, dann aus einer (mehrfachen) 1'450.44 m Basismessung von Otto Gelpke in der Talebene von Andermatt.
- Die mechanischen Theodolite erreichten eine empirische Richtungs-Standardabweichung aus der Ausgleichung von 0.75 mgon (Gelpke) bzw. 0.31 mgon (Koppe); bei den Kehrtunnels 6.2" (1.9 mgon). Die hauptsächlich verwendeten Theodolite und grossen Passageinstrumente sind gut erhalten vorhanden (bei swisstopo, in der Sammlung Kern, im Verkehrshaus der Schweiz).
- Distanzen wurden mit 20 m Stahlbändern oder kalibrierten 3 m Holzplatten gemessen, längere Distanzen wurden aus der Triangulation gerechnet bzw. bei den Kehrtunneln wurden Messbasen angelegt. Die Messmittel wurden zwar periodisch kalibriert, wichen aber im Tagesverlauf wegen Wärme- und Luftfeuchtigkeitseinflüssen von den Kalibrierwerten ab.
- Die messtechnische und rechnerische Redundanz wurde hoch gewichtet und führte so zu zuverlässigen Resultaten.
- Ausgewertet wurde von Hand: Netzberechnungen mit bedingter Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate, mit logarithmischen Rechenoperationen und evtl. Rechenschiebern (letztere sind nicht dokumentiert).
- Nur Carl Koppe hat astronomisch beobachtet und sphärische Reduktionsgrössen (sphärischer Exzess, Reduktionen ins Projektionssystem) berücksichtigt.
- Die (empirischen) Lotabweichungen haben weder Otto Gelpke noch Carl Koppe wissenschaftlich streng behandelt, die Refraktionskoeffizienten haben beide ermittelt.
- Transportmittel waren Postkutsche, Stollenbahn und Fussmarsch (mit vielen Lastenträgern).
- Meldungen wurden übermittelt mittels handschriftlichem Brief in Kurrentschrift, Zurufen, Hornsignalen/Pfeifen, Lichtzeichen (mit Kerzen- oder Petrollampen), ab 1875 mittels Morse-Telegrafie. Ein Einsatz von Heliographen wird in der Literatur nicht erwähnt.
- Die Beteiligten waren physisch weit mehr gefordert als sie es heute sind.
- Der Bundesrat legte den offiziellen Baubeginn der Gotthardbahn auf den 1. Oktober 1872 fest, Favre begann am 24.10.1872 mit dem Ausbruch in Göschenen nach der belgischen Baumethode (im Tunnelquerschnitt von oben nach unten), der Durchschlag geschah am 29.2.1880: Längsfehler 7.11 m, Querfehler 33 cm, Höhenfehler 5 cm.
- Der Bau des «grossen Tunnels» kostete 61 Mio. Fr. (Andraea 1948, S. 8), die Vertragssumme Louis Favres lag bei Fr 47'804'300 für 14'900 m Tunnel (Gotthardbahn-Gesellschaft; Favre 1872). 1938 war der Tunnel 15'002.64 m lang, heute wegen einer Strassenüberdeckung in Airolo etwas länger.
- Der Arbeitsfortschritt wurde in ganz Europa mitverfolgt und lebendig diskutiert.

Das Kapitel 2 behandelt die vorhandenen und neu erstellten Fixpunkt- und Plan-Grundlagen für die Trassierung der Zufahrtsstrecken, Kapitel 3 die Ausgangspunkte für den und das Vorgehen beim Tunnelvortrieb. Dann werden die Grundlagenvermessungen und Tunnelabsteckungen Gelpkes (Kapitel 4) und Koppes (Kapitel 5) anhand ihrer Publikationen geschildert. Da die beiden Ingenieure zeitweise parallel gearbeitet haben, ergibt sich weder eine zeitlich noch eine thematisch lineare Schilderung – vielmehr führt die Parallelität zu Mehrfachnennungen einzelner Tatbestände. Kapitel 6 fasst die Absteckung der sieben Kehr- und Spiraltunnel zusammen, in Kapitel 7 werden die Beiträge der Vorgesetzten oder von Rezensenten und von Nachforschenden nach 1900 angesprochen. Kapitel 8 beschreibt die heute noch vorhandenen, damals verwendeten Theodolite und Passageinstrumente, die meist noch vorhanden und gut erhalten sind. Das Glossar (Kapitel 9) klärt heute nicht mehr oft gebräuchliche Begriffe, Kapitel 10 listet die verwendeten Quellen und ihre Fundorte auf, der Anhang (Kapitel 11) positioniert die Hauptfixpunkte in den Bezugsrahmen LV03 und LV05/LN02 und nennt ihren heutigen Zustand. Weiter enthält der Anhang die Inventarblätter der heute noch vorhandenen Messinstrumente.

Zitate werden nachfolgend buchstabentreu in «» gesetzt, in eckigen Klammern [] stehen redaktionelle Ergänzungen des Autors, " sind allgemein verwendet Sekunden im 360° Masssystem, [∞] sind Zentesimalsekunden im 400gon Masssystem. " steht gelegentlich aber auch für die Masseinheit Zoll, was aus dem Zusammenhang zu erkennen ist. Wikipedia sagt dazu: Die Masse werden als ungefähre Entsprechung verwendet: so gilt 4" (10 cm), 4½" (11.4 cm), 6" (15 cm), klassischer Achtzöller (20 cm) oder 14" (35.6 cm). Die Umrechnungskonstante in cm ist im deutschsprachigen Raum nicht einheitlich. So wird in der Schweiz ein Zoll auch in 2.26 cm umgerechnet (<https://www.kern-aarau.ch/kern-extern/preis-courant.html>, Zugriff 21.12.2023). Bei den nachfolgenden Instrumentenangaben in Zoll ist demnach eine Abweichung von einem Zoll durchaus nicht selten – je nach verwendeter Quelle.

Dieser Bericht ist so weit wie möglich im Präsens formuliert und soll – trotz der erheblichen Vergangenheit der beschriebenen Aktivitäten – so lebendiger wirken.

Viele Aussagen sind in den Literaturquellen redundant ausgeführt, manche auch leicht widersprüchlich. Die volle Wahrheit nach über 140 Jahren zu ergründen ist gelegentlich schwierig.

Das Auskundschaften und Studium der Quellen in ihrer vollen Tiefe führte zu wachsender Begeisterung und Ehrfurcht vor den grossen Taten und Herausforderungen der Vermessungsingenieure anno 1869-1881. Heute kann man sich vor ihnen nur verneigen und «Hut ab vor Euren Leistungen» sagen!

Alle Objekte der Gotthardbahn länger als 10 m sind in https://www.gotthardbahn.ch/3_daten/objekte/ov_gol-bel.htm aufgelistet (Zugriff am 26.1.2024).

Danksagung

Ohne die tatkräftige Mithilfe, Quellenerschliessung und Lieferung von Quelldokumenten und Fotos durch folgende Personen wäre dieser Bericht unvollständig geblieben. Ihnen gebührt mein herzlicher Dank für ihre Unterstützung.

- Herr David Mauro in München
- Herren Andreas Schlatter und Lukas Gerber vom Bundesamt für Landestopografie swisstopo
- Frau Laura Kaiser und Frau Chei Jin von SBB Historic in Brugg
- Herren Daniel Geissmann und Jean-Luc Rickenbacher vom Verkehrshaus der Schweiz
- Herren Aldo Lardelli und Karl-Heinz Münch von der Studiensammlung Kern Aarau
- Herr Stephan Furrer, Nachführungsgeometer Uri in Altdorf

2. Plangrundlagen für die Trassierung der Gotthardbahn

Carl Koppe berichtet in (Koppe 1910a, S. 401–402) über 'Die topografischen Grundlagen bei Eisenbahn-Vorarbeiten in verschiedenen Ländern', nämlich Deutschland, Österreich, Italien und der Schweiz: «Die Bauingenieure der Schweiz erklären und benutzen ganz allgemein und übereinstimmend als vorteilhaftesten Massstab für die topographischen Aufnahmen und Pläne zum Zwecke allgemeiner Eisenbahn-Vorarbeiten, nach Erledigung der "Vorstudien" auf der Grundlage ihrer topographischen Landeskarten kleineren Massstabes [Dufourkarte 1:100'000], den Massstab 1:5'000. Nach ihrem Urteile vereinigt dieser Massstab hinreichende Schärfe der Darstellung mit guter Uebersichtlichkeit. ... Eine weitere Forderung, welche die schweizerischen Ingenieure ebenfalls ganz allgemein an topographische Pläne stellen, ist die, dass dieselben in naturwahrer Ausführung mit dem Messtische aufgenommen werden, damit das Gelände charakteristisch und erkennbar in allen Einzelheiten in ihnen zur Darstellung gelangt nach dem in der schweizerischen Topographie allgemein gültigen Grundsatz: Es sollen nicht nur Terraingesichter gezeichnet werden, sondern diese sollen auch in allen Teilen ähnlich und erkennbar sein. ... Zur richtigen Beurteilung der Linienführung muss die morphologische und geologische Beschaffenheit des Geländes nach der topographischen Plandarstellung mit genügender Sicherheit erkennbar sein, um Schutthalden, Rutschungen, Felsstürze, Lawinewege, Wildbäche u.s.w. entsprechend berücksichtigen zu können im Interesse des Baues und Betriebes der Bahn in hinreichend weit ausgedehnten Grenzen zu beiden Seiten derselben.»

Gemäss (Koppe 1910b, S. 209) sind in Vorstudien «die ersten topographischen Aufnahmen für die Gotthardbahn von Wetli in 1:10'000, [Höhen-]Kurven von 5—10 m» verwendet worden, «während der Massstab 1:10'000 sich für schwierige Verhältnisse, wie sie bei der Gotthardbahn vorkamen, als unzulänglich erwiesen hat.» (Abb. 1)

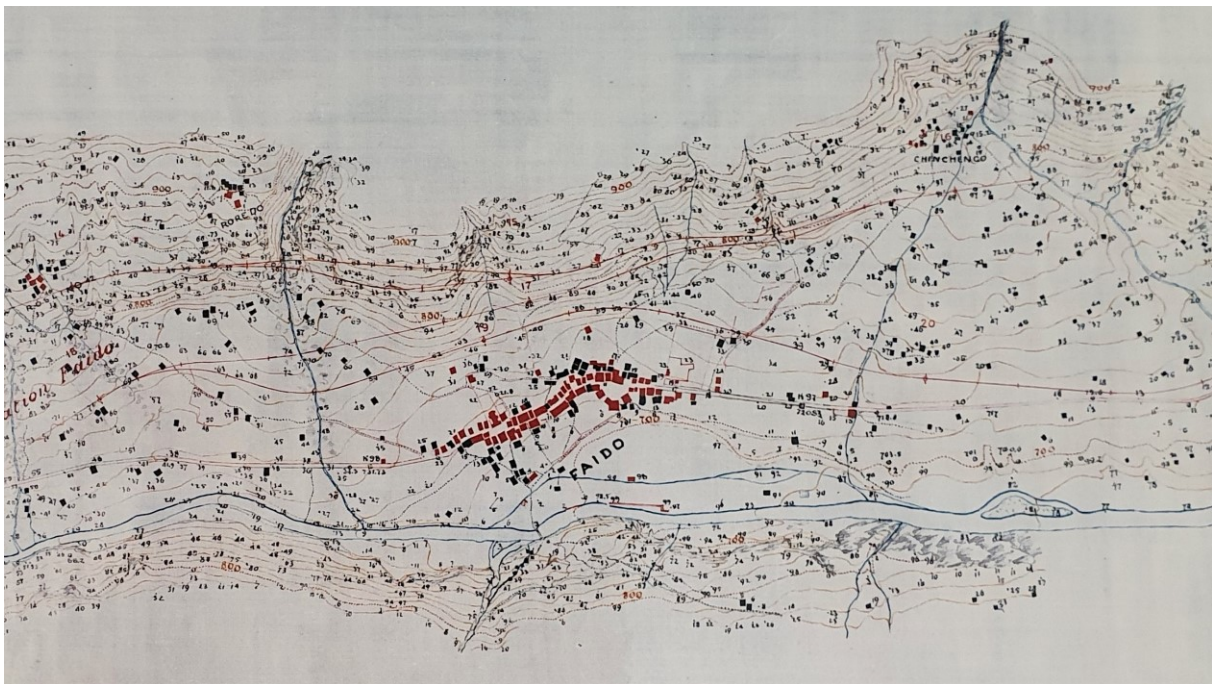


Abb. 1: Messtischblatt des Gotthardbahn-Projekts, aufgenommen mit einer Kern Kippregel von Kaspar Wetli, 1861 mit den damals geplanten Spitzkehren der Bahnlinie (SBB Historic)

Kaspar Wetli (Strassen- und Wasserbau-Inspector des Kantons Zürich) beschreibt diese Kartierungs- und Trassierungsarbeiten ab 'Spätjahr 1861' in (Wetli 1876, S. 20–21): «Entgegen meinem Vorschlage für einen Massstab von 1:5000 entsprechend den 1857/58 für die Lukmanierbahn unter meiner Leitung aufgenommenen Plänen, wurde derselbe vom [Gotthard-] Comité auf 1:10000 beschränkt, weil einige kleine Partien bisher im Auftrage der Centralbahn so aufgenommen wurden. Um die vorgerückte Jahreszeit möglichst zu verwerthen, wurde auf der Höhe des St. Gotthard der Anfang gemacht. Dank einem ausgezeichneten und für solche Arbeiten eingübten Hülspersonal und der äussersten Anspannung aller Kräfte rückten die Vermessungen bis zum Ende des Jahres einerseits bis Erstfeld, ca 10

Kilometer oberhalb Flüelen, anderseits bis Biasca und von da über Bellinzona bis Lugano vor. ... So kam es, dass ein auf gleicher Grundlage und auf gleichen Verfahren beruhender Plan von Erstfeld über den Gotthard nach Bellinzona und Lugano entstand.»

Die Kartierung des Geländestreifens für das beabsichtigte Bahntrasse zwischen Luzern und Brissago kostete 21'650 Franken (Moeschlin 1947, S. 78).

Und weiter in (Wetli 1876, S. 22): Diese Pläne «blieben auch wenigstens bis 1872, also zehn Jahre lang, die einzige Grundlage, nach welchen die Studien für die Gotthardbahn fortgesetzt wurden.

Man liess Lithographien davon verfertigen und einzelne Partien sind in den graphischen Beilagen des Herrn Hellweg enthalten.

Im genannten Jahr 1872 wurde mit der Aufnahme von Terrainplänen im Massstab von 1:2500 und mit Höhenkurven von 5 Meter Vertikalabstand begonnen, welche im Laufe des Jahres 1875 vollendet wurden.» (Abb. 2)



Abb. 2: Messtisch-Plan 1:2'500 Wattenen – Wasen, ca. 1875 (SBB Historic, PL_120_00014, URL: <https://www.sbbarchiv.ch/detail.aspx?ID=573646>)

Anschliessend begründet Wetli souverän die Theorie und gelebte Praxis der schweizerischen (Gebirgs-)Trassierungsmethodik in der damaligen Zeit und vergleicht verschiedene Kostenschätzungen zur Rechtfertigung seiner Annahmen.

Für Detailplanungen wurden auch Katasterpläne 1:1'000 angefertigt (Abb. 3), teilweise sogar im Massstab 1:500 (Koppe 1894, S. 11). Koppe bemerkt in dieser Schrift zur Trassierung: «Ein bei Gebirgsbahnen, wie z.B. auch bei der Brenner-Bahn, mehrfach angewandtes Mittel, zur Verlängerung der Bahnlinie Seitenthäler auszufahren [um die Steigung höchstens auf 1:40 oder 25‰ zu halten], konnte am Gotthard nicht benutzt werden, wegen zu grosser Steilheit der engen Querthäler. Spitzkehren, in denen die Zugrichtung wie in Kopfstationen wechselt, sind nachteilig für den Betrieb. Man wandte daher am Gotthard zum ersten Male eine neue Art der Linienentwicklung an mit Hilfe von Spiral- und Kehrtunneln.»

Als Grundlage für die Planung und Absteckung der Bahnachse diente ein verdichtetes Triangulationsnetz (Abb. 4): «... auch am Gotthard wurde das zur Bestimmung der Tunnelaxe

3. Initiale Hauptpunkte, Observatorien und Tunnelvortrieb

Im Zeitraum 1863 bis 1865 studierten August von Beckh und Robert Gerwig in ihrer Expertenschrift (von Beckh; Gerwig 1865) die Untertunnelung des Gotthard Hauptgebirges in drei Varianten auf verschiedenen Höhen:

- Abfrutt – Airolo: ca. 1220 müM, ca. 15.37 km lang,
- Hospenthal – Ossasco / Albinasca: ca. 1470 müM, ca. 10.68 km lang, und
- Göschenen – Airolo (auf 1110/1155 müM, ca. 14.8 km lang.

Die letzte wurde auch «der grosse Tunnel» genannt. (Jung; Staatsarchiv Zürich 2022)

Für die vermessungstechnische Absteckung des Scheiteltunnels sind die in der Nähe der Tunnelportale gelegenen Hauptpunkte der Absteckung, die Messgebäude ('Observatorium' genannt) und die Art des Tunnelvortriebes von Interesse.

Je nach Quelldokument differieren die Namen der Punkte, was auch im vorliegenden Bericht zum Ausdruck kommt. Ihre Koordinaten sind im Anhang 11.1.3 gelistet.

1869 bis 1871 ist die Achse des grossen Tunnels durch die Hauptpunkte (Steinpfeiler) «Göschenen Signal (alt)» «Göschenen neu I» und «Airolo Signal (alt)» materialisiert. (H. Zölly setzte 1938 in diese Tunnelachse den «Neuer Axpunkt Gelpke Süd».)

1872 verlangt Gottlieb Koller, Inspektor der Gotthardbahnbauten im Eidg. Eisenbahndepartement, eine Projektänderung der Bahnstation in Airolo. Robert Gerwig, Oberingenieur¹ der Gotthardbahn-Gesellschaft, legt fest, dass das Portal Göschenen bestehen bleibe und die Achse in Airolo nach Westen verschoben werde. Gerwig ordnet weiter an, dass die Steinpfeiler (Observatorien) sich in Lage und Höhe genau in der Achse der Richtstollen befinden sollten (Pestalozzi 1877, S. 97).

Otto Gelpke spezifiziert und berechnet die Achsdrehung in (Gelpke 1872b): «Als Grundlage und Anhaltspunkt für diese Verschiebung diente die Annahme einer Drehung der bisherigen Achse um das Tunnelportal in Göschenen, unter Voraussetzung einer festen Grösse = 155.4 m für die Verschiebung in Airolo in der [Gegen-]Richtung des Pian alto.»

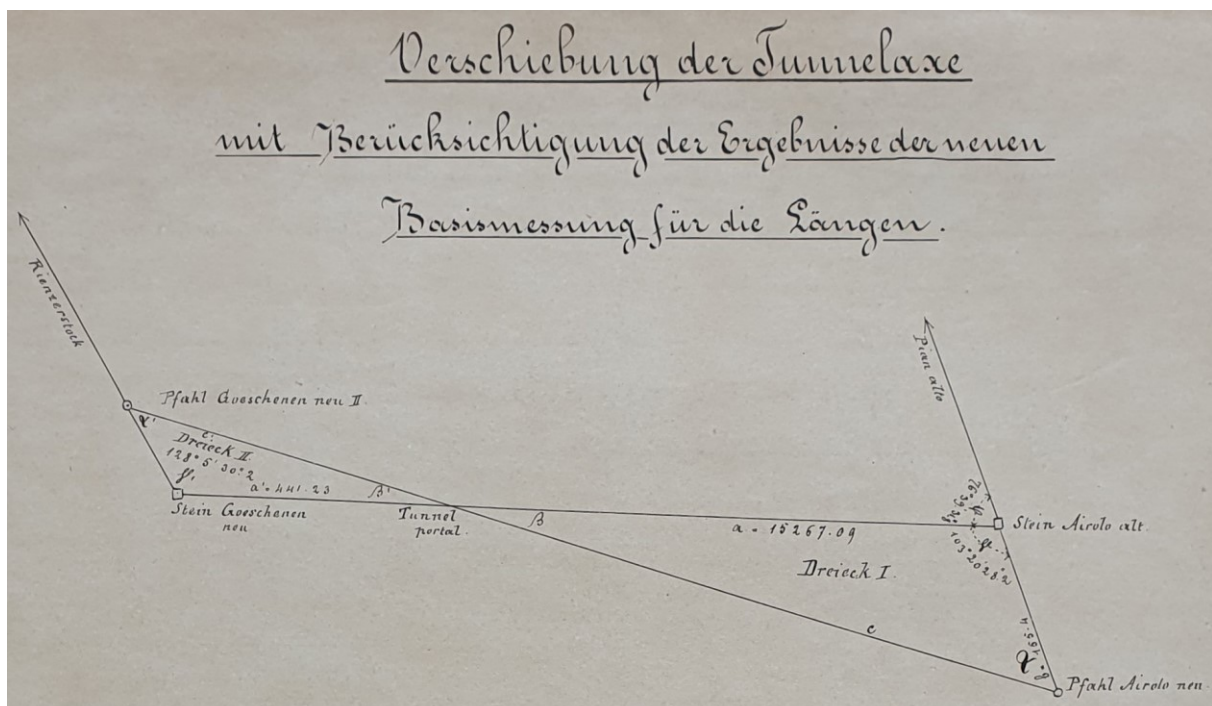


Abb. 5: Skizze aus der Verschiebung der Tunnelaxe (Gelpke 1872b)

In Göschenen setzt er die Punkte «Pfahl Göschenen II», «Signal Göschenen neu III (Steinpfeiler)» und «Jalon III ob Tunnelportal Göschenen» in die neue Achse. Koppe setzt 1874

¹ gewählt am 2. April 1872, Arbeitsbeginn am 1. Mai 1872, gekündigt am 15. Februar 1875.

einen mächtigen Granitblock auf der linken Seite der Göschener Reuss genau in die Tunnelachse, Zölly setzt 1938 diesen Granitblock nahe zu Gelpkes Steinpfeiler.

In Airolo setzt Gelpke u.a. einen «Jalon I» (dans la direction de Pian alto), von diesem aus 43.085 m in Richtung Portal des Richtungstunnels den Steinpfeiler «Signal Airolo neu» und «Jalon II ob Richtungsstollen». Koppe setzt ca. 1873 seinen Pfeiler «Airolo (Observatorium Koppe)» in die Achse, 7.19 m südlich des Steinpfeilers von Gelpke und schliesslich Zölly 1938 den «neuen Axpunkt Koppe» (108 Ai) in den Vorplatz des von einem Zeughausbau verborgenen Richtungsstolleneingang.

3.1 Hauptpunkte zur Absteckung der Richtstollen

Im Gotthardbahn-Archiv (bei SBB Historic, Signatur: VGB_GB_SBBGB02_049_02) sind u.a. folgende Originaldokumente einsehbar:

- Der vermessungstechnische Beschrieb der Achsdrehung im Jahr 1872 (Gelpke 1872b), (mit Abb. 5);
- Ein Katasterplan 1:1000 mit der Bahnachse und eingezeichneten Achspunkten;
- Ein Katasterplan 'Erstfeld Göschenen Bl. 56, Gemarkung Wasen' mit eingezeichneten Achspunkten;
- Eine 'Skizze der Fixpunkte in Göschenen 1:1000', unterschrieben von O. Gelpke am 25. November 1872, mit falsch eingezeichnetem Standort des Observatoriums (Abb. 20);
- Eine 'Skizze der Fixpunkte in Airolo 1:2000', unterschrieben von O. Gelpke (Abb. 6).

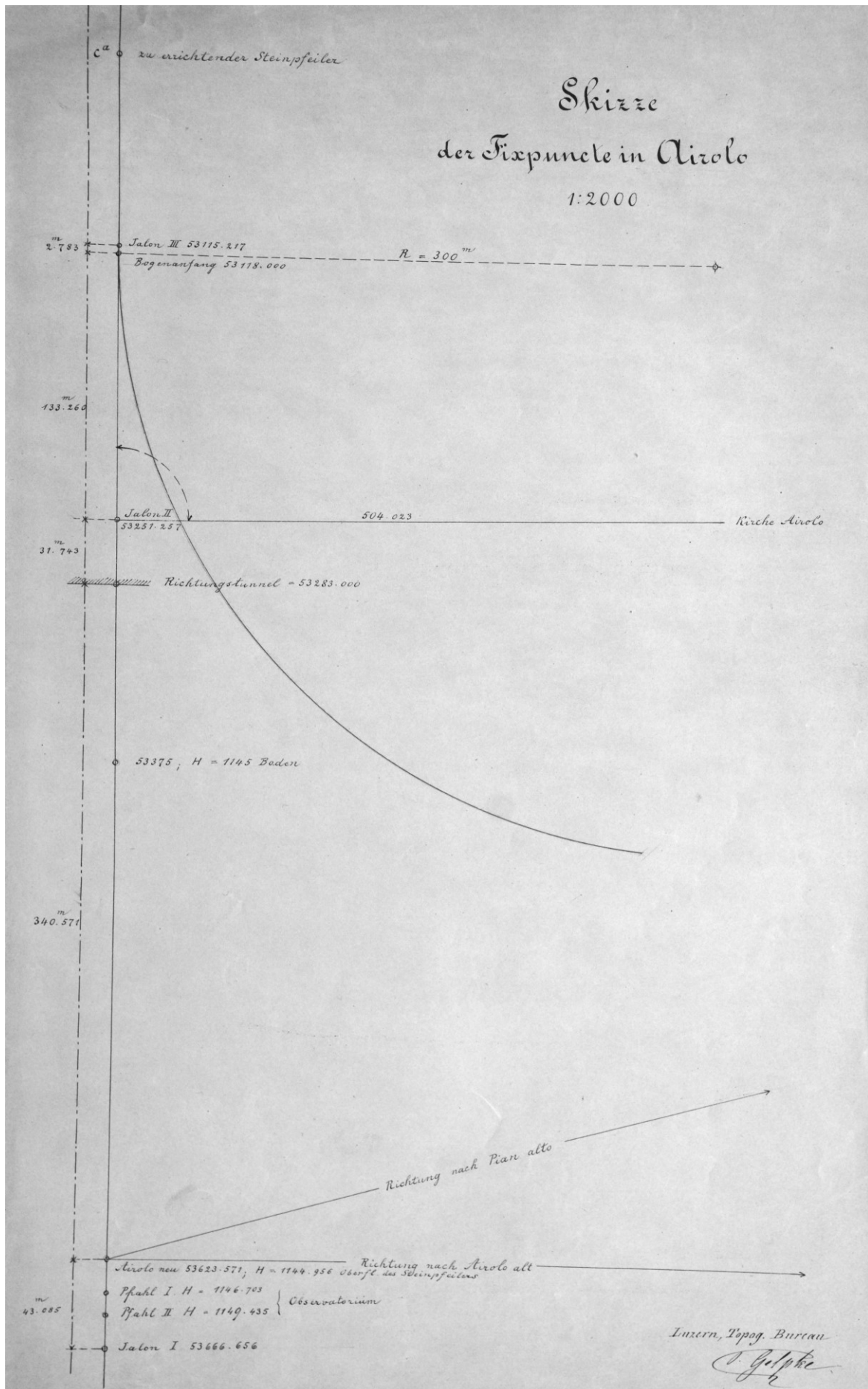


Abb. 6: Skizze der Fixpunkte in Airolo (SBB Historic, VGB_GB_SBBGB02_049_06)

Die Hauptpunkte in Göschenen und Airolo werden mittels Pfeilern aus Granitblöcken oder mit mächtigen Granitsteinen, teilweise auch mittels Holzpfählen oder Jalons in der Tunnelachse versichert. (Zölly 1940a) beschreibt fünf Achspunkte in Göschenen:

- 'Pfeiler Nord' oder 'Göschenen Signal' von Gelpke, hart an der Gotthardstrasse und in der ersten Tunnelachse gelegen (Abb. 7). Er stand seit 1870 schief und wird 1938 von H. Zölly wieder senkrecht gestellt:



Abb. 7: (alter) Axpfeiler Nord von Gelpke in Göschenen, 1938 von H. Zölly als 'Top. Punkt 107 Gö' senkrecht gestellt (swisstopo Bild 5546c, 1938)

Als erster Achspunkt wird er 1871 ersetzt von

- 'Göschenen neu I', einem mächtigen Granitpfeiler (aus Granit der nahen Göschener Umgebung gehauen) in der ersten Tunnelachse gelegen, der 1873 dem Bahndienstgebäude weichen muss, siehe Situationsplan in Abb. 20.
- In der 1872 gedrehten – nun endgültigen – zweiten Tunnelachse setzt Gelpke den Pfahl 'Göschenen neu II' und wegen seiner ungünstigen Sichtverhältnisse den
- Granitpfeiler 'Göschenen neu III', siehe Abb. 8 und Abb. 20. Von diesem aus wird Ende 1872 die Achsrichtung in den Richtstollen abgesteckt. H. Zölly hat ihn 1938 «nach vorangehender Absteckung absolut unverändert [bodeneben] vorgefunden» (Labhardt; Zölly 1937) und mit 'Trig. Punkt IV. Ord. No. 81 Nord Gö' benannt. Am 5.3.1993 trägt er noch den Punktnamen 1231.706, heute steht er unverändert als Lagefixpunkt 3 Nr. 992625 mit zentrisch eingelassenem Bolzen ca. 10 cm unter der Bodenoberfläche.
- Koppe setzt einen neuen Achspunkt auf dem linken Ufer der Göschenerreuss in der Nähe des Restaurant Rössli auf dessen Grundeigentum. Als Pfeiler wird im Juli 1874 der für die erste Linienführung des Tunnels 1871 erstellte, beim Bau des Sektionshauses 1873 entfernte, mächtige, quadratische Pfeiler wieder verwendet und über ihm das Observatorium errichtet. Beim Abbruch des Observatoriums liegt der Steinblock dann zunächst herrenlos in der Nähe des Schopfes des Hotel Rössli, bis ihn H. Zölly am 6.9.1938 nahe dem

Sektionshaus wieder in die Tunnelachse setzt, als 'Astronomischer Pfeiler Koppe 1974' bezeichnet (Abb. 8) und mit 'Trig. Punkt IV. Ord. No. 81 Süd Gö' benannt. Er ist 2.224 m von Punkt '81 Nord Gö' entfernt. Im A5-Punktversicherungsprotokoll 1231.706 wird er am 3.10.1991 gelöscht.



Abb. 8: Gelpkes «Göschene neu III» (links, bodeneben) und Koppes astronomischer Pfeiler 1874, von H. Zölly im Areal des Bahndienstgebäudes neu versetzt (swisstopo Bilder 5545a, 5545c, 1938)

Im Frühling 2016 kommt dieser behauene Granitpfeiler schliesslich ins Verkehrshaus der Schweiz und wird nun im Aussenlager verwahrt. Kap. 11.2.3 beschreibt seine Details.

In Airolo sind sieben Achspunkte mit Koordinaten dokumentiert:

- Der Achspfeiler 'Airolo Signal (alt)' der ersten Tunnelachse von Gelpke (Abb. 9) auf der rechten Flussseite des Ticino in den Matten von 'Di là dell'acqua di fuori', dessen Überreste 1938 in einem inzwischen erschlossenen Steinbruch lagen; heute läge er nahe am See- rand des Ausgleichsbeckens und ist nicht mehr vorhanden:



Abb. 9: Gelpkes Achspunkt in Airolo mit Blick gegen den Tunnel, von Zölly als Top. Punkt No 33 Ti bezeichnet (swisstopo Bild 5547b, 1938)

- Ein Pfahl 'Jalon I (dans la direction de Pian alto)' der 1872 gedrehten Tunnelachse, 155.4 m südwestlich des bisherigen 'Airolo Signal (alt)'; Von diesem Pfahl setzt Gelpke in Achsrichtung gegen den Ticino hin, 43.085 m entfernt
- einen Beobachtungspfeiler, in den Akten auch 'Signal Airolo neu (Steinpfeiler)' genannt, von dem aus ab Ende 1872 die Achsrichtung in den Richtstollen abgesteckt wird;
- ein von Koppe neu errichteter Pfeiler «Airolo (Observatorium Koppe)», 7.19 m südlich von Gelpkes 'Signal Airolo neu' entfernt, dessen Überreste 1938 in einem Bachbett lagen (Abb. 10). Über ihm wird 1873 das Observatorium errichtet;



Abb. 10: Reste von Koppes Astr. Pfeiler 1874 in Airolo, von H. Zölly als Top. Punkt No 336 Ti bezeichnet. Bild 6 aus (Zölly 1940a, S. 89), swisstopo Bild 5548c, 1938

- Pfahl I und Pfahl II, von Gelpke mit 'Observatorium' gekennzeichnet;
- Jalon II, oberhalb des Eingangs des Richtungstunnels gelegen.

Als Anzielpunkte dienen den Instrumenten auf diesen Hauptpunkten bei schlechtem Wetter und nachts die in der Ache liegenden Tunnelmarken, die in Kap. 4.2.1 beschrieben sind.

3.2 Observatorien

Ab 1873 lässt die Gotthardbahn-Gesellschaft auf beiden Seiten auf den Hauptpunkten je ein Observatorium bauen.

Für das Observatorium Göschenen liegen im Gotthardbahn-Archiv bei SBB Historic:

- Der 'Voranschlag über Erstellung des Observatoriums für den Gotthardtunnel' vom Oktober 1874 (Devis mit Preisen);
- Der Vertrag vom 5.11.1874 zur Ausführung des Observatoriums mit gefordertem Fertigstellungsdatum 1.2.1875;
- Ein Übereinkommen mit den Grundbesitzern Gebrüder Tresch vom 7./15.8.1874 und zugehörigem 'Situationsplan für die Tunnelvisur 1:1000' (Abb. 11), der den geplanten Observatoriumsstandort und die freizuhaltende Visurfläche zur nördlichen Tunnelmarke enthält.

Das für den Bau benötigte Grundstück ist am 4. April 1873 expropriert worden.

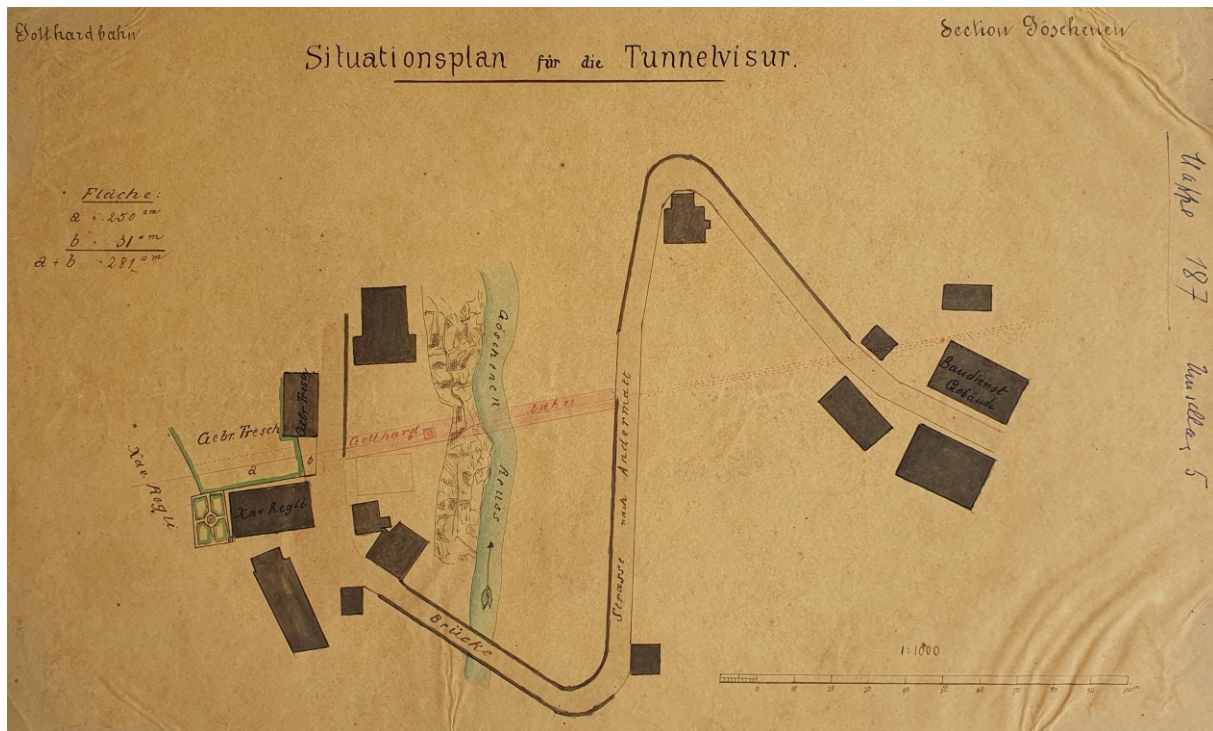


Abb. 11: Situationsplan für die Tunnelvisur 1:1000 in Göschenen (SBB Historic, VGB_GB_SBBGB02_049_02)

Für den Bau des Observatoriums von Airolo wird am 28./30.9.1873 ein Vertrag geschlossen. Im Gotthardbahn-Archiv bei SBB Historic liegen:

- Eine Beilage 1 zur Abrechnung über die Erd-, Maurer-, Zimmermanns-, Tischler-, Schlosser- und Anstreicherarbeiten. Sie enthält diverse Pläne (Situationen 1:25, 1:50 und 1:100, Schnitte 1:25 und 1:50), unter anderen (Abb. 12).
- Eine Beilage zur Abrechnung über die Erd-, Maurer- und Steinmetz-Arbeiten am Observatorium.

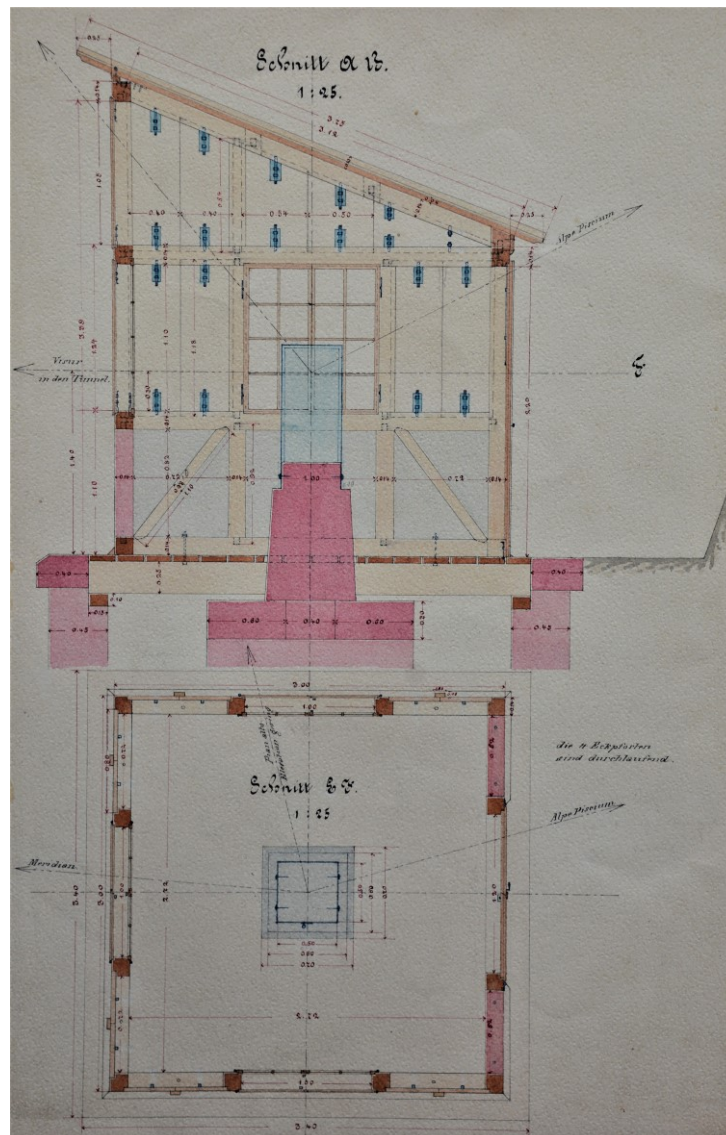


Abb. 12: Plan 1:25 des Observatoriums Airolo (SBB Historic, PL_120_00007_02)

«Die [beiden] Observatorien wurden einige Monate nach dem Durchschlage auf Abbruch verkauft.» (Koppe 1894, S. 52).

Die Observatoriums-Liegenschaft in Göschenen geht im Dezember 1880 an die Eigentümer des Hotel Weisses Rössli (Kaufvertrag vom 13.10./11.12.1880), heute steht auf der Parzelle 241 das Gebäude 27 am Standort des Observatoriums (EGRID CH290778354604). Die Liegenschaft gehört einem Eigentümer aus Zürich.

Der Observatoriums-Standort in Airolo liegt heute in Parzelle 1607 (Nationalstrassengrundstück und Zone für öffentliche Zwecke, EGRID CH528246020734) in einer bewaldeten Böschung.

3.3 Tunnelvortrieb

Im Gotthardtunnel kommen druckluftgetriebene Bohrmaschinen, im Pfaffensprungtunnel erstmals eine hydraulische (d.h. mit Wasserdruck getriebene) Brandt'sche Drehbohrmaschine zum Einsatz. Gesprengt wird mit Dynamit, hergestellt in der Sprengstofffabrik Chedditte an der Isleten (Gemeinde Seedorf, Kanton Uri).

(Koppe 1894, S. 37) beschreibt den Vortrieb des Tunnels wie folgt: «Der fertige Tunnel hat bei 8 m Sohlenbreite eine Höhe von 6 m. Er wurde aber nicht auf einmal in vollem Profil ausgebrochen, sondern es wurde zunächst nur ein Stollen von 3 m Breite und 2 m Höhe als Firststollen vorgetrieben, dann folgte die seitliche Erweiterung, und schliesslich die Vertie-

fung und der Vollausbau mit Strosse und Sohlenschlitz, worauf die Ausmauerung mit dem Gewölbe und den Widerlagern ausgeführt werden konnte.

Der Firststollen war den anderen Arbeiten zum Ausbruch des Tunnels stets weit voraus. Da derselbe später nach jeder Richtung, seitlich wie oben und unten, weiter ausgebrochen werden musste, so konnten in ihm niemals feste Punkte für längere Dauer angebracht werden, denn alle Marken wurden wieder fortgesprengt. Im Vollausbau wurden die angebrachten Marken durch die Ausmauerung bedeckt und bei letzterer war man nicht sicher, ob mit der Zeit nicht Veränderungen eintraten. So erklärt es sich, dass jedes Jahr eine durchgreifende Controle der Absteckungsarbeiten, eine sog. Hauptabsteckung der Tunnelaxe nothwendig wurde, welche wieder ganz von vorne anging und beim Observatorium ausserhalb des Tunnels ihren Ausgangspunkt hatte.»

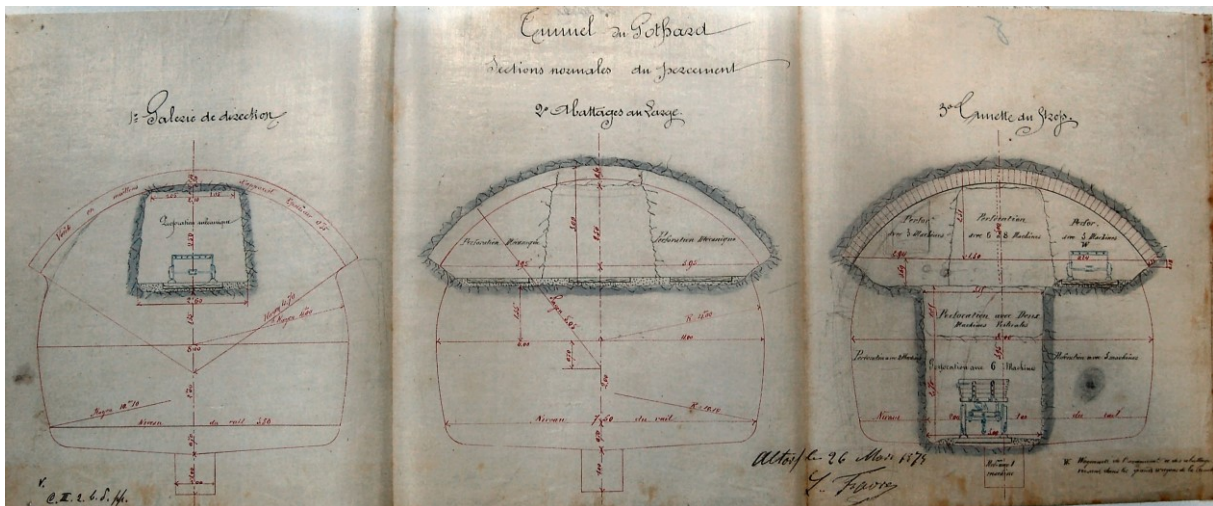


Abb. 13: Bauablauf Vortrieb: First- oder Richtungsstollen links, Erweiterung Kalotte Mitte, Sohlstollen rechts. (Bild aus www.alpentunnel.de, unterzeichnet 'Altorf le 26 Mars 1879 L. Favre') gut zusammengefasst in (Fechtig; Kovári 1997, S. 8–31 und 126)

(Andrae 1948, S. 9) bemerkt dazu: «Die im Gotthardtunnel angewandte Bauweise dagegen bedeutete keinen Fortschritt gegenüber dem Mont-Cenis, im Gegenteil. Dieser war mit Sohlstollen aufgeföhren und von diesem aus "belgisch"² abgebaut worden. FAVRE dagegen ging mit Firststollen vor, was sich so schlecht bewährte, dass seither alle langen Tunnel wieder mit Sohlstollen aufgeföhren wurden.»

² Belgische Bauweise: Der Vortrieb beginnt mit einem Sohl- oder Firststollen, dann erfolgt die Erstellung eines Firstschlitzes, der bis zum Tunnelfirst erweitert wird. Anschließend erfolgt der Ausbruch der Kalotte und der Einbau des Firstgewölbes. In diesem Verfahren werden die Widerlager in Unterfangungsbauweise angebracht.

<https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/klassischer-tunnelvortrieb/8379>, Zugriff 26.1.2024

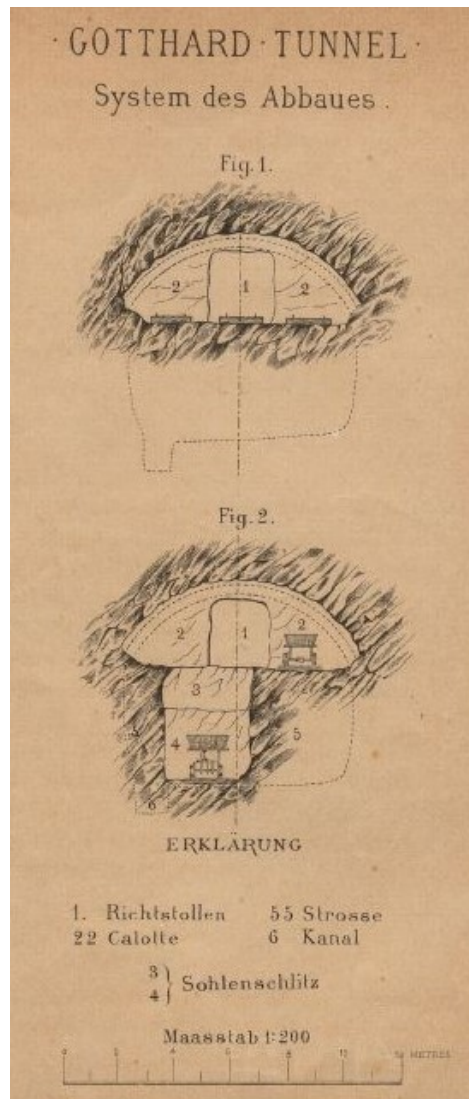


Abb. 14: Gotthard-Tunnel: System des Abbaus, Tafel 1 aus (Colladon 1876)³

³ Prof. Daniel Colladon war Experte beim Bau des Mont Cenis Tunnels und dann beratender Ingenieur von Louis Favre

4. Gotthardbahn-Tunnel, Grundlagennetz 1870 von Otto Gelpke

4.1 Disposition, Versicherung, Messung und Auswertung des oberirdischen Durchschlagsnetzes

1870 berichtet Otto Gelpke, Ingenieur im Eidgenössischen Topographischen Bureau⁴ (heute Bundesamt für Landestopografie swisstopo), ehrfürchtig über seine Achsbestimmung des St. Gotthard-Tunnels im Sommer/Herbst 1869 (Gelpke 1870). Die Tunnelportale, damals Tunnelmundlöcher genannt, waren erst sehr «unbestimmt und vage» festgelegt, es existierten schon Nivellemente, die unter sich aber «bedenklich» differierten. Gelpke regt an, das Nivellement de Précision (Landesnivellement) über den Gotthardpass vorzuziehen, was Ingenieur Joh. Benz 1869/1870 mittels Präzisionsnivellement von Amsteg nach Giornico auch ausführt (Centralbüro 1871, S. 68) und (Hirsch; Plantamour 1870, S. 172) (Abb. 15).

Im Gegensatz zum Mont-Cenis Tunnel ist eine beidseitige Sichtverbindung von den Tunnelportalpunkten ('Observatorien') auf einen Gipfel in der Vertikalebene des geplanten Tunnels nicht möglich, weshalb Gelpke ein Triangulationsnetz aus 11 Dreiecken mit 13 neu zu erstellenden Messpfeilern ('Signale') über verschiedene Gipfel disponiert (Abb. 16). Da auch ein Schacht in der Talebene von Andermatt in Aussicht genommen wird und abgesteckt werden müsste, plant Gelpke aus Risikoüberlegungen eine Basis in der Ebene zwischen Andermatt und Hospental. Diese soll ermöglichen:

- den Massstab des Triangulationsnetzes zu bestimmen
- die genauen Tunnellänge und Steigungsverhältnisse für die Bausubmission zu ermitteln
- mit einem möglichst genauen trigonometrischen Nivellement das oben erwähnte und einfach ausgeführte lokale geometrische Nivellement «roh zu controliren»
- die Steigungen im auszubrechenden Tunnel abstecken zu können
- die Höhen der Dufourkarte zu korrigieren
- den effektiven Refraktionskoeffizienten zu bestimmen
- offene wissenschaftliche Fragen zu klären: Bestimmung der Lotabweichungen.



Abb. 15: Kern Präzisions Nivellier der S.G.K., 1867 (Sammlung Kern im Stadtmuseum Aarau)

⁴ dieses wurde 1865 dem Eidgenössischen Stabsbüro angegliedert, welches 1901 in die Generalstabsabteilung einging. Details siehe (Bundesamt für Landestopografie 2017)

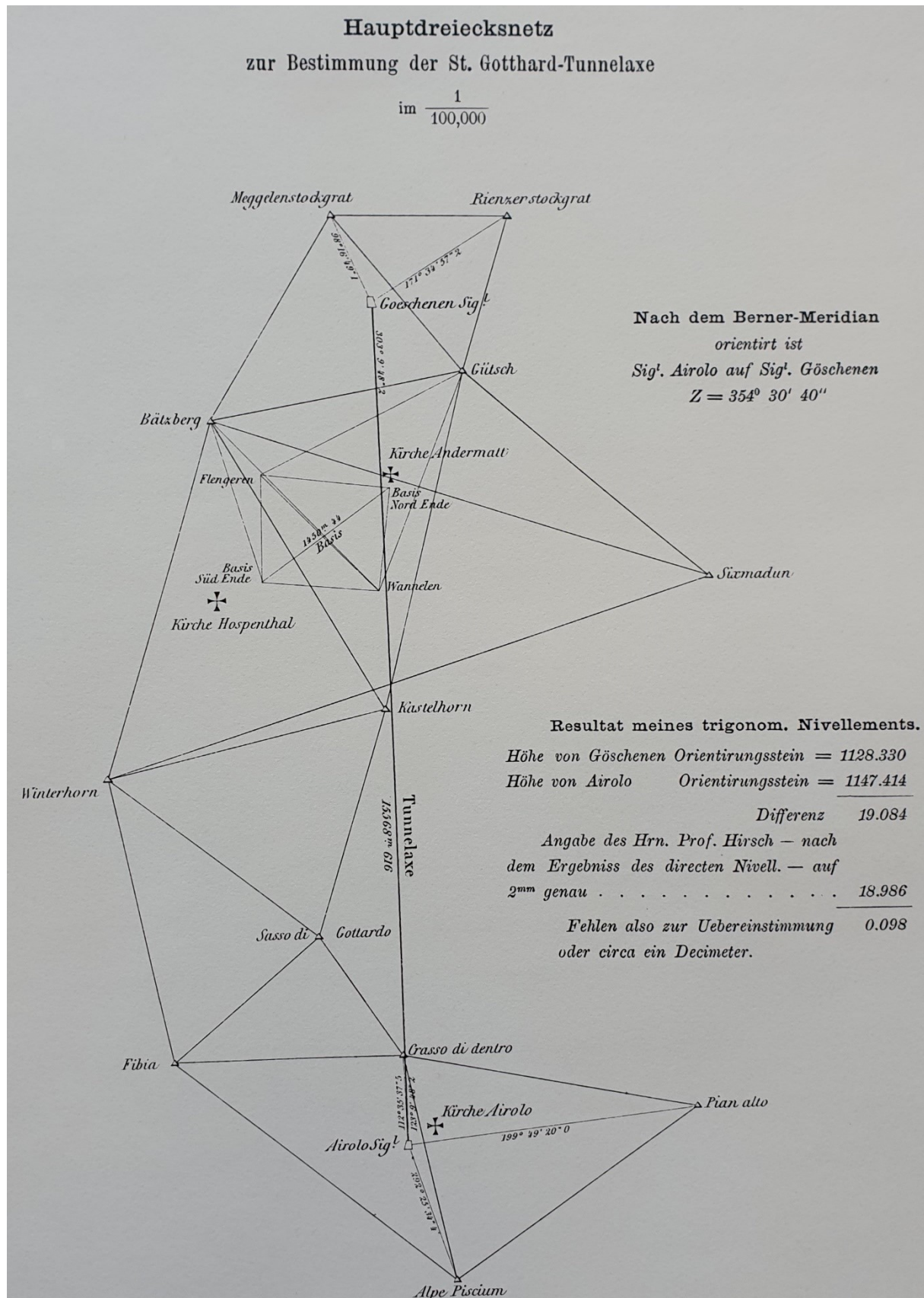


Abb. 16: Triangulationsnetz von Gelpke, aus (Gelpke 1871, S. 18)

Gelpke behandelt dann den Bau der 13 Messpfeiler durch Tessiner Maurer und Steinhauer aus Giornico in 15 Tagen mittels grosser, rund behauener, übereinander geschichteter Granitplatten (17). Den Pfeiler Nord in Göschenen versichert er mit einem Granitstein (Abb. 7), der anfänglich hart an der Gotthardstrasse liegt, 1871 wird in der Verlängerung der Achse

der neue Punkt 'Göschenen neu I' versichert. In Airolo liegt sein Axpfeiler in den Matten von 'Di là dall'Acqua' rechts vom Ticino. H. Zölly berichtet darüber, siehe Kap. 3.1 und 7.



Abb. 17: Messpfeiler Rienzerstockgrat von Gelpke, Zustand 1931 und 2009. Das Instrument wird links auf der zweitobersten Platte zentrisch aufgestellt (Zölly 1940c, S. 24) und (D. Mauro, 2009)

Anschliessend begründet er seinen Entscheid, alle Winkel der Dreiecke auf den Pfeilern zentrisch zu beobachten und erläutert seine äusserst sorgfältige Messplanung.

Die Messungen führt er vom 5.8. bis 6.9.1869 aus: in 32 Tagen 13 Signale mit 27 Stationierungen. Vom 6.-17.9.1869 werden das Anschlussnetz der Basis gebaut, 5 Stationierungen mit dem gleichen Theodoliten ausgeführt und die 1'450.44 m Basis-Distanz «mit einem [20m-]⁵ Stahlbande von Kern in Aarau» gemessen, dem er «keine besondere Genauigkeit» zutraut. Die Endpunkte dieser ersten Basis werden nicht dauerhaft versichert, da zu diesem Zeitpunkt die Tunnelrichtung interessiert, nicht die Tunnellänge. Die Basis-Distanz überträgt er mit dem Basisvergrösserungsnetz (siehe Abb. 16) auf die Dreiecksseite Gütsch-Bätzberg.

Zur [Repetitions-]Winkelmessung setzt er einen «9" Theodolith von Starke in Wien mit durchschlagbarem Fernrohr, dem eidgenössischen Stabsbureau angehörend» ein (Abb. 18), «die Zahl der Repetitionen eines jeden Winkels im Haupt- und Anschlussnetz der Basis schwankt zwischen 20 und 34, meist aber 24 in Serien von 4–8 Beobachtungen zu verschiedenen Tageszeiten» (Gelpke 1870, S. 154). Die Abweichungen der Winkelsummen in den 11 Dreiecken liegen zwischen 9.6" und -6.0" [29.6^{cc} und -18.5^{cc}], mit aller Wahrscheinlichkeit nur +3.6" [11.1^{cc}], alle unter Vernachlässigung des sphärischen Exzesses.

⁵ aus (Zölly 1940c, S. 22)



Abb. 18: Gelpkes 9" Theodolit von Starke zur Bestimmung der Gotthard-Tunnel Achse 1869 (swisstopo Bild 5490, 2012)

Zur Lagerung seines Netzes verwendet er die alten eidgenössischen Koordinaten des Punktes Six Madun (ein Punkt des europäischen Gradmessungsnetzes), zur Orientierung das ebene Azimut der Dreiecksseite Six Madun – Winterhorn (neu), wobei die Nullrichtung mit der Südrichtung zusammenfällt (Zölly 1940a, S. 86). Die Messwerte von Gütsch, Bätzberg und Winterhorn zum Six Madun sind leider in keiner Publikation niedergeschrieben.

Die Höhendifferenz zwischen den zwei Signalen Göschenen und Airolo bestimmt er «durch ein doppelt ausgeführtes Präzisionsnivellement (roh durch zwei trigonometrische Nivellements controlirt)» (Gelpke 1880b, S. 101).

Er diskutiert die Differenzen seiner Berechnungen zum damals vorhandenen eidgenössischen Triangulationsnetz (ab 1836 aufgebaut, siehe (Zölly 1940c)) und zu den zwischenzeitlich realisierten Messergebnissen des 'Nivellement de Précision' und empfiehlt dem «St. Gotthard-Comité besonders dringend, die Achse am Chastelhorn direkt abzustecken (Gelpke 1870, S. 157). Weiter empfiehlt er eine Verlegung des geplanten Schachts in Andermatt.

Seine Erlebnisse mit 'Wind und Wetter' sowie die körperlichen Anstrengungen schildert er ebenfalls eindrücklich.

Als Resultat seiner Berechnungen präsentiert Gelpke in «Tafel B»:

- den Netzplan seines Hauptdreiecksnetzes (Abb. 16),
- die Distanz 15'568.616 m, die Höhendifferenz und die Azimute zwischen den Signalen Göschenen und Airolo (lokal sowie bezüglich des Meridians von Bern),
- die lokalen Anschlussazimute auf diesen beiden Punkten zu den sichtbaren Netzpunkten,
- die Länge der Basis 1450.44 m,
- die Meereshöhen aller Signale und der Zwischenpunkte (des Basisvergrößerungsnetzes), den Schnittpunkt der Tunnelachse mit der Basis,
- die rechtwinklige Entfernung der Punkte Kastelhorn, Crasso di dentro und Pescium von der Tunnelachse.

Alle diese Arbeiten kann er in nicht ganz drei Monaten ausführen.

Weil Gelpke der in 1869 gemessenen ersten Basis nicht voll vertraut, versichert er 1871 am selben Ort eine zweite, neue Basis mit soliden Pfeilern und beobachtet ihren Anschluss an seine ursprüngliche Triangulation im Spätherbst (Zölly 1940c, S. 24). Die zweite Basisdistanz misst er erst im Sommer 1872 zweimal und erhält die Werte 1'430.535 m und 1'430.510 m. Zusammen mit Prof. Johannes Wild⁶ hat er dazu eine genauere – und schnellere – Methode entwickelt und beschreibt sie in (Gelpke 1872a): Zwei Ingenieure und ein guter Gehilfe vermögen in einem Tag mit drei kalibrierten Messlatten 350 bis 400 Meter zu messen, mit zwei Gehilfen «sicherlich 500 Meter». Die Messlatten sind aus «gut getrocknetem Tannenholz, etwas über 3 Meter lang, an deren Enden seitwärts Messingplättchen von 5 cm Länge eingelassen waren, von ihrer Mitte als Nullpunkt der Latte aus auf 2 cm in halbe Millimeter auf Silber eingetheilt» (Koppe 1894, S. 23), siehe Abb. 19. Aus den zwei Messungen wählt er die zweite, vermeintlich sicherere, zur Weiterberechnung. Die Basislänge bezogen auf den Horizont des Tunnelleingangs in Göschenen (1110 m.ü.M.) beträgt daraus 1'430.436 m, auch die Seitenlängen der Dreiecke von 1869 und die Koordinaten aller Punkte werden im Horizont 1110 m.ü.M. nachberechnet (Zölly 1940c, S. 24). Sphärische Reduktionsgrößen und den Umstand, dass sich die benützten Grundlagen auf eine im Meereshorizont gelegene Projektionsebene beziehen, vernachlässigt er (Zölly 1940a, S. 87).

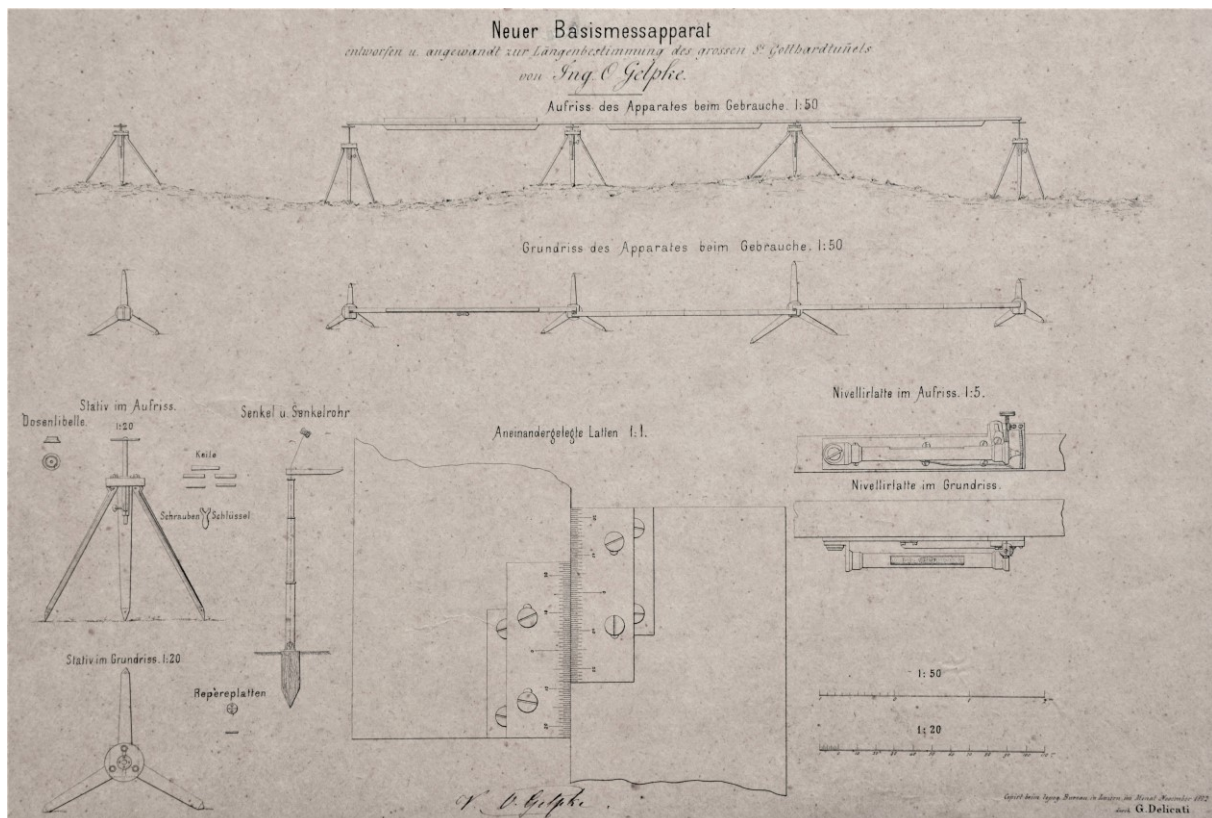


Abb. 19: neuer Basismessapparat von O. Gelpke, 1872 (SBB Historic, VGB_GB_SBBGB02_049_06)

4.2 Bericht 1880 von O. Gelpke: Tunnelabsteckungen in Höhe und Lage

Vom Bundesrat erhält Gelpke den Auftrag, den letzten Richtungsverifikationen und dem Durchschlag kontrollierend beizuwohnen und dem eidgenössischen Eisenbahndepartement zu berichten. Er beginnt diesen Bericht in (Gelpke 1880b) mit einem kritischen Rückblick auf «die Geschichte der Tunnelaxe und ihrer Bestimmung» seit 1869: Die Tunnelachse ist 1872 im Portal Göschenen gedreht worden⁷, so dass sich die Position des Steins Airolo alt um 155.4 m nach Südwest, entgegengesetzt Azimut Airolo - Pian alto verschiebt. Diesen Punkt nennt Gelpke 'Jalon I dans la direction de Pian alto'. Dies ergibt wegen ungünstiger Sichtverhältnisse eine Verschiebung der beiden portalnahen Pfeiler (Göschenen nur wenige m;

⁶ lebte 1814-1894; ab 1855 Professor für Topographie und Geodäsie an der ETH Zürich

⁷ Grund: eine vom Bundesrat geforderte Änderung des Ortes der Bahnstation in Airolo

Airolo 144 Meter nach Westen). In der verlängerten räumlichen Achse des Tunnel-Firststollens werden definitive Pfeiler erstellt: in Airolo 358 m vom Tunnelportal entfernt im Schutt eines Bachbetts: zuerst Punkt 'Airolo neu (Steinpfeiler)', später Abb. 10), in Göschenen 585 m vom Tunnelportal entfernt, jenseits der Göschenerreuss (Abb. 20), was zwei Visierstollen bedingt. Der längere ist heute noch vorhanden und öffentlich zugänglich. Über den Pfeilern werden Observatoriumsgebäude gebaut (siehe Kap. 3.2).



Abb. 20: Situationsplan Tunnelvisur, Göschenen, 1874 (SBB Historic, VGB_GB_SBBGB02_049_06)

Gelpke führt Koppe in die Praxis ein, lässt ein grösseres und besseres Instrument anfertigen und tritt ihm seine zusammenschraubbaren Eisenstangen ab, die eine exakte Signalstellung für eine bleibende oberirdische Achsabsteckung ermöglichen sollen.

Er erwähnt seine eigene *geglückte* oberirdische Richtungsverifikation im Jahre 1871 am Chastelhorn (Gelpke 1880b, S. 102), die eine Differenz von effektiv 19 cm ergeben hat und verweist auf die Arbeiten von Koppe (siehe Kap. 5). Zum direkten Vergleich der beiden Triangulationen mittels der Tunnelabsteckungen tragen beide bei: Gelpke beobachtet die Winkel auf der Nordseite, Koppe misst auf der Südseite und führt auch die Berechnungen aus: «Diese Vergleichung ergab abgerundet für Göschenen 1 Secunde, für Airolo 3 Secunden Unterschied». Das entspricht in Tunnelmitte 0.0383 m.

4.2.1 Tunnelmarken

Im Abschnitt «**Marken**» behandelt er, wie die Tunnelmarken ausgestaltet und genau in die Vertikalebene der Tunnelachse gesetzt und eingemessen worden sind (Abb. 21 bis Abb. 24). Sie haben «ein kreisrundes Loch [in eine Eisenplatte] eingebohrt und dieses [ist] mit einem weissen concentrischen Kreise umgeben worden. Am Tage diente dieser weisse Kreis zur Einstellung, in der Nacht ein hinter die kreisrunde Oeffnung der Platte in den ausgehöhlten Felsen geschobenes Lampenlicht. In derselben Verticalebene oberhalb und unterhalb dieser Marke wurden zudem zwei Controlmarken angebracht und auch rückwärts von den Observatorien die Tunnelebene durch drei Marken zum Ueberfluss bezeichnet. Die oberste Marke vor- und rückwärts ist in ihrer Form identisch mit der Hauptmarke.»⁸

⁸ Die baulich-vermessungstechnische Einrichtung beschreibt (Koppe 1894, S. 38)

Von allen 4 Tunnelmarken fertigt H. Zölly mit seinen Mitarbeitern in 1938 Punktkrokis an und legt alle seine Aufzeichnungen in einer swisstopo Archivoschachtel ab. (Zölly et al. 1871)



Abb. 21: Tunnelmarken Göschenen Nord und Süd (D. Mauro 2009)

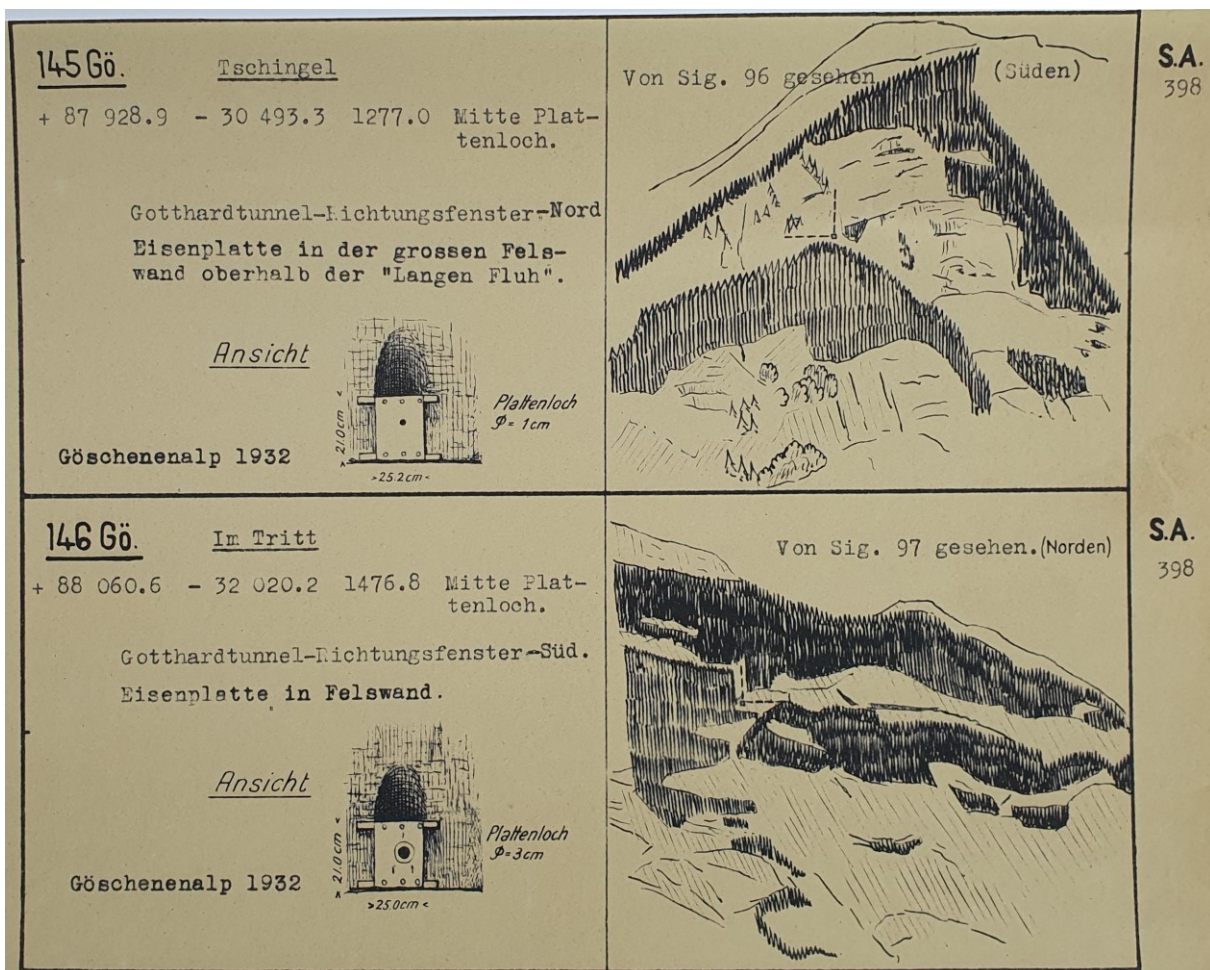


Abb. 22: Tunnelmarken Göschenen Nord und Süd, Abb. aus Archivoschachtel (Zölly et al. 1871)

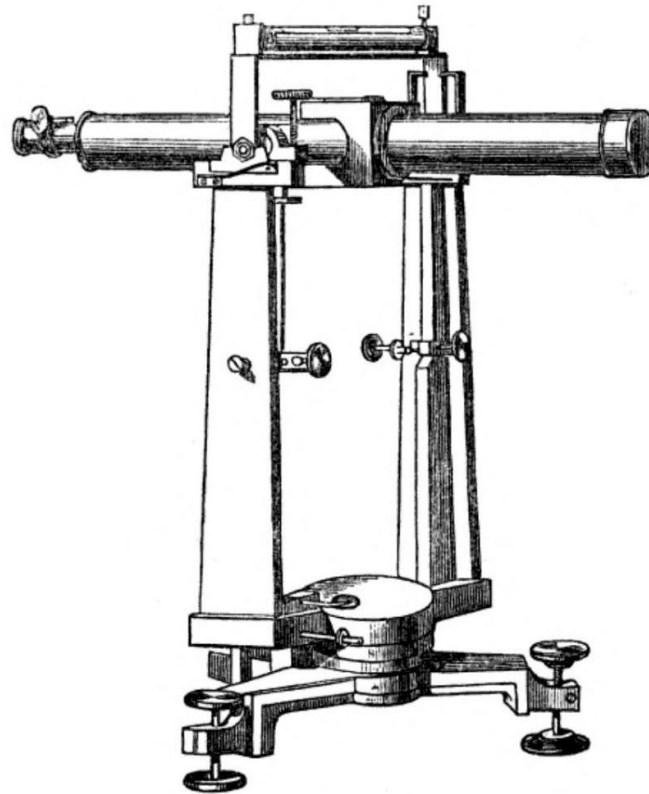


Abb. 25: übernommenes Mont Cenis Passageinstrument (Gelpke 1880b, S. 105)

(Dolezalek 1880, S. 320)¹⁰ ergänzt: «Die Richtungs-Bestimmung vom Observatorium aus in den Tunnel geschah (wie S. 185 des Jahrg. 1878 dies. Zeitschr. ausführlich beschrieben) mit Hilfe von [den grossen] Durchgangs-Instrumenten, die Verlängerung der Richtung im Tunnel anfänglich mittelst eines Theodoliten [dem 8zölligen Theodoliten von Kern, siehe Kap. 8.2.1], später mittelst eines zu diesem Zwecke angefertigten kleineren Durchgangs-Instrumentes mit Fernrohr von 34 mm Objektiv-Öffnung und 30maliger Vergrösserung.» (siehe Kap. 8.3.2)

4.2.3 Universalstativ, Lampenuntersätze, Lampen und Reflektoren

Im Abschnitt «**Universalstativ**» (S. 107-108) beschreibt Gelpke die Eigenkonstruktion einer Stativplatte (i.e. ein univariater Kreuzschlitten), in «**Lampenuntersätze**» (S. 108-109) die auf der Stativplatte zwangszentrierbare Grundplatte für die Lampen, in «**Lampen und Reflektoren**» (S. 109) die Petrollampen und auf ihnen aufsetzbare, messingene Hohlzylinder mit breitem Schlitz (Gelpke 1880a).

Dolezalek beschreibt diese Hilfsmittel ebenfalls und zeigt in (Dolezalek 1878a, Blatt 744) Konstruktionszeichnungen, Handskizzen enthält auch (Koppe 1880a, S. 44).

4.2.4 Nivellement

In «**Nivellement**» (S. 109-110) erläutert Gelpke die Höhenabsteckung: Am Arbeitstag nach der Einstellung der Vortriebsarbeiten nivellieren mehrere Equipen, bestehend aus einem Ingenieur mit 3 bis 4 Gehilfen, jeweils maximal 1'000 m Nivellierstrecke hin und zurück. Die Latte (nur eine pro Equipe!) wird meist auf die Schienen der Stollenbahn gestellt, die gemeinsam abgesprochenen Anfangs- und End-Nivellierpunkte durch Marken und Anschrift der Profilnummer versichert. In den Nischen der Widerlager des fertigen Tunnels werden Fixpunkte gesetzt und nivelliert. Von diesen wird in späteren Tunnelabsteckungen ausgegangen und nicht jedes Mal beim Tunnelportalpunkt begonnen.

In (Gelpke 1880b, S. 110–112) schildert Gelpke die «**Vorbereitung der Richtungsangabe**» minutiös. Dauert eine Lageabsteckung weniger als 24 Stunden, genügt eine Absteckungs-

¹⁰ 1875 bis Herbst 1877 Sektionsingenieur Göschenen der Gotthardbahn-Gesellschaft

equipe, sonst braucht es zwei mit einer Schichtzeit von jeweils ca. 12 Stunden. Eine Equipe besteht aus 18 bis 19 Personen (Abb. 31), nämlich:

- 2 Techniker beim Instrument mit 4 Mann Bedienung und 1 Morse-Telegrafist,
- 2 Techniker beim Lampensignal vorwärts mit 5 Mann Bedienung unter einem Aufseher und 1 Telegrafist,
- 1 tüchtiger Gehilfe bei der Lampe rückwärts,
- 1 Aufseher im Tunnelgebäude, wo eine Reserve an Inventargegenständen lagert und
- 1 gewandter Berggänger für die Beleuchtung der oberirdischen Tunnelmarken (siehe Kap. 4.2.1 und 5.2) während der zwei ersten Nächten.

Dann beschreibt Gelpke die logistischen, materiellen, zeitlichen und technischen Vorbereitungen, ebenso ein Konzept für die Versicherung der Tunnelhauptpunkte. Er beklagt schliesslich in diesem Abschnitt den Nachteil der beiden Visierstollen: sie haben ein zu kleindimensioniertes Lichtraumprofil und sind auf den Tunnel-Firststollen ausgerichtet, weshalb Hauptpunkte im Sohlstollen bis Tunnelmeter 1'200 mit einem die Durchsicht behindernden Holzgerüst versehen werden müssen, um das Instrument (Theodolit oder Lampe) zu stellen. Im Firststollen sammeln sich zudem trotz guter Ventilation Feuchtigkeit und Rauch. So sieht man vom Observatorium nur bis 1'300 in den Tunnel hinein, beim Mont-Cenis-Tunnel waren es 3'000 m. Eine weitere Quelle für systematische Abweichungen ist die Seitenrefraktion im Bereich von einer Strassenstützmauer in Göschenen zwischen Visierstollen und Portal, was zu Nacharbeit auch ausserhalb des Tunnels zwingt. Deshalb wird jeweils nahe beim Tunnelportal ein Portalpunkt bestimmt oder dauerhaft versichert (Abb. 8, Abb. 20 und Abb. 36).

4.2.5 Absteckungen im Allgemeinen

Im Abschnitt «**Art und Weise der jetzigen Absteckungen im Allgemeinen**» (Seite 112 – 116) schildert Gelpke das genaue, zwangszentrierte Vorgehen gut nachvollziehbar: die Einzelhandlungen der einzelnen Personen, die Bedienungsschritte an Instrument und Lampen, die telegraphierten Befehle und die Protokollführung. Sieht man vom Instrument nicht zum nächsten Hauptpunkt («fester Pfeiler»), wird ein «Zwischenpunkt (provisorischer Pfeiler aus Moëllons¹¹)» gebaut und darauf ein Hauptpunkt abgesteckt. Der Absteckungsablauf ist heute fast identisch, die einzige Abweichung besteht darin, dass die Hauptpunkte nicht mehr auf einer durchgehenden Gerade mit Lampen abgesteckt und eingemessen werden. Auf dem letzten Hauptpunkt einer Absteckung werden im Abstand von 100 bis 200 m Detailpunkte für die Bauunternehmung vorwärts abgesteckt; die Bauherrin ist vertraglich verpflichtet, alle zwei Monate und alle 200 m ab dem letzten Hauptpunkt einen Zwischenpunkt bei laufenden Bauarbeiten abzustecken. Die Abbildungen in (Dolezalek 1878b) zeigen den bautechnischen Ablauf des Vortriebs mit First- und Sohlstollen.

4.2.6 Vorgehen und Schwierigkeiten bei früheren Absteckungen

(S. 137-138) Die früheren Absteckungen waren noch zu wenig gut vorbereitet, in der Equipe instruiert und eingespielt: Die ersten Absteckungen erfolgten noch ohne Morse-Telegraphie und ohne Universalstative. Einfache, flackernde Lampen und eine unvollkommene Einsenkung von der sich immer im First befindlichen 40 cm Klammer ergaben Ungenauigkeiten. Die Zentrierung der Lampen war behelfsmässig, das Instrument musste anschliessend aufwändig neu zentriert und horizontiert werden. Fest gemauerte oder provisorische Pfeiler gab es im Firststollen keine, Instrument und Lampen kamen daher auf Holzgerüste, meist auf Stativen zu stehen, die unter der Klammer ungenügend zentriert wurden.

4.2.7 Absteckung vom Oktober 1875 und Errungenschaften

(S. 138-139) Im Auftrag des neuen Oberingenieurs Konrad Wilhelm Hellwag¹² führt Gelpke erstmals die Hauptabsteckungen in beiden Tunnelvortrieben durch und soll «endlich Methode in diese Arbeiten bringen». In Göschenen findet er die genannten Schwierigkeiten vor und kann in der anschliessenden Hauptabsteckung in Airolo dank persönlicher Inspektion und Vorbereitung einen Absteckungstag einsparen. Er entwirft und beantragt der Direktion

¹¹ Baustein aus Kalk oder Granit zum Auskleiden von Gewölbe und Wänden des Tunnels

¹² Bauleitender Oberingenieur der Gotthardbahn vom 7. April 1875 bis zur Entlassung 31. Dez. 1878

anschliessend eine andere Lampenkonstruktion und ein Universalstativ (siehe Kap. 4.2.3). Die Finanzkrise der Gotthardbahn-Gesellschaft bedingt anfangs 1876 die Auflösung seiner Abteilung und seine Entlassung auf 5. Juni 1876. Seine Konstruktionsanregungen werden später doch realisiert und nach dem Ausbruch des Sohlenstollens werden bleibende Steinpfeiler mit Klammern in der Sohle errichtet, was das Zentrieren erleichtert und beschleunigt und künftig die Absteckungen nicht mehr jedes Mal im Observatorium begonnen werden müssen.

4.2.8 Beurteilung der letzten Absteckung (Göschenen)

(S. 139-146) Vom Eisenbahndepartement (heute UVEK) wird er aufgefordert, im Oktober 1879 der letzten Richtungsverifikation in Göschenen kontrollierend beizuwohnen. Dabei konzentriert er sich:

1. auf die unveränderte Lage des Observatoriums und der Tunnelmarken
2. auf die Leistungsfähigkeit und den Zustand der angewandten Instrumente und Geräte
3. auf die Zulänglichkeit der vorbereitenden Arbeiten und
4. auf die Absteckung selbst, die Art ihrer Durchführung und ihr Ergebnis verglichen mit früheren Verifikationen.

Zu 1: In Göschenen angekommen erfährt O. Gelpke, dass C. Koppe diese Kontrolle drei Wochen vorher mit befriedigendem Ergebnis ausgeführt hat.

Zu 2: Mittlerweile wurden das kleine Passageinstrument angeschafft und das Universalstativ und die Lampen erstellt. Er würdigt auf S. 140-141 die Geräte, wohnt einer Instrumentenjustierung bei und formuliert Verbesserungspotenzial.

Zu 3: Er lobt das aufgebaute Qualitätsmanagement: Arbeitsinstruktion, Verzeichnis des mitzunehmenden Inventars, Absteckungsplan, Führung der Absteckung.

Zu 4: a. Nivellement

Beginnend am 13.10.1879 ca. 8 Uhr erfolgt das Nivellement in einem Arbeitstag, die Differenz zur vorgehenden Bestimmung beträgt bei Tm 7'380 2 mm.

b. Telegraphie

Zwischen Observatorium und Tm 6'000 wird eine feste Leitung verlegt, ab da wird eine Kabelrolle zwischen Beobachter und Lampe verwendet. Wegen dem nicht einwandfreien Zustand der mobilen Telegraphenapparate gestaltet sich die Kommunikation schwierig.

c. Absteckung

Gelpke erzählt das Vorgehen bis zum Absteckungsende am 16.10.1879 gegen 8 Uhr, schildert die Schwierigkeiten mit ihrer Behebung und listet die Differenz in den Hauptpunkten zu der drei Wochen vorher ausgeführten Absteckung auf: Die neu abgesteckte Achse verläuft in einem Abstand von 4 bis 5 mm von ihr. Zur vorletzten Absteckung beträgt die Differenz 7 bis 8 mm.

4.2.9 Letzte Verifikation in Airolo und Gesichtspunkte für diese letzte Absteckung

(S. 146) Vorbedingungen, Verhältnisse, Instrumente und Personal sind ab 10. Januar 1880 die gleichen wie auf Göschener Seite (Kap. 4.2.8). Gelpke wünschte für die letzte Hauptabsteckung genügend Zeit, um sicher und ruhig eine hohe Genauigkeit zu erzielen und vom Observatorium aus möglichst weit in den Tunnel hinein abstecken zu können. Letzteres ist leider nur bis Tm 600 m möglich, was trotz dreifacher Bestimmung zu vermeidbaren Unschärfen führt.

4.2.10 Nivellement und Längenmessung in Airolo

(S. 146-147) Drei Equipen nivellieren am 11.1.1880 ab Profil 4'221 bis Profil 6'400 je etwa 700 m hin und zurück, am 12.1. ab Profil 6'400 bis zur Stollenbrüst.

Eine weitere Equipe misst am 12.1. die Längen ab Profil 6'150 bis zur Stollenbrust (mit Messstangen und Stahlmessband¹³). Die Höhenabweichungen zur Vormessung im vergangenen Jahr betragen 10 mm im letzten Hauptfixpunkt (Tm 6'200) bzw. 37 mm im letzten Detailpflock (Tm 6'774.39) der Unternehmerversmessung.

4.2.11 Telegraphie in Airolo

(S. 147-148) Zwischen Observatorium und ca. Tm 6'300 wird auch hier eine feste Leitung mit zwei Telegraphenapparaten verlegt. Ab da kommen aufrollbare, mit Guttapercha isolierte Drähte und transportable Apparate zum Einsatz. Gelpke nennt mögliche Beeinträchtigungen und deren Vermeidung.

4.2.12 Vorbereitung der Absteckung in Airolo

(S. 148) Im fertigen Tunnel sind in den Profilen 600, 933, 1'267, 1'600, 1'933, 2'267, 2'600, 2'933, 3'267 und 3'900 Steinpfeiler in Nassmauerung gebaut worden. Bei 4'500, 5'100, 5'700 und 6'300 werden Pfeiler auf der Kalottenetage¹⁴ gesetzt. Die Absteckungspunkte bei Tm 6'800, 6'900 und 7'000 werden mit Universalstativen stationiert. Eine detailliert festgelegte schriftliche Instruktion weist «jedem Theilnehmer klar seinen besondern Wirkungskreis und die Art und Weise seiner Functionen an.»

4.2.13 Absteckung in Airolo

(S. 149-159) Da man in der Nacht vom 11./12.1. wegen Dunstes im Firststollen nicht vom Observatorium bis Profil 600 sehen kann, sucht die Equipe einen provisorischen Pfeilerstandort, der bei 500 m endlich gefunden wird. Doch liegt die oberirdische Tunnelmarke am 12.1. bis 22 Uhr im Nebel. Bei ihrem Sichtbarwerden bewirkt die in den Tunnel einströmende kalte Aussenluft dann wieder eine Kondensation der feuchten Tunnelluft, was die Sicht in den Tunnel hinein wieder vernebelt. Die daraufhin verstärkte Ventilation lässt die Sicht zum Pfeiler 600 endlich wieder zu und dieser kann am 13.1. um 4 Uhr mit einer Abweichung von 6.1 mm östlich der vorgehenden Absteckung bestimmt werden. Eine Sicht bis 933 m ist definitiv nicht möglich. Das kleine Passageinstrument wird also auf 600 m stationiert, doch verunmöglicht der neue Tag das Erkennen der Lampe im Observatorium, weshalb von diesem bei Tm 100 ein neuer provisorischer Pfeiler («Portalpunct») abgesteckt wird. Von diesem wird der Punkt bei Profil 600 ebenfalls abgesteckt, was eine östliche Abweichung von 11 mm zur direkten Absteckung ergibt. Ein Vergleich mit früheren Absteckungen bewegt den ebenfalls beigezogenen C. Koppe, den Pfeiler 600 selber nochmals ab provisorischem Pfeiler 100 abzustecken. Am 13.1. spätabends wird bis Tm 1'267 abgesteckt, am 14.1. bis Profil 3'267. Gelpke argumentiert, wie die Absteckung rascher hätte geschehen können und was er im ganzen Prozess besser gemacht hätte. Am 15.1. gegen 15:30 sind die letzten 4 Detailpunkte abgesteckt. (Gelpke 1880b, S. 155) zeigt das Absteckungsprotokoll. Im Profil 6'700 beträgt die Abweichung 12 mm zur Absteckung 1879. Gelpke schlägt dann vor (S.156), wie etwa 30 m vor dem Durchschlag mit kräftigen Magneten oder kräftigen Hammerschlägen auf die Stollenbrust der vermutliche Durchschlagsfehler bestimmt werden könnte, wie es bereits beim Ernst-August-Stollen im Harz erfolgte. Dies, falls man sich nach der berechneten Tunnellänge von 14'920 m nicht trifft.

Am 28.2.1880, 18:45 durchstösst ein 3 m langer Bohrmeissel die auf 10 m vermutete Scheidewand um einige Zentimeter.

Gelpke vermutet den Grund für die um ca. **7 m zu kurze Längenabweichung** in der Prüfung von Messstangen und Messband auf ein 'Normalmass' vor und nach der Operation der Längenmessung und in den Messabweichungen aus Temperaturunterschieden, Schwimmen und Ausbauchungen der Messstangen während der Messungen. Er hingegen hat seinen Basismessapparat vor und nach der Basismessung bei Andermatt auf der eidg. Eichstätte mit dem schweizerischen Urmeter verglichen und die erzielten Kalibrierwerte eingerechnet. Auch

¹³ gemäss (Koppe 1894, S. 40–41)

¹⁴ Die Kalotte ist das obere Drittel des Tunnelquerschnitts, siehe auch Abb. 14

habe C. Koppe die Zwischendistanz der Observatorien aus der Gelpke'schen Triangulation abgeleitet, ohne die Höhenreduktion Andermatt-Tunnelsohle bei Göschenen anzubringen.

Der eigentliche Durchschlag erfolgt am 29.2.1880, 11 Uhr bei Tm 7'744.7 von Göschenen aus gemessen, der Durchschlagsfehler wird am 6.3.1880 bestimmt, die spätere Literatur nennt eine Längsabweichung von **7.11 m** (1882 von der Bauleitung bestimmt) oder 7.6 m.

4.2.14 Nivellement im Durchschlagspunkt

(S. 159) Im Durchschlagspunkt liegt der Göschener Punkt (Tm 7'745) **5 cm** höher als der Airola seitige (Tm 7'147), genauer 7'167.7.

(Quelle: SBB Historic, VGB_GB_SBBGB02_049_09 und VGB_GB_SBBGB02_049_07).

4.2.15 Richtung (Durchschlagsfehler quer zur Tunnelachse)

(S. 160-163) Ein Versuch, nach dem Durchbruch, die Göschener Punkte 7'400 und 7'650 von Airolo her abzustecken, scheitert am 6.3.1880 wegen der schlechten Luftbeschaffenheit. Auch eine Absteckung von Airolo 7'000 nach Göschenen 7'745 (ca. 168 m Distanz) und von diesem zu 7'600 Göschenen misslingt. Umgekehrt geht es von Göschener Seite aus: von Lampe 7'600 über Instrument 7'680 zum Durchschlagspunkt 7'745 (vorher von Airolo her bestimmt) resultiert eine Ostabweichung des Airolo Ortes von **49 cm**. Gelpke und Koppe macht dies stutzig, eine weitere «ungenügende Erhebung» der 'Section Göschenen' [am 17.3. zusammen mit der Unternehmung zwischen Profil 7'600 Nord und 6'900 Süd] ergibt in Abwesenheit von Gelpke **33 cm** Abweichung, was einem einseitigen Winkelfehler von 9" entspricht; dies erachtet Gelpke als unmöglich. Er neigt daher zu anderen zufälligen Abweichungen, herrührend von:

- der Seitenrefraktion durch die beiden Visierstollen in Göschenen oder
- Wasserzuflüssen und Nebelbildungen auf Airolo Seite oder
- kurzen direkten Visuren vom Observatorium aus und
- von den zahlreichen Zwischenstationen und Übertragungen.

Gelpke fordert und begründet eine nochmalige Untersuchung zwischen den Profilen 6'400 Göschenen und 6'300 Airolo, was das Eisenbahndepartement auf Antrag des eidg. technischen Inspektorates ablehnt: «Es scheinen keine practischen Gründe vorhanden zu sein, um eine solche Reverification hierseits zu verlangen und einen bestimmten Zeitpunkt dafür vorzuschreiben. Solche Operationen sind bekanntlich sehr zeitraubend und kostspielig. In der letzten Zeit sind die Tunnelbauarbeiten durch Axenabsteckungen wiederholt in empfindlichem Masse aufgehalten worden...»(Technisches Inspectorat 1880).

Gelpke schliesst seinen Bericht mit einem Vergleich seiner mit Koppe's Triangulation, betreffend die Koordinaten der Observatorien und der daraus berechneten Azimute und Distanz zwischen Göschenen und Airolo.

5. Gotthardbahn-Tunnel, Grundlagennetz 1875 von Carl Koppe

Carl Koppe ist anfänglich Assistent von Gelpke und wird nach dessen Austritt am 5.6.1876 Hauptverantwortlicher für die Grundlagenvermessung. Er berichtet über seine Arbeiten 1875 und 1876 in einem dreiteiligen Bericht:

- Erster Teil: Disposition, Versicherung, Messung und Auswertung des oberirdischen Durchschlagsnetzes in (Koppe 1875).
- Zweiter Teil: Tunnelrichtungsmarken, astronomische Beobachtungen, Hauptabsteckung in (Koppe 1876a).
- Dritter Teil: Trigonometrische Höhenmessung zur Tunneltriangulation in (Koppe 1876c).

Seine vorzügliche Arbeit stösst international auf starkes Echo und wird in den Fachzeitschriften und in Vorträgen bis in die heutige Zeit immer wieder kritisch diskutiert und gewürdigt. Siehe dazu Kap. 7. Sie wird 1877 als Doktorarbeit von der Universität Zürich angenommen.

5.1 Disposition, Versicherung, Messung und Auswertung des oberirdischen Durchschlagsnetzes

Im Herbst 1872 erteilt Robert Gerwig, Oberingenieur der Gotthardbahn-Gesellschaft, Carl Koppe den Auftrag, die Achsbestimmung mit einer unabhängigen Triangulation zu wiederholen. Es scheint Koppe notwendig zu sein, wegen der schwierigen Topografie die Ausgleichsrechnung anzuwenden, wozu er sich in drei Monaten Urlaub einarbeiten darf [nach (Koppe 1912, S. 25) dauerte der Urlaub von 1. Januar bis 1. Mai 1873 und diente neben dem Studium der Ausgleichsrechnung bei G.A. Erman an der Universität Berlin auch der Aneignung praktischer Fertigkeiten in Übungen bei W.J. Foerster in astronomischen Beobachtungen und im Gebrauch von Instrumenten].

Nach der Rückkehr nach Airolo bricht er sich am 4. Mai 1873 auf einer Erkundungstour beim Sturz in eine Schneespalte unterhalb des Val Tremola das Bein – mit der Folge eines lebenslang steifen Knies und einer Verschiebung der Feldarbeiten auf die Zeit ab Juni 1874.

In (Koppe 1875, S. 377–379) beschreibt er die Materialien und den Bau der Signale (Messpfeiler, Abb. 27) seines Netzes (Abb. 23) bis Mitte Juli 1874 detailliert und leicht verständlich.

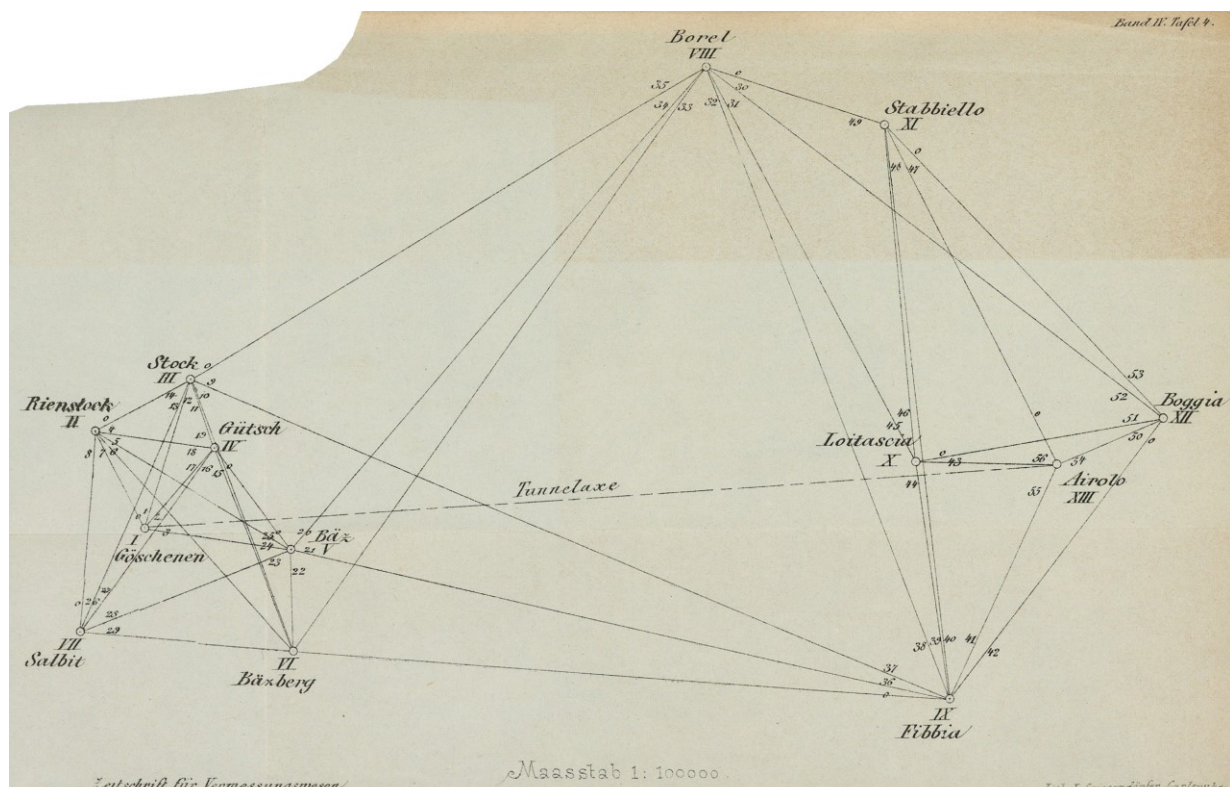


Abb. 26: Koppe's Triangulationsnetz (Quelle: ETH-Bibliothek, Rara und Karten)



Abb. 27: Messpfeiler Gütsch von Koppe (D. Mauro, 2007 in www.alpentunnel.de)

Weitere Punkte dokumentiert D. Mauro in http://www.alpentunnel.de/10_Epochial/30_Gotthard/20_Vermessung/40_2007/10_Uebersicht/frame_epochial_Gotthard_vermessung2007.htm (Zugriff 21.12.2023).

Mit einem zu diesem Zwecke angefertigten 8-Zoll Theodoliten von Kern in Aarau (mit 30-fache Vergrößerung, 4 Nonien, einer direkten 10" Ablesung [30.9^{cc}]; Abb. 28 und Kap. 8.2.1) misst Koppe jeden Winkel zehnmal in beiden Fernrohrlagen und prognostiziert daraus und aufgrund von Versuchsmessungen eine Standardabweichung von etwas grösser als 1" [3.1^{cc}] (Koppe 1875, S. 379–380) und (Koppe 1894, S. 26).



Abb. 28: Theodolit Kern aus dem Jahre 1874 (swisstopo 2012)

Bei den Messungen erleidet und schildert er in (Koppe 1875) und (Koppe 1912) gleiche ungünstige Witterungsverhältnisse wie Gelpke (Nebel, Schnee, heftige Winde, Gewitter mit «electrisshen» Entladungen des Theodoliten auf dem Piz Borel) was bis zu 14 Besuchen eines Signales führen konnte.

Auf der Station Bätzberg kann er aus Zeitgründen keine Winkel messen, als Ersatz dienen «eine hinreichende Anzahl von Diagonalen. ... Im übrigen sind alle überhaupt möglichen Verbindungen der Signale gemessen worden und jede einzelne vierzig mal». Auf den S. 382 bis 387 seines Berichtes listet er alle auf eine Richtung nach einer beliebigen Station reduzierten Einzelmessungen und ihre Mittelwerte tabellarisch auf, zusätzlich seine Messungen auf Gelpke's Stationen Loitasca und Boggia (je 4 Messwerte und ihre Mittelwerte auf 7 Signale des Koppe Netzes).

Ursprünglich hatte er die Absicht, die Orientierung und den Massstab seines Grundlagennetzes aus einem Anschluss an die Gradmessungsseite Six Madun – Basodino abzuleiten. Des ungünstigen Wetters wegen verzichtet er darauf, berechnet je einen Rückwärtseinschnitt aus seinen Messungen auf Loitasca und Boggia, leitet aus ihren Koordinaten den Massstab seines eigenen Netzes ab und berechnet dann den sphärischen Exzess seiner Netzdreiecke.

Auf den S. 387 bis 395 folgt eine beeindruckende Darstellung der Fehlerfortpflanzung und Fehlerrechnung der Koordinatenberechnung der beiden Punkte (mit Logarithmen!), ihrer Zwischendistanz 4'416.816 m und deren Standardabweichung 0.054 m (Koppe 1876b, S. 90).

Anschliessend (S. 395-418) begründet und stellt er den Ablauf seiner bedingten Ausgleichung des ganzen Netzes mit 34 Bedingungsgleichungen, nämlich 19 Winkel- und 15 Seitengleichungen, ebenso perfekt dar. Als Rechenhilfsmittel dienen zu dieser Zeit nur ein aufmerksamer Kopf, Papier, Schreibfeder, Rechenschieber und Logarithmentafeln sowie Sternkataloge.

F.R. Helmert merkt auf S. 405 kritisch an, dass Koppe nicht unabhängige Beobachtungen eingeführt habe, was «noch nicht die allergünstigsten Werthe der Endresultate [liefert], doch dürfte kaum eine so erhebliche Differenz entstanden sein, dass sie für die Praxis von Bedeutung wäre.»

Die so berechnete Triangulation bezweckt, «die Winkel zu finden, welche die Richtungen auf den Stationen Airolo und Göschenen nach den von dort aus sichtbaren Signalen mit der Verbindungslinie dieser beiden Punkte bilden, ...» (S. 418) Auf den S. 418 bis 425 führt Koppe Kontrollrechnungen aus, um Rechenfehler zu erkennen und vermeiden.

Die Genauigkeit der Resultate leitet er auf den S. 426 bis 441 aus heutiger Sicht recht umständlich her zu:

- wahrscheinlicher Fehler¹⁵ einer Richtungsangabe $r = 0''.7137$ [2.2^{cc}]
- wahrscheinlicher Winkelfehler $r = 1''.035$ [3.2^{cc}]
- wahrscheinlicher Fehler des Tunnelazimuts in Airolo $r_A = 0''.809$ [2.5^{cc}]
- wahrscheinlicher Fehler des Tunnelazimuts in Göschenen $r_G = 0''.683$ [2.1^{cc}]

Steckte man den Tunnel von beiden Seiten fehlerfrei ab, ergäbe sich im Durchschlagspunkt

- ein wahrscheinlicher Fehler von $r = 1''.059$ [3.3^{cc}] oder bei gleichen Vortriebslängen von ca. 8 km eine seitliche Abweichung von 0.040 Metern. F.R. Helmert bemängelt hier (S. 441), dass « r_A und r_G von denselben Beobachtungsfehlern abhängen und demnach nicht unabhängig von einander sind».

Abschliessend macht sich Koppe im ersten Teil Gedanken zur Unsicherheit und Ausgestaltung der Richtungsübertragung im Tunnel¹⁶, zur Fundation der Observatorien und zur Bestimmung ihrer allfälligen Verschiebungen sowie zur Kompensation der Seitenrefraktion in den beiden sequentiellen Visierstollen in Göschenen.

Später diskutiert Helmert in (Helmert 1876, S. 146–153) das statistische Verhalten von zufälligen und wahren Fehlern sowie die Störeinflüsse von «constanten und systematischen Fehlereinflüssen (nicht unerhebliche Theilungsfehler, Lateralrefraction, persönliche Auffassung und dergleichen)» und deren Auswirkung auf die wahren Fehler der Beobachtungen noch ausführlicher. Er schliesst auf S. 153: «Der wahre Fehler eines Winkels in beiden Lagen (oder für eine einmalige Richtungsbeobachtung) ist daher $\pm 2.6''$ [8.1^{cc}] und der entsprechende *mittlere* Fehler [Standardabweichung] gleich $4.0''$ [12.4^{cc}].»

5.2 Tunnelrichtungsmarken, astronomische Beobachtungen, Hauptabsteckung

Im Frühjahr 1875 entwirft und versichert Koppe in Göschenen und Airolo je eine feste Marke für die Angabe der Tunnelrichtung und misst auf den beiden Observatorien mit dem oben erwähnten 8-Zoll Theodoliten von Kern ihre Winkel zu den benachbarten vier Triangulationssignalen je 60-mal ein. Die Marken werden rückseitig des Observatoriums in die Vertikalebene des geplanten Tunnels in eine Felswand gesetzt und zu einer Verwendung tags und nachts eingerichtet (siehe Kap. 4.2.1). Sie sind ca. 1'000 m (Airolo) bzw. 1'165 m (Göschenen) vom Observatorium entfernt an einer Felswand angebracht. Im Sommer 1875 misst er die je vier Winkel mit einem 15-Zoll Universal-Instrument von Ertel¹⁷ (Eigentümerin: Schweizerische Geodätische Kommission, Abb. 29) nach und schliesst seine Triangulation in den Observatorien an die Triangulation von Gelpke an.

¹⁵ Beziehung zwischen wahrscheinlichem Fehler r und mittlerem Fehler m : $r = 0.674486 \cdot m$

¹⁶ Zu dieser Zeit werden Tunnel streng gerade mittels Alignement abgesteckt, d.h. die Polygonwinkel auf den Tunnel-Hauptpunkten sind 200.0000 gon. Zur Situation in Airolo siehe Abb. 36.

¹⁷ hergestellt 1863 in der Firma Ertel & Sohn in München

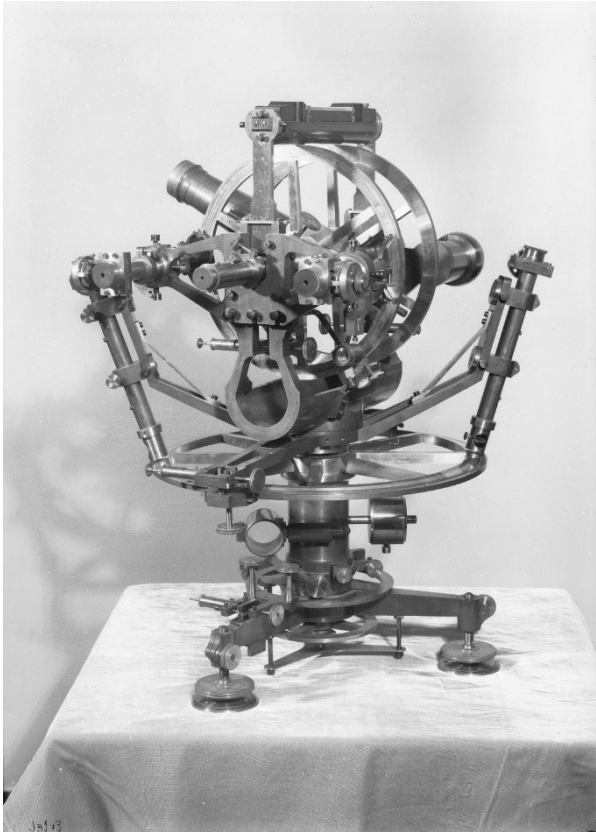


Abb. 29: Ertel Universal-Instrument der S.G.K, 1863 hergestellt (swisstopo 1948, 2012)

«Übungshalber» rechnet er das Triangulationsnetz von Gelpke mit einer bedingten Ausgleichung (16 Winkel- und 6 Seiten-Bedingungsgleichungen) nach. Er erhält daraus einen wahrscheinlichen Fehler

- eines viermal repetierten Winkels von $2''.5$ [7.8^{cc}],
- eines 24-mal repetierten Winkels von $1''.02$ [3.2^{cc}] und
- der Tunnelrichtung in Airolo von $1''.5$ [4.7^{cc}].

Weiter steckt er im Juli 1875 die oberirdische Tunnelrichtung auf dem Chastelhorn zur Kontrolle ab, indem er die Tunnelrichtung vom Observatorium Airolo aus über vier Zwischenstationen auf den nördlichen Chastelhorngrat überträgt (mittels Alignement). Auf der andern Seite «habe ich die Linie Tunnelmarke-Observatorium-Göschenen bis zum Meggelenstock hinauf verlängert, dort stationirt, das Fernrohr auf die Tunnelmarke gerichtet und bis zum [nördlicher Grat des] Castelhorn erhöht. Die auf letzterem aufgestellte Signalstange erschien unmittelbar neben dem Verticalfaden, in Wirklichkeit wird dieselbe etwa [geschätzte] 10 – 15 Centimeter links, d.i. östlich von ihm gewesen sein; diesem Betrage entspricht eine Winkeldifferenz von $3''$ [9.3^{cc}], welche weit innerhalb der Beobachtungsfehler liegt.»

In der Zeit vom 14. August bis 9. September 1875 misst er unter dauernder, sorgfältig beachteter Kalibrierung der verwendeten Instrumente (15-Zoll Ertel Universal-Instrument der SGK, Marinechronometer der Sternwarte Genf) die Polhöhen der Observatorien (d.h. ihre astronomische Breite) und die astronomischen Azimute der Tunnelrichtungen¹⁸. Die astronomischen Bestimmungen stimmen sehr gut mit den geodätischen überein und die Lotabweichung von $9.4''$ [29.0^{cc}] durch die Massenanziehung des Gotthardgebirges qualifiziert er in N-S Richtung als verhältnismässig sehr gering, senkrecht zum Meridian als noch viel geringer.

Anschliessend blickt er kurz vergleichend auf die Vermessungs- und Absteckungsarbeiten der ähnlichen Bauwerke Ernst-August-Stollen (zwischen 1851 und 1864 entstandener Wasserlösungsstollen des Oberharzer Bergbaus, 10'450 m lang) und Mont-Cenis-Tunnel (1857 bis 1871 erbaut, 12'819.6 m lang) zurück und bespricht in (Koppe 1876a, S. 381–382) das

¹⁸ Details zu den Messungen siehe (Koppe 1894, S. 28–30)

Vorgehen bei den Hauptabsteckungen alle 6 bis 9 Monate: Eine Hauptabsteckung dauert mindestens zwei Tage und zwei Nächte, kommuniziert wird elektrisch mittels Morse-Apparaten. «So weit, wie es irgend möglich ist, werden die Richtungspunkte im Tunnel vom Observatorium aus bestimmt, d.h. das Fernrohr des dort aufgestellten Passageinstruments¹⁹ [Abb. 30] [wird] bei genau horizontaler Achse auf die [oben beschriebene Tunnelrichtungs-] Marke gerichtet, durch Kippen auf das Mundloch des Tunnels geführt und eine auf dem zu bestimmenden Punkte aufgestellte Petroleumlampe so lange nach rechts oder links verschoben, bis ihre Flamme genau mit der Mitte des Fadenkreuzes zusammenfällt. Diese Stellung der Lampe wird markiert und dann die gleiche Operation, Einstellen des Fernrohrs auf die Marke und Einrichten der Lampe 10 bis 15 Mal wiederholt bis das Mittel aus allen Einweisungen eine hinreichende Genauigkeit besitzt; dieses Mittel wird dann an eine im Scheitel eingelassene, starke, 40 cm lange Eisenklammer hinaufgesenkt und dort durch Einfeilen einer Marke festgelegt. Ist der letzte, mögliche Punkt vom Observatorium aus bestimmt, so wird dort stationiert und mit einem Theodoliten [Passageinstrument, Abb. 30, Abb. 43 oder Abb. 44] die Achse in gleicher Weise verlängert. Mit jeder neuen Station nimmt selbstredend die Genauigkeit der Verlängerung ab, man wird daher stets bemüht sein, die Entfernungen so gross wie möglich zu nehmen. Häufige und rasche Nebelbildung im Stollen beschränkt jedoch die Sichtbarkeit meist auf 300 bis 400 Meter.» Eine Detailabsteckung (d.h. Unternehmerversmessung) wird während des Bauvortriebs von 100 zu 100 Meter wiederholt.



Abb. 30: grosses Passageinstrument von C. Koppe (Sammlung Kern im Stadtmuseum Aarau)

5.3 Trigonometrische Höhenmessung zur Tunneltriangulation

Sie bezweckt die Bestimmung der Meereshöhe der einzelnen Signale, um später Zwischenpunkte in der Tunnelrichtung mittels Rückwärtseinschneidens in Lage sowie barometrischer Interpolation in Höhe zu bestimmen. Da eine gegenseitige Zenitwinkelmessung nicht gleichzeitig möglich ist, misst Koppe sie mit dem Kern Repetitionstheodolit «zu nahe denselben Tageszeiten [in der Regel die Mittagsstunden] und alle gleich oft, nämlich 6 – 8 mal». Es

¹⁹ ein Messinstrument der Astrogeodäsie oder Tunnelvermessung, das mit seiner horizontalen Achse beliebige Vertikalkreise definiert

ergeben sich 27 Höhenunterschiede zwischen den 11 in Betracht kommenden Dreieckspunkten, die Redundanz ist 18. Der mittlere Fehler der Höhenbestimmungen beträgt nur einige Zentimeter. Die Höhendifferenz der Signale Airolo und Göschenen ist durch das schweizerische Präzisionsnivellement genau bestimmt. Koppe beschreibt in (Koppe 1876c, S. 130–135) den Ables-, Protokollierungs- und Berechnungsprozess genau. Die grobe Differenz zwischen einfachem trigonometrischem und geometrischem Nivellement beträgt 8 cm. Die Gewichte setzt er umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung an. Die anschließende bedingte Ausgleichung führt zu den definitiven Höhen der Signale (S. 139). Das 'schlechteste' Signal auf dem Piz Borel hat einen mittleren Fehler von 0.07 m, alle andern sind genauer. In (Koppe 1876c, S. 141 – 145) bestimmt er die gemittelten Refraktionskoeffizienten der betrachteten 8 Höhendifferenzen zu 0.084 bis 0.179, und daraus ein Gesamtmitel von $k = 0.1220$ für eine Meereshöhe von 2500 Metern. Er schliesst seinen Bericht mit einer vergleichenden Würdigung mit anderen europäischen Werten (Pyrenäen, Russland, Kaukasus).

Zu Koppe's Höhenausgleichung folgert Helmert in (Helmert 1876, S. 153–155), dass ein anderer, evtl. besserer Gewichtsansatz $p = \left(\frac{100}{(\text{Distanz in km})^2} \right)^2$ gegenüber Koppes

$$p = \frac{100}{(\text{Distanz in km})^2}$$

dazu führt, dass die verwendeten Refraktionskoeffizienten über die

Messungsverbesserungen dominieren (Helmert 1876, S. 146–153), somit letztere von den systematischen Refraktionskoeffizienten befreit würden.

5.4 Tunnelabsteckungen

In (Koppe 1880a) und (Koppe 1894, S. 32–46) berichtet Koppe anschaulich und genau, wie die Achsabsteckungen ausgeführt werden.

1876 werden in einigen 100 Metern von den Observatorien entfernt auch zwei unterirdische Versicherungssteine in die Tunnelachse gesetzt. Im Sommer 1879 prüft er mithilfe der Tunnelmarken die Kollinearität der Observatoriumspfeiler mit den Versicherungssteinen und den Tunnelmarken. Dann wird die Tunnelrichtung mit dem grossen Passageinstrument auf dem Observatoriumspfeiler so weit wie möglich vierfach in I. und II. Lage in den Tunnel übertragen, wo eine Lampe in die Achse geschoben wird. Diesen Vorgang nennt Koppe eine «Serie», sie wird von einem anderen Beobachter wiederholt. Bei kleiner Differenz wird das Mittel der beiden Serien markiert (auf Brettern unter dem Lampenstativ bzw. an der in der First befestigten, 40 cm lange Eisenklammer), sonst werden weitere Serien ausgeführt. Als Lichtquelle werden anfänglich eine Magnesiumlampe, später Kerzen und Petroleumlichter verwendet. Man verständigt sich anfänglich mit Bewegung von Lichtern und farbigen Lampen, später mit Hornsignalen, Pfeifen usw., ab 1875 telegrafisch mittels Morseapparaten bei Instrument und Lampe. Dann wird das Instrument auf dem markierten Punkt aufwändig zentriert und der nächste Achspunkt auf gleiche Weise abgesteckt. Das Personal führt die ganze Absteckung samt Präzisionsnivellement von Beginn bis Ende ohne Pausen durch, anfänglich dauert es 15 – 20 Stunden, gelegentlich schlafen Arbeiter stehend ein oder im Tunnel bildet sich Nebel. Der Sektionsingenieur hat eine schriftliche Instruktion verfasst mit Chargenzuweisung und Pflichtenheften, alle Aktionen werden genau protokolliert und der Zentralbauleitung zugeleitet. Koppe zitiert zwei Protokolle wörtlich:

- 13. - 16.10.1879: Nordseite bis Tunnelmeter 7'380, 8 Instrumenten-Stationenpunkte, Visurlängen 700-1'050 m, 19 Personen (Abb. 31), zusätzlich eine grössere Anzahl von Tunnelarbeitern für die Transporte der Ausrüstung.
- 11. - 15.01.1880: Südseite bis Tunnelmeter 7'000, 17 Instrumenten-Stationenpunkte, Visurlängen 333-667 m (wegen höherer Luftfeuchtigkeit), Personal wie auf Göschener Seite.

Zwei Equipen lösen sich alle 12 Stunden ab, bei Instrument und Lampen arbeiten je zwei Operateure zusammen, die sich gegenseitig ergänzen und während der Beobachtungen

nicht um den Pfeiler oder das Stativ herumgehen. Bald nach 1875 gibt es auch bessere Universalstative und zentrierbare Petroleumlampen, hergestellt von der Firma Hottinger & Co. in Zürich, siehe (Koppe 1880a, S. 44) und (Dolezalek 1878a, S. 189–192 und Blatt 744) sowie ein kleines Durchschlagsinstrument (Abb. 43, Abb. 44) für den ausschliesslichen Gebrauch im Tunnel, vorher werden in ihm Theodolite verwendet. Bei den letzten Absteckungen werden anstelle der Holzstative unmittelbar vor der Absteckung auf den Hauptpunkten provisorische Steinpfeiler aus übereinander gelegten Gewölbesteinen errichtet (Koppe 1894, S. 42). Gearbeitet wird wie heute zwangszentriert.



Abb. 31: Personal der letzten Hauptabsteckung aus (Koppe 1894, S. 45), es bestand aus 10 Ingenieuren und Geometern, 4 Telegraphisten und 5 ständigen Messgehülfen

5.5 Aus der Biografie von Anna Koppe

In ihrer Biografie über Carl Koppe (*1844 - †1910) präzisiert seine Gattin Anna unter anderem Folgendes (Koppe 1912, S. 47–53): Bei den Berechnungen seiner Triangulationen stellt Koppe eine bedeutende Abweichung zu den Resultaten von Gelpke fest, weshalb er am Vorweihnachtstag 1874 auf der Alpe di Pesciüm nachmisst. Aus den Ergebnissen erkennt er seine ursprünglichen Messwerte als richtig.

Im Sommer 1875 folgt die oberirdische Absteckung der Tunnelachse und die astronomische Kontrollbeobachtung, die er im Winter 1875 bis 1876 auswertet.

Solange er bei der Gotthardbahn-Gesellschaft angestellt ist, misst er auch die Hauptabsteckungen im Tunnelinnern, eine der letzten hält ihn ununterbrochen 40 Stunden in der hohen Temperatur des Tunnels am Instrument fest.

Im Sommer 1876 verlässt er aus gesundheitlichen Gründen die Gotthardbahn-Gesellschaft und siedelt nach Zürich über, wo er sich ab Ende August in der Firma Hottinger & Koppe zwei Jahre an der Konstruktion von u.a. Aneroid-Barometern beteiligt und ab 1878 für die schweizerische geodätische Kommission Gradmessungen ausführt und ausgleicht.

«Zwischen allen diesen Arbeiten machte Koppe im Jahre 1879 die Kontrolle für die sieben Kehrtunnel der Gotthardbahn, diesseits und jenseits des Gotthards, kontrollierte die unveränderte Lage der Achse des Gotthardtunnels, nahm teil an den zwei letzten Hauptabsteckungen im Tunnel selbst und an dem am 29. Februar erfolgten Durchschlag 1880.» (Koppe 1912, S. 53–54)

Ab 1881 wirkt er bis zu seiner Emeritierung 1907 als Professor für Geodäsie und Astronomie an der TU Braunschweig.

6. Gotthardbahn Kehrtunnel

Während die Arbeiten im Gotthard-Haupttunnel voranschreiten, werden im Zeitraum von 1878 bis 1882 sieben zu dieser Zeit epochemachende Kreiskehrtunnel gebaut. Die Absteckungen orientieren sich an den vorangegangenen Triangulationen, deren Dreiecksnetze nach Bedarf verdichtet und durch Polygonzüge an die unmittelbare Topografie angepasst werden. Die Höhen führt man durch Nivellements heran (Knittel 2008, S. 49).

Die Absteckungen im Tunnel erfolgen mit folgender Methode: der Kehrtunnel stellt geometrisch einen Kreisbogen dar mit bekannten Radius und Tangenten. Im Vortriebsstollen von ca. 3 m Breite/Höhe wird eine Sehne dieses Kreisbogens von konstanter Länge – ca. 25 bis 30 m – mit Hilfe des Tangenten-Sehnenwinkels abgesteckt. Die Enden dieser Sehnen sind Kurvenpunkte, die als Ausgangspunkte für die weitere Absteckung dienen. Diese Methode beruht auf dem einfachen geometrischen Satz, dass der Winkel, den die Tangente an einem Bogen im Berührungspunkt mit einer Sehne bildet, gleich ist dem halben Zentriwinkel über dieser Sehne. Das Gotthardbahn-Archiv enthält alle Berechnungen der Absteckungspunkte und Absteckungselemente (bei SBB Historic, PL120_00007_02, PL120_00014, VGB_GB_SBBGB02_048_05 und VGB_GB_SBBGB02_049_01).

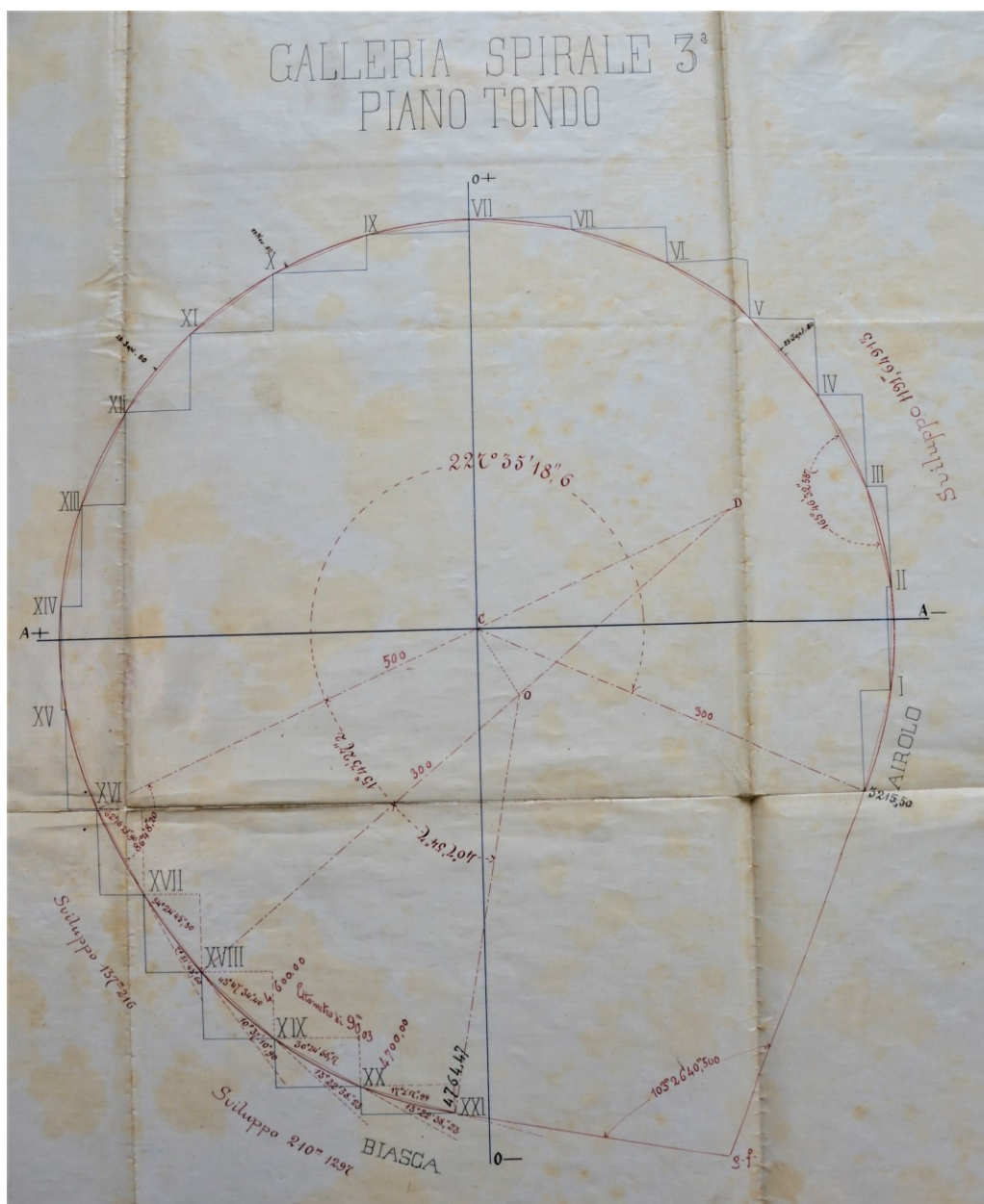


Abb. 32: Absteckungsplan Kehrtunnel Pianotondo, 1878 (SBB Historic, PL_120_00014)

Zwischen Erstfeld und Giornico folgen nach drei Kehrtunneln (Pfaffensprung, Wattinger, Leggistein) und dem Naxbergtunnel auf der Nordseite des Alpen Hauptkamms der «grosse Tunnel» und dann auf der Südseite vier Kehrtunnel bei Dazio Grande (Freggio und Prato) und bei Biaschina (Pianotondo und Travi). Die Sprache der Originalpublikationen verwendet die Begriffe «Kehrtunnel» und «Spiraltunnel». Die kunstvolle Linienführung findet international grosse Beachtung, die Gotthardbahn-Gesellschaft präsentiert sie an einem Ausstellungsstand der Weltausstellung 1893 in Chicago (Schweizerische Bauzeitung, Band XXI, Nr. 9 vom 4.3.1893, S. 58).

Sie werden nachfolgend in der Reihenfolge des Durchschlagsdatums charakterisiert.

([S.N.] 1880, S. 154–156) Der **Leggisteintunnel** oberhalb Wassen (Baubeginn August 1875, Länge 1'088.4 m, Steigung 22‰, mit 866.9 m langer Kreiskurve von 300 m Radius und anschliessend 221.5 m langer Gerade) wird als erster Kehrtunnel am **15.12.1880** durchschlagen. Das obere Tunnelportal liegt in einer senkrechten Felswand links der Meienreuss Schlucht. Der Durchschlagsfehler beträgt längs 50 mm, quer 28 mm, in der Höhe keine Angabe. «Dieses genaue Resultat verdient um so grössere Anerkennung, als die Bestimmung der Absteckungselemente deshalb eine etwas complicirtere war, weil nur eine Tangente an die Tunnelcurve auf dem Terrain wirklich abgesteckt werden, konnte. Von dem südlichen Portal musste nämlich durch einen Querstollen von etwa 50 m Länge bis in die Tunnelaxe vorgerückt und erst von dort aus konnte der eigentliche Tunnel, welcher in einer Curve von 300 m Radius liegt, in Angriff genommen werden.»

(Koppe 1880c): Der 1880 zusätzlich erschienene Separatdruck des zweiteiligen Zeitschriftenartikels von (Koppe 1880b) enthält auf der letzten Seite eine Skizze 1:4000 des **Wattinger Kehrtunnels** unterhalb Wassen. Sie ist auch in den Planakten bei SBB Historic zu finden. Der Tunnel ist 1'084 m lang, sein Kurvenradius ist 300 m und er steigt mit 22‰. Sein Durchschlag erfolgt am **31.1.1881**, der Durchschlagsfehler beträgt längs 70 mm, quer 12 mm und in der Höhe 6 mm ([S.N.] 1881b).

([S.N.] 1881c) berichtet über den Richtstollen-Durchschlag des **Pfaffensprung-Kehrtunnels** am **7.4.1881**. Er besteht aus einem vierfachen Korbbogen von 280 m, 500 m, 300 m und 280 m Radius, ist 1'476 m lang und steigt 23‰ (Abb. 33). Der Artikel beschreibt auch die Geologie, die Betriebseinrichtungen für die Maschinenbohrung, die Frölich'sche und Brandt'sche Bohrmaschinen mit Bedienmannschaft, die Bauweise und den Baufortschritt ab Beginn Nov. 1878. Der Durchschlagsfehler beträgt längs 140 mm, quer 126 mm und in der Höhe 15 mm.

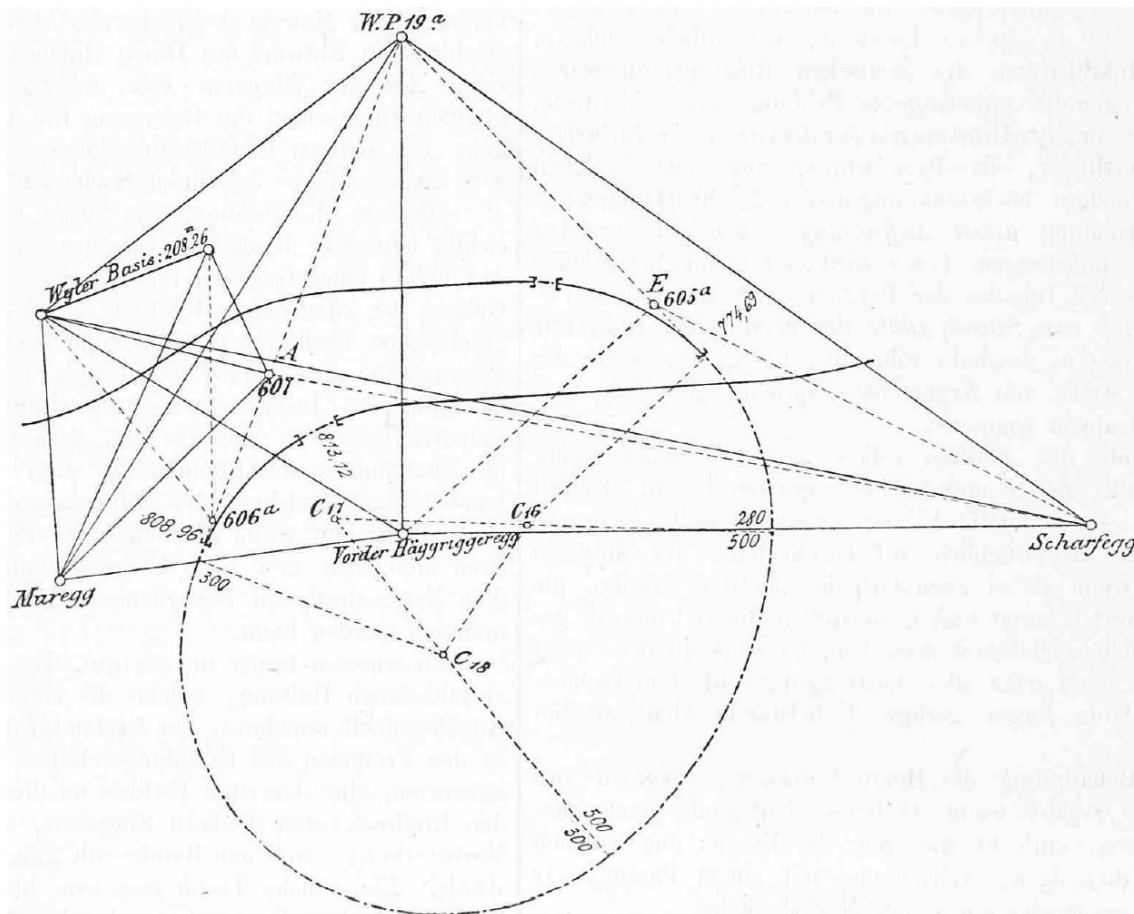


Abb. 33: Pfaffensprung, Tunnelachse und Geometrie ([S.N.] 1881c, S. 98)

([S.N.] 1881a) charakterisiert den Bau der beiden Kehrtunnel zwischen Dazio Grande und Polmengo/Faido:

- **Freggio Spiraltunnel:** 1'563.5 m lang, 23‰ Gefälle, Durchschlag **28.4.1881**, Durchschlagsfehler 23 mm längs, 106 mm quer, 26 mm in Höhe
- **Prato Spiraltunnel:** 1'557 m lang, 23‰ Gefälle, Durchschlag **15.5.1881**, Durchschlagsfehler 16 mm längs, 14 mm quer, 5 mm in Höhe.

«Die ausserordentlich geringen Differenzen im Prato sind wohl zum Theil dem Umstand zuzuschreiben, dass die Strosse [siehe Abb. 14] dem [Richt-]Stollen stets auf dem Fusse folgte und daher die Aussteckungsarbeiten bequem vorgenommen werden konnten ; auch war der Tunnel trocken und es gestattete die Abwesenheit von störenden Reflexen ein sicheres Ablesen, bezw. Visiren, während im Freggio der 500 m lange, niedere, wasserreiche Stollen die Arbeit sehr erschwerte.» Der Artikel beschreibt zudem den Bauablauf ausführlich, der teils mit Hand-, teils mit Maschinenbohrung ausgeführt wird.

(Koppe 1880b, S. 34–36) ergänzt: Die Zufahrtsrampen zum Gotthardtunnel enthalten drei Kehrtunnel auf der Nordseite und vier auf der Südseite mit einer Länge zwischen 1 und 2 km. Die Sektionsgeometer Dress (Nordseite) und Robert Mächler (Südseite) haben die Absteckungselemente bestimmt. Jeder von ihnen misst zur genauen Längenbestimmung zwei Basislinien mit 5 m Latten, diese werden als Normalmass betrachtet und auf einer festgelegten Kalibrierstrecke stetig überwacht. Die beiden Geometer stecken im Herbst 1879 / Frühling 1880, teilweise von Koppe unterstützt, die Elemente ein zweites Mal ab und kontrollieren die Längenbestimmung. Die Tangentenpunkte A und E jedes Tunnels werden in ein kleines, streng bedingt ausgeglichenes Triangulationsnetz eingebunden. Koppe legt den zur Kontrolle der Absteckungselemente für die Kehrtunnel angewandte Berechnungsablauf für den nördlichsten (Pfaffensprung, S. 36-37, 40) und den südlichsten Kehrtunnel (Travi, S. 40-43) beispielhaft mit den gemessenen Messwerten und meisterhaft dar. Beim Pfaffensprung

Kehrtunnel betragen die Genauigkeiten: gemessener Winkel 6.2", x oder y Koordinate der Tangentenpunkte E und A zwischen 3 und 5 mm.

«Zu den Winkelmessungen auf der Nordseite diente ein siebenzölliger Theodolith mit zwei Nonien, die zehn Secunden gaben; die Winkel wurden mit ihm zehn oder zwölf Mal repetirt, halb in der einen halb in der andern Lage des Fernrohrs. Auf der Südseite wurde ein achtzölliger Theodolith mit vier Nonien benutzt und für die Kehrtunnel in der Biaschina nach Richtungen beobachtet. Bei Dazio grande kehrten wir zum Repetitionsverfahren zurück, weil dasselbe bei schwierigeren Terrainverhältnissen oft noch eine Winkelmessung auf Punkten gestattet, auf welchen ein Beobachten nach Richtungen unmöglich sein würde. Das Tessin-Thal ist dort so tief eingeschnitten, die Felswände fallen so schroff und steil ab, dass die Dreieckspunkte bisweilen unmittelbar an den Rand des Absturzes gelegt werden mussten, um von unten gesehen werden zu können. In diesen Fällen, wie namentlich auch an steilen Berglehnen war, ein Herumgehen um das Instrument nicht mehr möglich. Durch ein solches Herumgehen wird zudem die unveränderte Stellung des Instrumentes gefährdet, wenn der Untergrund nicht sehr solid ist, während es beim Repetiren der Winkel meist immer möglich ist, dieselbe Stellung für die Dauer der Messung beizubehalten. Es ist dies ein wesentlicher Vortheil der Repetitionsmethode bei Messungen, wo in Folge der geringen Entfernungen die constanten Fehler derselben nicht in Betracht kommen. Ist hingegen die Bedingung der soliden Aufstellung des Instrumentes und der bequemen und hinreichend genauen Ablesung der Theilung erfüllt, so wird man beim Richtungsbeobachten gleichmassiger und rascher arbeiten und daher diesem Verfahren den Vorzug geben.»

Gemäss (Koppe 1880b, S. 40–43) ist das Mess- und Berechnungsvorgehen beim Travi Kehrtunnel analog jenem beim Pfaffensprung Kehrtunnel. Er listet die ausgeglichenen Koordinaten, Richtungen, Winkel, Azimute, Logarithmen der Längen und den Berechnungsablauf auf. Die Ausgleichung ist wegen der Richtungsbeobachtungen hier aufwändiger und wird mit kunstvollen Tricks gelöst. Als mittleren Fehler ermittelt er für Richtungen aus der Stationsausgleichung 6.1", aus der zweistufigen Gesamtausgleichung 8.0". Die x oder y Koordinaten der Tangentenpunkte E und A sind zwischen 1.6 und 4.9 mm genau.

Die Absteckung im Tunnel selbst geschieht mittels Polygonzügen. Einmal durch die Ingenieure der Bauunternehmung, ein zweites Mal zur Kontrolle durch die Beamten der Gotthardbahngesellschaft (in Wassen und Giornico durch die beiden Sektionsgeometer Mächler und Dress, in Faido durch den Bauführer der beiden dortigen Kehrtunnel, Herrn Niederfrieringer).

([S.N.] 1881d) charakterisiert den Bau der beiden Kehrtunnel in der Biaschina Talstufe:

- **Pianotondo Tunnel** (unterhalb Lavorgo) Baubeginn 25.10.1878, 1'508 m lang, Korbbogen 300 m – 500 m – 300 m, Gefälle 23‰, anfänglich von Hand, dann maschinell gebohrt, durch Wassereinbrüche 246 Tage verzögert, Durchschlag am 25.4.1881, Durchschlagsfehler sind nicht aufgeführt.
- **Travi Tunnel** (oberhalb Giornico) Baubeginn in den letzten Oktobertagen 1878, 1'547 m lang, Gefälle 23‰, 300 m Kreisbogen gefolgt von einer 200 m Geraden, gleiche Bauweise wie Piatondo, Durchschlag am 28.3.1881, Durchschlagsfehler sind nicht aufgeführt.

Bei beiden Tunnel wird die Kalotte (siehe Abb. 14) für Doppelspur, die Strosse nur für eine Spur ausgebrochen.

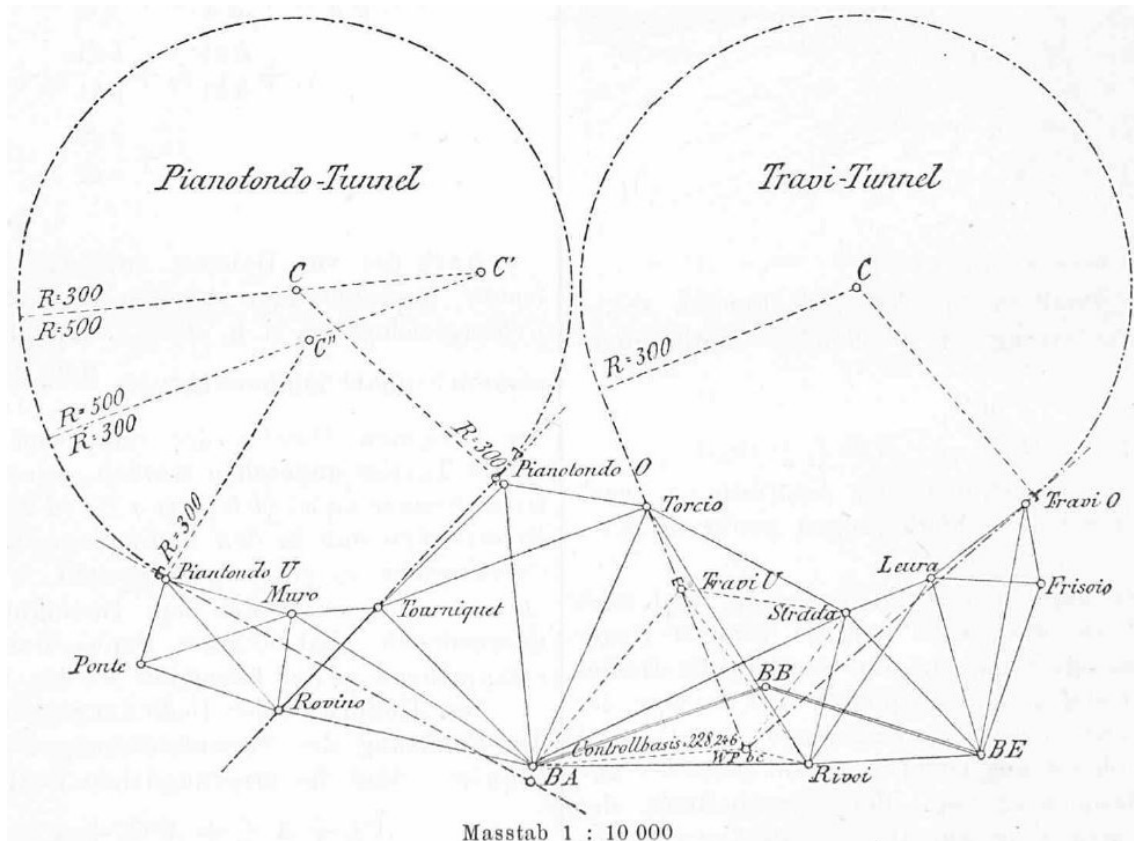


Abb. 34: Pianotondo und Travi, Tunnelachse und Geometrie (Koppe 1880b, S. 41)

Der 1'510 m lange **Naxberg-Tunnel** ist zwar kein Kehr- oder Spiraltunnel, wird seiner Länge wegen hier jedoch kurz behandelt:

Baubeginn 1875 und nach einem Unterbruch wieder im Oktober 1878. Vier Seitenschächte werden in den Berg getrieben und dadurch die Angriffspunkte vermehrt (Historischer Verein Uri 2016, S. 39). Ende 1878 sind 308.55 m Richtstollen mit Handbohrung ausgebrochen, ausserdem 219.6 m in den 4 Seitenstollen (Gotthardbahn-Gesellschaft 1879, S. 22). Der Vortrieb wird in 1880 abgeschlossen. Digital zugängliche Berichte enthalten keine Angaben zu den Durchschlagsfehlern.

7. Gotthardbahn-Tunnel: Rezensionen, Nachforschungen und Ergänzungen

(Fritsch 1870) berichtet im Wochenblatt der 'Deutsche Bauzeitung' sehr knapp über die Arbeiten von O. Gelpke.

S. Pestalozzi hält am 23.2.1877 an der Versammlung des Zürcher Ingenieur- und Architektenvereins einen Vortrag über die Arbeiten der Ingenieure Gelpke und Koppe zur Bestimmung der Tunnelachse und über deren Absteckung und publiziert seine vortrefflichen und leicht verständlichen Ausführungen in (Pestalozzi 1877). Er behandelt auch den Bau der zwei Observatorien im Herbst 1873 in Airolo und im Frühjahr 1875 in Göschenen: Sie haben einen quadratischen Grundriss mit 3 m Seitenlänge und in der Mitte einen steinernen Pfeiler auf solidem Fundament (Abb. 12), liegen genau in der Tunnelachse, sowohl in der Vertikalenebene wie auch im gleichen Gefälle. Ferner beschreibt er ihren Baugrund und ihre Ausgestaltung sowie die in Göschenen erforderlichen beiden Visierstollen (1873-1874 gebaut, 115 bzw. 92.7 m lang).

Hauptabsteckungen finden alle $\frac{3}{4}$ Jahre statt. Die Hauptabsteckung vom 10. September 1876 ab Observatorium Göschenen bis 3'558 m Tunnelbrust dauerte $3\frac{1}{2}$ Tage und war sehr aufwändig und anspruchsvoll.

Der Sektions-Ingenieur Carl Dolezalek²⁰ der Gotthardbahn beschreibt in (Dolezalek 1878a) die Hilfsmittel und Instrumente mit Text und Konstruktionszeichnungen präzise und anschaulich, mit denen die Richtungen im Gotthard-Tunnel abgesteckt werden: Telegrafverbindungen für die Meldungen zwischen Observatorium oder Passageinstrument mit der Abstecksequipe, eigens dafür konstruierte Petroleumlampen und Universal-Stativ, multifunktionaler Stativaufsatz. Die Aufsätze der Signallampen hat die Firma Jacob Goldschmidt in Zürich nach diesen Angaben und Skizzen hergestellt. Er tritt auch auf die atmosphärischen Herausforderungen ein (Lichtstärke, Luftfeuchtigkeit, Lüftung) und erläutert die einzelnen Arbeitsschritte nachvollziehbar und sehr detailliert.

In (Dolezalek 1880) beklagt Dolezalek den 'unmöglichen' Bauvertrag mit dem Generalunternehmer Favre, der mehrere Änderungs- und Nachtragsverträge erforderte, zwei Baudirektoren (Gerwig, Hellweg) verschliss und zu Prozessen führte. Dann schildert er den Durchschlag und seine Kennzahlen:

- Stollenlänge 7.6 m kürzer als angenommen,
- nivellierte Höhendifferenz von 5 cm (Göschener Vortrieb minus Airolo Vortrieb),
- provisorische seitliche Abweichung 49 cm (erste Messung) bzw. 33 cm (zweite Messung), der südseitige Stollen liegt östlich.

Der raschere Vortrieb (durchschnittlich 5.5 m pro Tag²¹) gegenüber dem Mont-Cenis-Tunnel ist der Verwendung von Dynamit anstelle von komprimiertem Schwarzpulver zu verdanken. «Eine direkte Visur vom Observatorium aus war nur auf eine Entfernung von 1'300 m, vom Portale gemessen, möglich; zur Absteckung der übrigen Stollenlänge waren im letzten Jahr auf der Nordseite 8, auf der Südseite 15 Umstellungen erforderlich. Der Zeitbedarf für die jährlich einmal bei völliger Arbeitseinstellung vorgenommene [Haupt-]Absteckung betrug 3 – 4 Tage, während welcher die [Absteckungs-]Operationen Tag und Nacht ohne Unterbruch fortgesetzt wurden.»

Johann Baptist (Messerschmitt 1902) bemerkt in seiner «Neuberechnung der Länge des Gotthardtunnels»: «Sowohl die Genauigkeit als auch die Übereinstimmung der beiden Triangulationen [von Gelpke und Koppe] war vollständig befriedigend und wurde auch nach der Vollendung des Tunnels bestätigt. In Richtung und Höhe zeigten die Kontrollmessungen nur Unterschiede von 50 bzw. 5 cm. In der Länge dagegen ergab sich eine etwas grössere Differenz, indem die direkt im Tunnel gemessene Länge um 7,6 m kleiner war als die aus der Triangulation berechnete.» M. Rosenmund führte bis 1902 «in dem Kanton Tessin eine

²⁰ lebte 1843-1930; 1877–1907 Professor für Eisenbahn- und Tunnelbau an der TH Hannover, anschliessend an der TH Berlin

²¹ gemäss (Andreae 1948, S. 10) 6.02 m/Tag

Neuvermessung durch», bei welcher er die zwei Dreieckspunkte Loitascia und Boggia der Koppe'schen Triangulation ... auch einbezog und damit an das Gradmessungsnetz anschloss. Messerschmitt selber leitet im Rahmen seiner Arbeiten für das «Schweizerische Dreiecksnetz» die Länge «des Tunnels zu 15'845,8 m ab, also um 6,8 m kleiner als ihn Koppe gefunden hat und nur um 0,8 m grösser, als der direkt gemessene Wert war.» Er rechtfertigt seine Ansicht damit, «dass der Fehler an der Basis liegen muss, welche Gelpke bei seiner Triangulation gemessen hatte, deren Resultate auch Koppe verwendet hat» und notiert in einer Fusszeile, dass «die Originalpapiere Gelpkes bei einem Brand in dessen Hause vernichtet worden» sind. Rosenmund vermutet, dass die Basen 1969 und 1972 nicht identisch waren, sondern um nahe 20 m differieren. Für Messerschmitt stimmt die 1869 mit Messband gemessene Basis besser mit der Durchschlagslänge überein als die mit dem Basisapparat doppelt gemessene Basis von 1872 und er nimmt an, «dass bei der zweiten Basismessung und deren Berechnung irgend ein Versehen oder Irrtum vorgekommen ist.»

Der **Vollausbau der Bergstrecke** Erstfeld – Biasca auf Doppelspur erfolgt unter Betrieb und ist bis 28.5.1893 abgeschlossen (Waldis 2003).

Hans Zölly, Chefingenieur der eidg. Landestopographie, untersucht 1932-1938 bei seinem historischen Rückblick auf die geodätischen Grundlagen der Vermessungen im Kanton Uri die trigonometrischen Messungen der Jahre 1869-1881 für den Gotthardtunnel.

Auf seine schriftliche Anfrage hin erhält er am 5. Mai 1937 von Kreisdirektor Labhardt der SBB-Kreisdirektion II die Mitteilung: «Mit Jhrem Schreiben vom 28. April d.J. ersuchen Sie uns, Jhnen wenn möglich das Material über die trigonometrischen Messungen für den Gotthardtunnel aus den Jahren 1869-1881, insbesondere Winkelbücher, Berechnungen, Resultate, Abrechnungen usw. zu verschaffen, bzw. Einsicht in dasselbe zu gewähren. Wir beehren uns, Jhnen mitzuteilen, dass wir trotz eingehenden Nachforschungen leider das Gewünschte in unserem Gotthardarchiv nicht auffinden konnten. Es ist wohl umfangreiches Korrespondenzmaterial, aber keinerlei Plan- bzw. Berechnungsmaterial vorhanden. ... Auch das Bundesarchiv in Bern erklärt uns auf Anfrage hin, dass sie kein derartiges Material besitze. Vielleicht könnten Sie sich in Sachen einmal an das Eidg. Eisenbahndepartement wenden.» (Labhardt; Zölly 1937).

Eine Nachfrage beim Eisenbahndepartement verläuft resultatlos.

Die Nachforschungen des Autors dieses Berichts bei SBB Historic und swisstopo haben ergeben, dass doch noch mehr brauchbare Quelldokumente vorhanden sind, als Kreisdirektor Labhardt schrieb.

Zöllys Bericht «Die Länge des Gotthardtunnels und die äusseren Einrichtungen für seine Absteckung» über seine Nachforschungen und Rekonstruktionsarbeiten fasst die oberirdischen Tunnelvermessungen der Jahre 1869 bis 1882 konzis zusammen und ist leicht verständlich nachzulesen in (Zölly 1939) bzw. (Zölly 1940a) und (Zölly 1940b).

In (Zölly 1940b, S. 107) schliesst Zölly aus seinen Rekonstruktionsarbeiten auch, «dass die Andermattbasis 1872 mit einem grossen systematischen Fehler behaftet sein muss, der sich nach den heutigen Erkenntnissen durch die Verwendung eines wohl in der Eichstätte Zürich richtig bestimmten, aber bei der Messung in Andermatt infolge der nicht berücksichtigten Luftfeuchtigkeit bereits wieder veränderten Lattenkoeffizient erklären lässt.» Auch bei der Längenmessung im Tunnel müssen andere Wärme- und Feuchtigkeitsverhältnisse zu systematischen Abweichungen der in Zürich geprüften Messstangen der Bauleitung geführt haben.

In Göschenen und Airolo bestimmt er alle noch vorhandenen und neu versicherte Achspunkte mit je einer Kleintriangulation neu. Er ermittelt die nach beidseitigen Verlängerungen des Tunnels²² definitive Tunnellänge neu zu 15'002.64 m und stellt abschliessend fest: «Es sind nun heute im Terrain die südlichen und nördlichen Axpunkte der beiden Absteckungen 1869 von Ingenieur Gelpke und diejenigen von 1874 von Ingenieur Koppe einwandfrei festgelegt, die bezüglichlichen, in Fels eingelassenen Richtungsfenster (Abb. 21 bis Abb. 24) seit

²² 1882 um 46.3 m, 1887 um weitere 13.7 m

ihrer Erstellung unverändert vorgefunden und für alle Punkte sorgfältige Versicherungsprotokolle erstellt worden. Ebenso sind die beiden Tunnelportale in die Landestriangulation einbezogen. Da sich zudem in Göschenen und in Airolo an den beiden Tunnelportalen und im Innern des Tunnels in den Kilometer-Nischen Fixpunkte des eidgenössischen Präzisions-Nivellementes vorfinden, sind alle Absteckungselemente vorhanden, um jederzeit Kontrollen der Axe des grossen St. Gotthardtunnels einwandfrei wiederholen zu können.»



Abb. 35: Arbeiter und Ingenieure posieren vor dem Richtstollen in Airolo (um 1872, ETH Bibliothek)

Richtstollen und Tunnelausgang des Gotthard - Tunnels Airolo

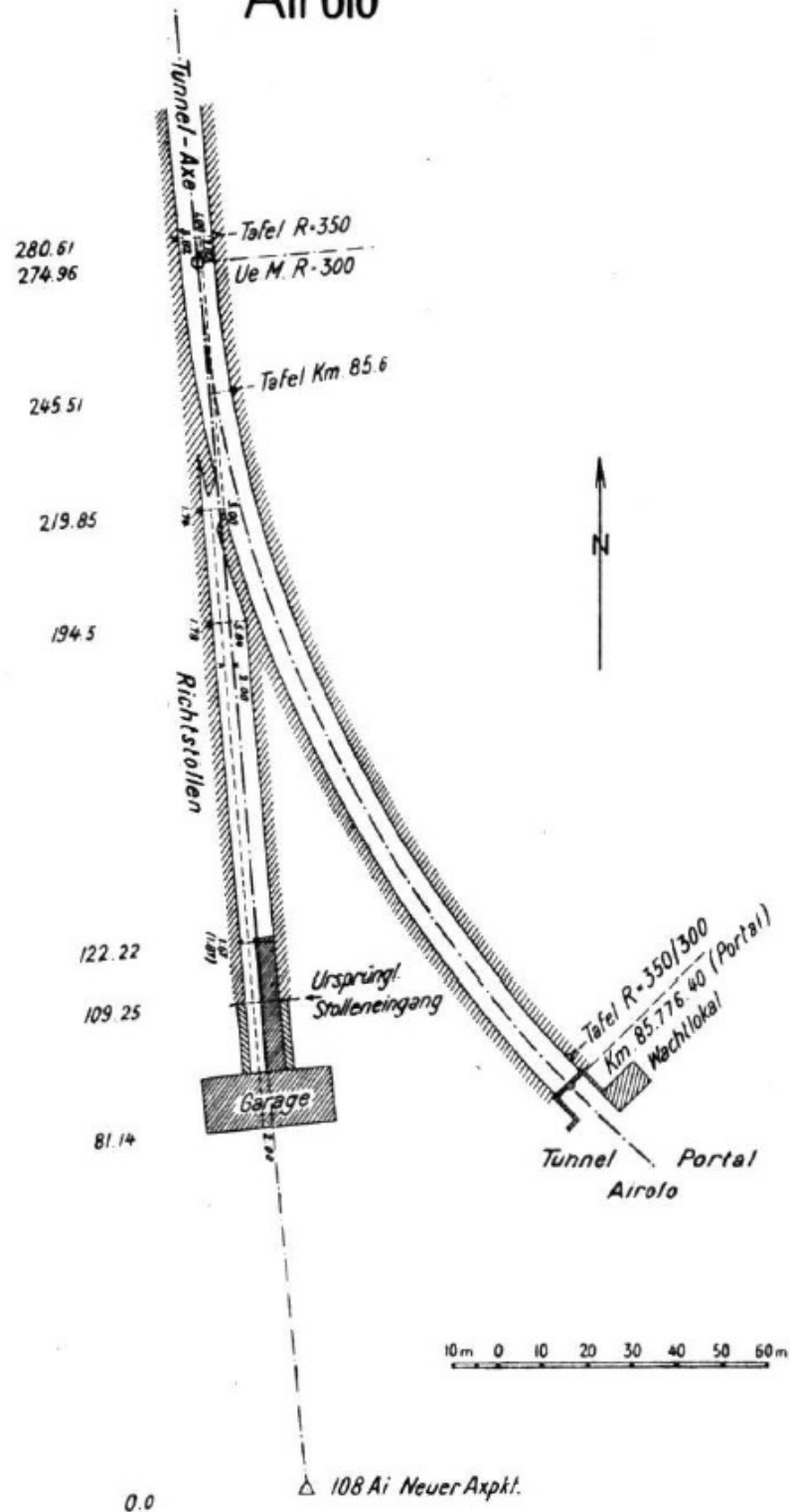


Abb. 36: Richtstollen in Airolo, Bild 7a aus (Zölly 1940b, S. 106)

Felix Moeschlin schreibt 1947-1949 seinen Tatsachenroman «Wir durchbohren den Gotthard». Er erzählt darin aufgrund von Originalunterlagen wie amtlichen und privaten Berichten, Protokollen, Briefen und Telegrammen über die Planung, Finanzierung, Entstehung der «alten» Alpentransversalen. Die Vermessung behandelt er nur sehr knapp. Sein Zeitschriftenartikel in (Moeschlin 1993) fasst den Roman zusammen.

Fritz Kobold fasst die Arbeiten Gelpkes und Koppes ausgezeichnet und aufs Wesentlichste begrenzt zusammen und folgert: Zölly «stellte zwischen der von Gelpke und Koppe trigonometrisch ermittelten Distanz Göschenen-Airolo und der aus der neuen Triangulation folgenden eine Differenz von 2 m fest, die sich ohne weiteres mit der Ungenauigkeit der alten Messungen, insbesondere mit der Unsicherheit der Lattenlängen erklären liess. Nicht gleich überzeugend war die Annahme, dass die noch bleibenden 5 m zwischen der neuen Distanz und der direkt gemessenen alten auf die gleichen Ursachen zurückzuführen seien.» ((Kobold 1982)

Josef Schüpbach führt die systematische Abweichung der von Gelpke ausgeführten Basismessung auf die nach «heutigen Erkenntnissen durch die Verwendung eines wohl in der Eichstätte in Zürich richtig bestimmten, aber bei der Messung in Andermatt [und im Tunnel] infolge der nicht berücksichtigten Luftfeuchtigkeit bereits wieder veränderten Lattenkoeffizienten» zurück (Schüpbach 1996, S. 470). Er hat diesen Schluss wohl aus Zöllys Bericht übernommen.

Franz Ebnetter vergleicht in (Ebnetter 2006) die Tunnelvermessung 1869 – 1880 mit den Vermessungsarbeiten am Gotthard Basistunnel und zeigt das Vermessungsteam am Gotthard-Bahntunnel:



Abb. 37: die 19 Vermesser am Gotthard-Bahntunnel, aus (Ebnetter 2006)

Bertold Witte gibt in seinem Artikel «Die Vermessungsmethoden bei bedeutenden Tunnelbauwerken von der Antike bis heute» einen prägnanten Überblick über die fünf Tunnelbauwerke Eupalinos-Tunnel (Insel Samos), Mont-Cenis- und Gotthardbahn-Tunnel, Ärmelkanaltunnel und Gotthard-Basistunnel und zeigt die Entwicklung der Messinstrumente und Vermessungsmethoden im Tunnelbau in Abhängigkeit vom wissenschaftlichen und technischen Fortschritt auf (Witte 2014). Beim Gotthardbahn-Tunnel stützt er sich auf (Kobold 1982) sowie (Koppe 1875) und (Koppe 1876a).

David Mauro stellt in (Mauro 2010a) die Veränderung der Landschaft durch technische Entwicklung am Bau des Gotthardtunnels exemplarisch dar. Motivation dafür war ein Forschungsprojekt der Accademia di Architettura in Mendrisio und der ETH Zürich. Grundlagen

für die baulichen Eingriffe bildete die Vermessungstechnik und eine anforderungsgerechte Kartierung des betroffenen Geländes.

In den Jahren 2006 bis 2015 hat er 45 Vermessungspunkte aufgesucht. Davon findet er 16 noch weitestgehend in der ursprünglichen Form erhalten, 13 sind als neu versicherter Triangulationspunkt III. oder IV. Ordnung versichert und 16 sind nicht mehr erhalten. Er dokumentiert seine Arbeiten in (Mauro 2010b), (Burkhalter; Sumi 2016, S. 469–494) und http://www.alpentunnel.de/10_Epochial/30_Gotthard/20_Vermessung/40_2007/frame_epochial_Gotthard_vermessung2007.htm (Zugriff 21.12.2023)

8. Beschrieb der eingesetzten Instrumente

8.1 Theodolite von O. Gelpke

8.1.1 9" Zoll Theodolit von Starke in Wien

Laut seinem Bericht vom Herbst 1869 (Gelpke 1870, S. 154) setzte O. Gelpke einen 9" Re-
petitionstheodoliten von Starke in Wien mit durchschlagbarem Fernrohr ein, siehe Abb. 38.

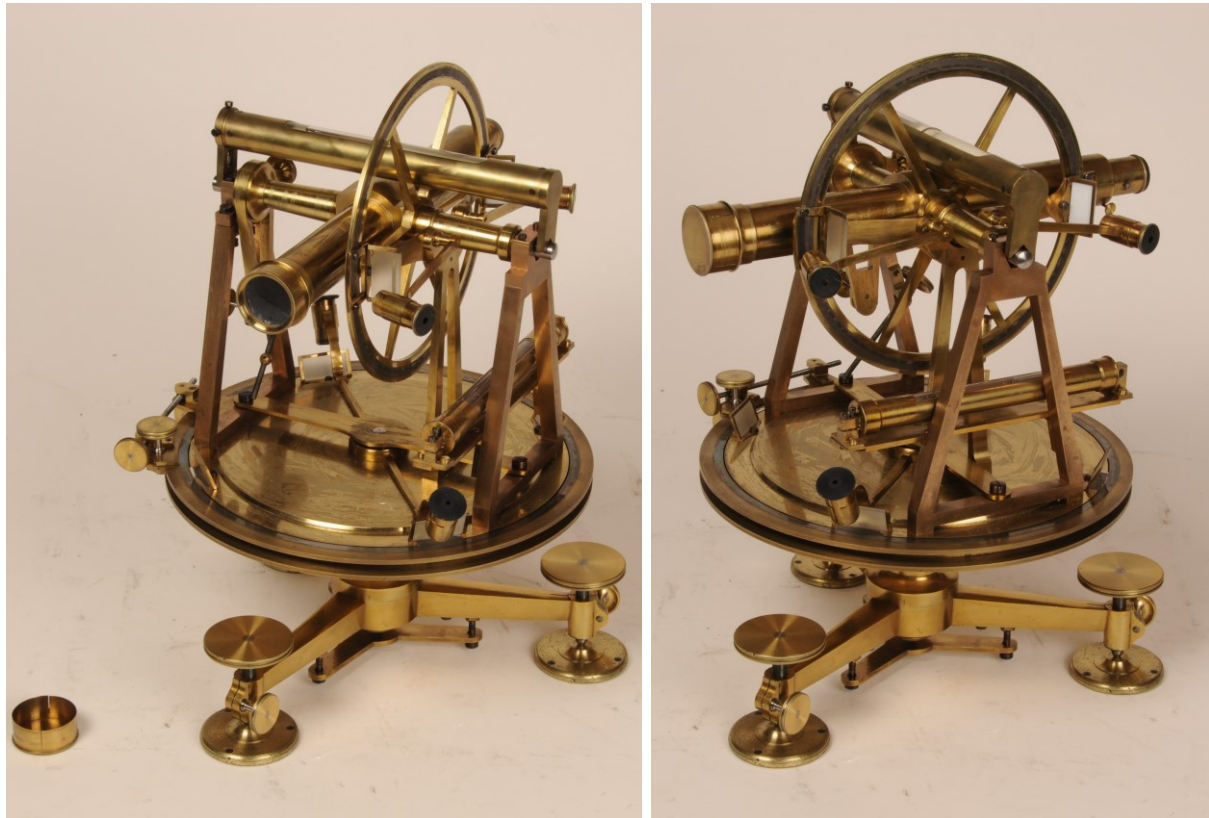


Abb. 38: Starke Theodolit (swisstopo Bilder 5483 und 5489, 2012)

Dieser Theodolit ist in der Sammlung des historischen Materials der Schweizer Armee (HAM), Geod. 1 eingelagert. Siehe auch <https://emuseum.gggs.ch/eexpo-lv/mile-LV1840.html>, elftes Bild.

Beschrieb laut Hist. Instrumentensammlung swisstopo (Inventar Nr. 1012) (Angaben von Lukas Gerber am 5.6.2023):

- Dieser 8 zöllige (23 cm)²³ Theodolit besteht aus einem Fernrohr und einem Horizontalkreis.
- Er wurde von Oberst Quartiermeister Dufour 1837 in Wien bestellt.
- Einsatz: 1837 – 1877 mit Verwendungszweck Triangulation.
- Er diente den Vermessungsbeamten Eschmann, Mohr und anderen eidg. Ingenieuren von 1837 bis 1865 für ihre Vermessungsarbeiten (Gotthard Vermessungen).
- Er wurde zwischen 1876-1877 von Kern neu geteilt.

²³ widersprüchliche Zoll Angaben sind zurückzuführen auf unterschiedliche Basismasse (Fuss) und Umrechnungsmasse, siehe auch Bemerkung in Kap. 1

8.1.2 7 Zoll Theodolit von Otto Fennel in Cassel

Dieser Theodolit wurde vermutlich von Sektionsgeometer Mächler auf der Nordseite für Winkelmessungen verwendet, vgl. auch Kap. 6.

Er enthält gemäss (Koppe 1880b, S. 34–35) zwei Nonien, die 10 Sekunden geben. Die Winkel wurden mit ihm zehn oder zwölf Mal repetiert, halb in der einen halb in der andern Lage des Fernrohrs.

Der Theodolit ist im Inventarblatt der GGGS für das Verkehrshaus der Schweiz genau beschrieben. Es wurde am 21.3.2003 von Heinz Aeschlimann / Peter Füscher erstellt und am 12.4.2023 von Beat Sievers aktualisiert.



Abb. 39: Repetitionstheodolit aus der Zeit des Gotthardtunnelbaus; O. Gelpke als Benutzer zugeschrieben (Sammlung VHS, Nr. [3525](#), 1875)

Ein eng verwandtes Instrument ist in

<https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co52815/repeating-theodolite-repeating-theodolite> abgebildet (Zugriff 21.12.2023).

8.2 Theodolite von C. Koppe

8.2.1 8 Zoll Theodolit von Kern in Aarau

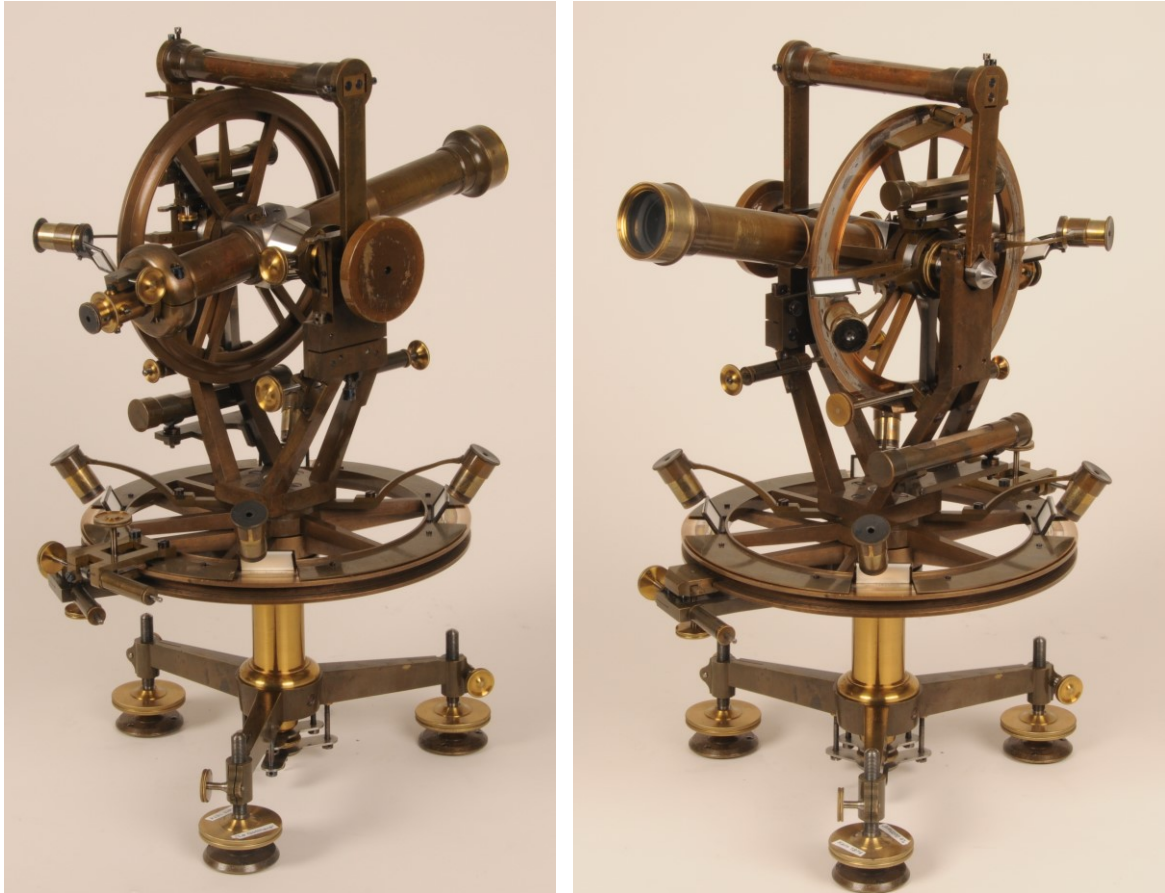


Abb. 40: "Gotthard-Theodolit", Bestimmung der Gotthard-Tunnel Achse, 1874
(swisstopo Bilder 9267 und 9287, 2013)

Dieser Theodolit ist in der Schauvitrine von swisstopo im 2. Stock ausgestellt und in ihren Akten wie folgt beschrieben (Angaben von Lukas Gerber am 5.6.2023):

- Er wurde zwischen 1874 und 1878 von Ingenieur Koppe für die Triangulation im Gotthardgebiet verwendet; dann von der SGK bis 1879 und später bis 1895 von Ing. Gelpke eingesetzt.
- Dieser Theodolit ist auch als «Gelpke-Theodolit» bekannt.
- 22 cm Limbus [Aussendurchmesser 24 cm] auf 10' geteilt, 4 Nonien auf 10".
- 16.5 cm Vertikalkreis [Aussendurchmesser 18.5 cm] auf 10' geteilt, 4 Nonien auf 10".
- Sexagesimal-Teilung.
- Fernrohr: (alter Kern'schen Typus) ca. 32 cm lang; Öffnung: 3.4 cm.
- Achslibellen 20".
- Kollimationslibelle: Im Frühjahr 1904 montiert.
- Zwischen 1874 und 1879 war die Gotthardbahn der ursprüngliche Besitzer und seit 1880 steht er beim Eidgenössischen Topographischen Büro. Im Jahr 1893 wurde er von Jakob Kern repariert. Wert nach Reparaturen: Fr. 800.

(Koppe 1875, S. 375–376), **Horizontalwinkelmessungen:** «Hierzu diente ein 8zölliger Theodolit von Kern in Aarau, der kurz zuvor zu diesem Zwecke angefertigt worden war und dessen 4 Nonien eine direkte Ablesung von 10 Secunden gestatten. Das Fernrohr zeigt bei 30maliger Vergrößerung helle und deutliche Bilder, die Theilung ist klar und gut, wenigstens habe ich bei wiederholten Versuchen durch Herumführen der Nonien von Theilstrich zu Theilstrich keine Fehler entdecken können, welche die Beobachtungsfehler überschreiten.

Das Instrument ist schwer und gedungen gebaut, so dass man bei mässigem Winde noch sicher beobachten kann, Nachdem das Instrument vor Beginn der Arbeit einmal berichtigt war, habe ich bis zur Beendigung derselben, abgesehen von kleinen Correctionen der Libellen, nichts an ihm zu ändern gebraucht.» Es folgt ein genauer Beschrieb des Ablaufs der Repetitions-Winkelmessung in I. und II. Lage.

(Koppe 1876c, S. 129–130), **Trigonometrische Höhenmessung**: «... doch sind alle Zenithdistanzen gegenseitig, zu nahe denselben Tageszeiten und alle gleich oft, nämlich 6-8 mal, gemessen worden. ... Der Höhenkreis des schon früher bei Gelegenheit der Horizontalmessungen beschriebenen Theodoliten hat sechs Zoll Durchmesser und ist fortlaufend von 0 bis 360° getheilt.

Die beiden Nonien geben 10" und bei horizontaler Visur die Ablesungen 90° und 270°. Da die Theilung rechts herum wächst, so gibt bei Kreis links der am nächsten bei 90° liegende Nonius Zenithdistanzen; ... Die Libelle des Höhenkreises hat eine Empfindlichkeit von 13" pro Theilstrich, gestattet also eine Ablesung bis auf etwa 1".»

Auf der Südseite der Gotthard Bergstrecke verwendete Sektionsgeometer Dress vermutlich diesen Theodoliten ebenfalls: bei den Kehrtunnel in der Biaschina für Richtungssatzmessungen, bei Dazio Grande für Repetitionswinkelmessungen. (Koppe 1880b, S. 35–36) begründet die Wahl dieser Messverfahren.

8.2.2 15 Zoll Universal-Instrument von Ertel

Für **astronomische Messungen** liess Koppe das Universal-Instrument von Ertel (Abb. 41) und einen nicht genauer spezifizierten Marinechronometer für zwei Monate von der Schweizerischen Geodätischen Kommission aus (Koppe 1876a, S. 355–356): «Der 15zöllige Horizontalkreis des Instruments ist direct in 3 Minuten getheilt, zwei Ablesungsmikroskope geben 1"; der Höhenkreis von 12 Zoll Durchmesser ist in 5 Minuten getheilt und zwei Mikroskope gestatten ebenfalls eine directe Ablesung von einer Secunde; die Axenlibelle hat eine Empfindlichkeit von 2.34" pro Theilstrich und die Libelle des Höhenkreises von 3.43" pro Theil. Die Libelle des Horizontalkreises kann bei Neigungen bis zu 70° auf der Axe verbleiben.»

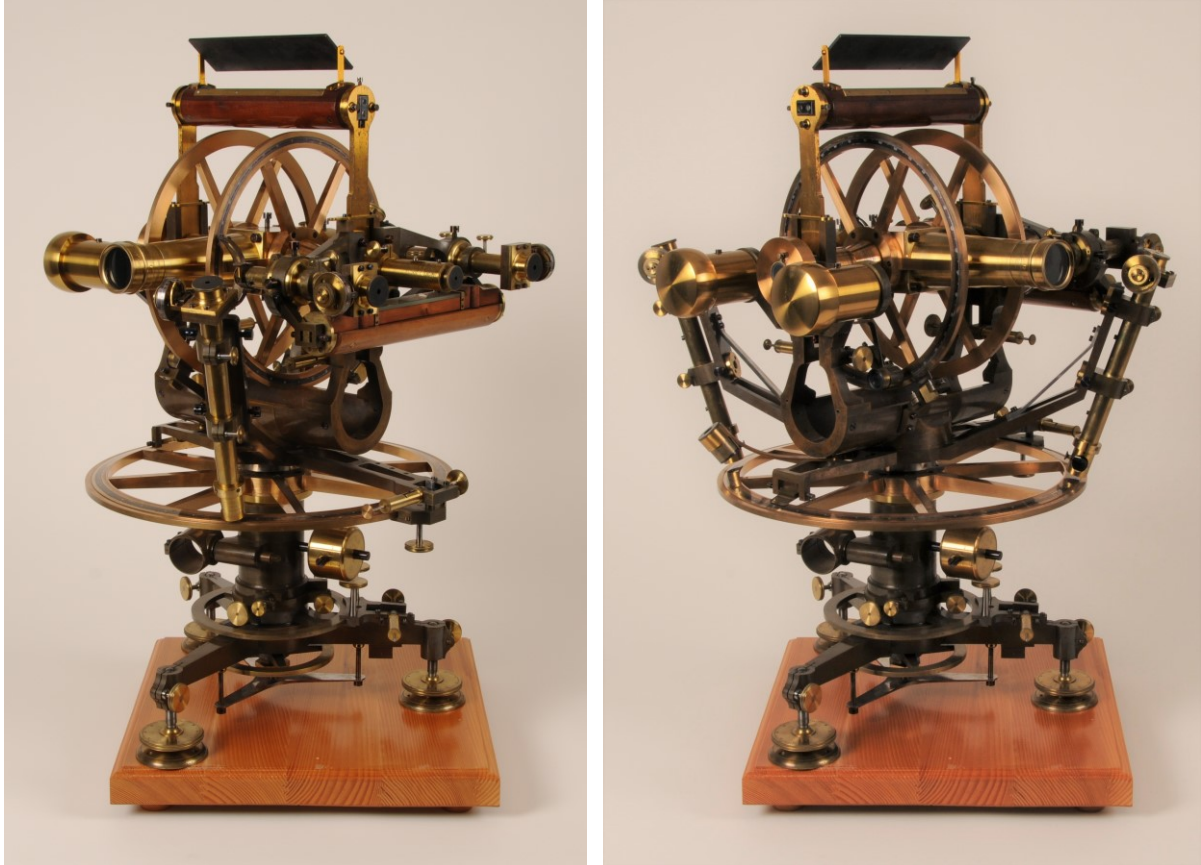


Abb. 41: Ertel Universal 14 Zoll der SGK (swisstopo Bilder 3388 und 3390, 2012)

Dieser Theodolit ist in der Schauvitrine im Raum neben der Pforte von swisstopo ausgestellt und in ihren Akten wie folgt beschrieben (Angaben von Lukas Gerber am 5.6.2023):

- 1863 durch die Firma Ertel und Sohn in München hergestellt.
- Kaufpreis im Jahre 1864 Fr. 3'800.-
- Es handelt sich um den ersten Kompensationstheodoliten der Schweizerischen Geodätischen Kommission (SGK).
- Universal Horizontalkreis: 40 cm; Universal Vertikalkreis: 26 cm. Kein Stativ.
- Fussabstände von der Stehachse: 18 cm.
- Verwendungszweck: Triangulation.
- Zwischen 1867 und 1872 wurde er von Prof. Plantamour verwendet und dann um ca. 1872 durch Ing. Koppe für die Azimut-Absteckung des Gotthardtunnels "Göschenen-Airolo" eingesetzt. Anschliessend wurde er als Übungsinstrument in der Eidgenössischen Sternwarte Zürich benutzt.
- Im Jahr 1947 kehrte er zu der Landestopografie in Bern zurück.

8.3 Passageinstrumente (auch Durchgangsinstrumente genannt)

8.3.1 Grosses Passageinstrument

Die beiden in der Firma J. Kern in Aarau umgearbeiteten Instrumente aus der Mont-Cenis-Tunnelabsteckung (Abb. 25 vor und Abb. 30 nach dem Umbau) haben nach (Pestalozzi 1877, S. 97), (Dolezalek 1878a, S. 185) und (Gelpke 1880b, S. 105–106):

- ein vorzügliches, durchschlagbares Fernrohr von 60 cm Brennweite (Brunner'sches Fabrikat), 6 cm Öffnung, 50-fache Vergrösserung (nach Gelpke 36-fach),
- neue Fäden: ein Horizontal- und ein Doppelvertikalfaden, mehrere Parallelfäden für Beobachtung von Sterndurchgängen,
- eine verbesserte Okularführung (Okulartrieb),
- eine kleine Lineallibelle auf dem gusseisernen Dreifuss zwecks rascherer Horizontalstellung des Instruments,
- eine grosse sehr empfindliche Reiterlibelle in Mahagonifassung für die feine Horizontalstellung der Fernrohrachse,
- neue messingene Zapfenlager für diese Fernrohrachse, wovon eines korrigierbar,
- verbesserte oder ausgewechselte Brems- und Mikrometervorrichtungen,
- an beiden Seiten der Gabelstütze Klemmen und Mikrometer,
- «einen kleinen Horizontal- und Verticaltheilkreis mit Noniusablesung auf 1 Minute zum raschen und sichern Einstellen der Marke bei Nacht.» (Koppe 1880a, S. 45)
- einen leichten Kerzenhalter am massiven Träger angehängt für eine seitliche Beleuchtung des Fadenkreuzes durch die durchbohrte horizontale Umdrehungsachse. Die Kerze wird durch eine zusammengepresste Spiralfeder in die richtige Lage nach oben gedrückt und oben von einem für den Docht durchbohrten Blech zurückgehalten. Damit befindet sich die Flamme stets vor der hohlen Achse.
- Die Arretur der Horizontalbewegung kann ausser der gewöhnlichen Klemmschraube durch das Anziehen eines besonderen Hebels noch verstärkt werden.

Nach (Aeschlimann 1990, S. 53) hat das Instrument folgende Masse:

Fernrohr: Objektivdurchmesser 52 mm

Vergrösserung 40 x

Kippachshöhe 500 mm

Abstand der Kippachszapfen 290 mm

Gewicht 31.0 kg

Die beiden noch gut erhaltenen Instrumente werden heute aufbewahrt:

- in der Sammlung Kern im Stadtmuseum Aarau (Inventar Nr. [206](#))
 - im Aussenlager des Verkehrshauses der Schweiz (Inventar Nr. [VHS-119](#)).
- Inventarblatt der GGGS erstellt 1988 von Heinz Aeschlimann, aktualisiert 12.4.2023 von Beat Sievers.



Abb. 42: grosses Passageinstrument (Sammlung Kern im Stadtmuseum Aarau, 2023)

8.3.2 Kleines Passageinstrument

(Dolezalek 1880, S. 320): «Die Richtungs-Bestimmung vom Observatorium aus in den Tunnel geschah (wie S. 185 des Jahrg. 1878 dies. Zeitschr. ausführlich beschrieben) mit Hilfe von Durchgangs-Instrumenten [das grosse, eben beschriebene], die Verlängerung der Richtung im Tunnel anfänglich mittelst eines Theodoliten [dem 8-zölligen Theodoliten von Kern aus Kap. 8.2.1].» Diese Instrumente litten jedoch beim Transport «durch Fallen und Stösse schwer», weshalb nach dem Austritt Gelpkes am 5.6.1876 «aus dem Verband der Gotthardbahn ein kleineres Passageinstrument (Abb. 43 und Abb. 44) bei der Firma Hottinger & Koppe, Goldschmids Nachfolger, in Zürich bestellt» wurde (Gelpke 1880b, S. 106).

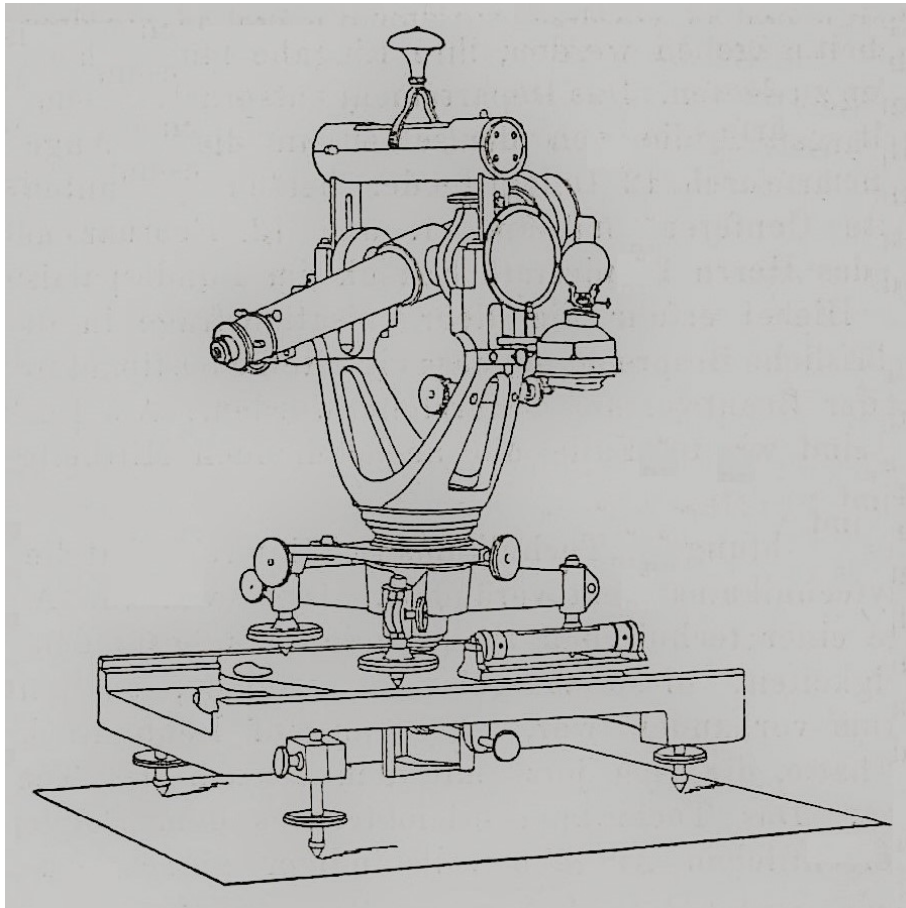


Abb. 43: kleines Passageinstrument auf Stativplatte, Fig. 1 in (Koppe 1880a, S. 44)

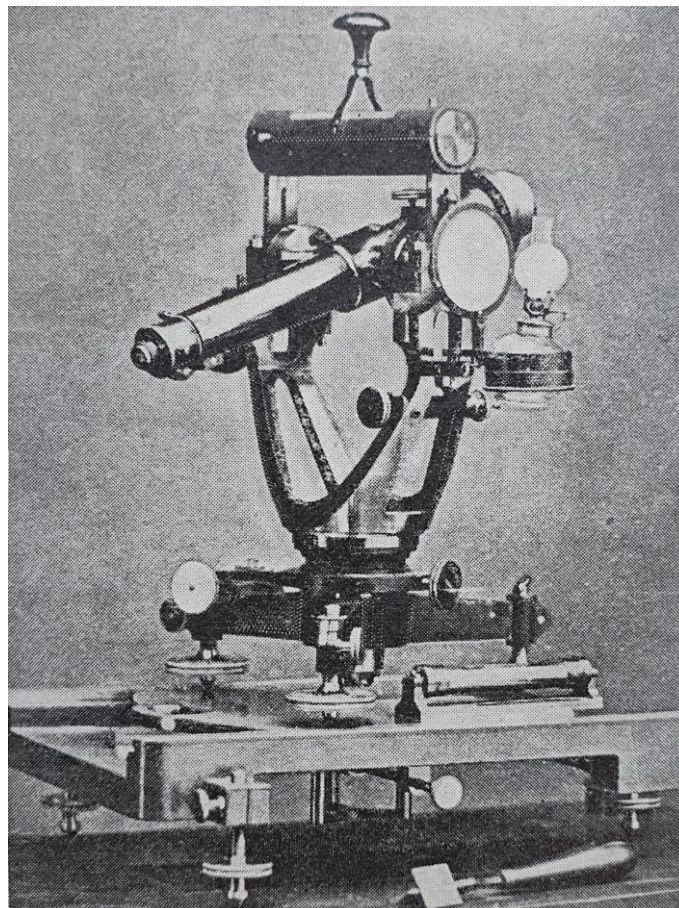


Abb. 44: kleines Passageinstrument mit Schlitten-Dreifuss, Fig. 15 in (Koppe 1894, S. 43)

Diese Firma bezog die Hauptteile aus dem bekannten Reichenbach'schen Institut. Gelpke beschreibt es so: «Es ist dieses Instrument eigentlich ein grösserer Theodolit üblicher Construction, nur ohne Theilkreise, also : ein mit drei Nivellirschrauben einzustellender Dreifuss, in dessen Büchse sich die Verticalaxe der massiven Gabelstütze dreht. Zur Roh-Horizontabsteckung trägt letztere in ihrem untern Theil eine Dosenlibelle. In die Messinglager der Gabelstütze kommt die stählerne Horizontalaxe des Fernrohrs zu liegen. Diese Axe ist einseitig hohl zur Beleuchtung des Fadenkreuzes, wie beim grossen Instrumente. Ein kleines, an die betreffende Gabelstütze anzuhängendes Ligroinlämpchen²⁴ vermittelt diese Beleuchtung. Zur Ausgleichung dieser einseitigen Gewichtsvermehrung muss an der andern Gabelstütze ein entsprechendes Gegengewicht angehängt werden. Das astronomische durchschlagbare Fernrohr gibt 27fache Vergrösserung. Das Oculargetriebe besteht auch hier, wie bei allen grösseren Instrumenten, in einer Leitstange, die in ihrer Führung durch 2 Klemmschraubchen zur Senkrechtstellung der Fäden etwas gedreht und festgeklemmt werden kann. Die Arretur für Horizontal- und Verticalbewegung geschieht durch Klemmen und Mikrometer, von denen der Horizontalmikrometer in Abweichung von den gewöhnlichen Federmikrometern ein Kugelmikrometer ist. Die empfindliche Hauptlibelle in Holzfassung wird auf der Horizontalaxe durch die geschlitzten Zapfendeckel und einen besonderen Bügel mit Leitstift festgehalten.» (Gelpke 1880b, S. 106)

In (Gelpke 1880b, S. 140) ergänzt er: «An dem kleinen Passageinstrument sind die solide Bauart, die stabile Gabelstütze und die Gläser des Fernrohrs anerkennenswerth. Meinerseits würde ich für das Gewicht des Instruments eine etwas höhere Zapfenführung wünschen, ferner den Kugelmikrometer für die horizontale Feinführung gänzlich verwerfen, da er leicht ruckweise arbeitet und schliesslich das Diaphragma²⁵ mit den eingespannten Fäden auswechseln, da solches zur Zeit ungemein veränderlich war und häufige Correcturen im Tunnel verlangte, wenn man nicht die Bestimmungen in der einen oder andern Lage des Fernrohrs sehr weit auseinander fallen sehen wollte. (Die Pressschraubchen haben sich jedenfalls eingearbeitet oder wirken auf eine schiefe Fläche.)»

Laut (Dolezalek 1880, S. 320) hat dieses kleinere Durchgangs-Instrument ein Fernrohr von 34 mm Objektiv-Öffnung und 30malige Vergrösserung.

Einige Monate nach dem Durchschlage gehen diese kleinen Passage-Instrumente zum Arlbergtunnel, um dort zu gleichen Zwecken benutzt zu werden (Koppe 1894, S. 52).

Ob sie heute noch existieren, ist ungewiss.

²⁴ Ligroin: Bezeichnung für eine Benzinfraktion mittleren Siedebereichs von etwa 120 bis 135 °C (<https://www.spektrum.de/lexikon/chemie/ligroin/5357>, Zugriff 21.12.2023)

²⁵ eine verstellbare Öffnung bei optischen Geräten, Blende

9. Glossar

Limbus	Beim Repetitionstheodolit ist die feste Verbindung von Dreifuss und Teilkreis aufgegeben und stattdessen ein drehbarer Teilkreis eingebaut, der Limbus heisst. Der Repetitionstheodolit hat also zwei Vertikalachsen, die Alhidadenachse und die Limbusachse, deren jede eigene Klemmen und Feinbewegungsschrauben besitzt. Quelle: Walter Grossmann (1975): Vermessungskunde II. 12. Auflage. Berlin: Walter de Gruyter. S. 9
Repetitionswinkelmessung	Methode der Messung von Horizontalwinkeln. Zwischen einer Anfangs- und einer Schlussablesung wird der zu messende Winkel mehrmals auf dem Teilkreis aufaddiert (Repetitionen) Quelle: https://www.kern-aarau.ch/kern/wissen/glossar/
S.G.K. oder SGK	Schweizerische Geodätische Kommission https://www.sgc.ethz.ch
[S.N.]	sine nomine [lateinisch: ohne Namensangabe]
sphärischer Exzess ε	ist die Abweichung der Winkelsumme eines Kugeldreiecks von 200 gon: $\varepsilon = (\alpha + \beta + \gamma - 200 \text{ gon})$
Tm	Tunnelmeter, in den Gelpke Berichten auch 'Profil' genannt
VHS	Verkehrshaus der Schweiz
wahrer Fehler ΔX^* einer Messung	$\Delta X^* = x - X^*$, wobei x das Messergebnis und X^* der wahre Wert der physikalischen Grösse ist.
wahrscheinlicher Fehler	[engl. probable error], [FSE], Begriff der älteren Induktionsstatistik; im Bereich um einen aus einer Stichprobe berechneten Wert $S \pm w$ ist mit 50% Wahrscheinlichkeit der wahre Wert anzunehmen; mit der gleichen Wahrscheinlichkeit liegt der wahre Wert ausserhalb dieses Bereiches.

10. Quellen

Bücher, Berichte, Vorträge, Briefe, Dissertationen, Karten und Pläne, Konstruktionszeichnungen, Fotografien, Filme, Arbeitsdokumente, Messinstrumente, Mess-Hilfsmittel sind in den folgenden Institutionen und Datenbanken zu finden.

10.1 Museen und Sammlungen

- Stiftung Historisches Erbe der SBB (SBB Historic), Archive und Sammlungen:
Sie hütet den umfangreichen Aktenbestand der Gotthardbahn Gesellschaft. Ihre gewünschten Dokumente (u.a. Planungs-, Bau- und Vermessungsakten) sind zur Einsicht im Lese-saal an der Lagerstrasse 1 in 5260 Brugg oder zur Reproduktion zu bestellen bei lesesaal@sbbhistoric.ch.
Ein Katalog ist in <https://www.sbbarchiv.ch/detail.aspx?ID=132192> zu finden.
- Studiensammlung Kern Aarau im Stadtmuseum Aarau
- Verkehrshaus der Schweiz, insbesondere Dokumentationszentrum in Luzern und Aussenlager in Under-Bueche, Geissbach 1.3, 6026 Rain
- Bundesamt für Landestopographie swisstopo in 3084 Wabern: Vitrinen und Archiv
- Stiftung HAM: Historisches Material der Schweizer Armee in Thun, <https://www.stiftung-ham.ch> (Zugang nur mit Empfehlung von swisstopo)
- Bundesarchiv: <https://www.recherche.bar.admin.ch/recherche/#/de/suche/einfach>

10.2 Internet

Viele Publikationen, Bilder und Objekte sind mit einer geschickten Suchstrategie im Internet zu finden. Zu nennen sind insbesondere die Webseiten von

- Schweizer Bibliotheken: <https://swisscovery.slsp.ch>
- Sammlung der Nationalbibliothek: <https://www.nb.admin.ch/sn/de/home.html>
- Fotografien und Filme: <https://memobase.ch/>
- Bayerische Staatsbibliothek: <https://www.bsb-muenchen.de/recherche-und-service/suchen-und-finden/>
- Schweizer Zeitschriften: <https://www.e-periodica.ch>
- Sammlung Kern im Stadtmuseum Aarau: <https://www.kern-aarau.ch>
- Verkehrshaus der Schweiz: <https://zem-emp-059.os.stoney-cloud.com/doku/eMuseumPlus>
- SBB Historic Archive und Sammlungen: <https://www.sbbarchiv.ch/suchinfo.aspx>
- David Mauro: <http://www.alpentunnel.de/>
- Carl Waldis: https://www.gotthardbahn.ch/2_geschichte/2-geschichte.htm

(Alle Zugriffe am 21.12.2023)

10.3 Literatur

Die Arbeitsgruppe Tunnelvermessungen der Gesellschaft für die Geschichte der Geodäsie in der Schweiz (GGGS) hat mit dem Literaturverwaltungsprogramm [Zotero](#) eine Literatur Datenbank angelegt, in der fast alle Publikationen über die Vermessung des Gotthardbahn Scheiteltunnels und der Kehrtunnel auf der Zufahrtsstrecke, viele Fotografien und einige Messinstrumente katalogisiert sind. Zugriffe auf die Datenbank und auf viele gescannte Dokumente sind vorerst nur über die Gesellschaft möglich. Kontaktformular: <https://gggs.ch/kontakt.html>

Primärquellen aus der Planungs- und Bauzeit sind die öffentlich leicht zugänglichen Publikationen von Kaspar Wetli, Otto Gelpke, Carl Koppe und Carl Dolezalek. Eine gleich hohe Signifikanz haben die Publikationen von Friedrich Robert Helmert, S. Pestalozzi und Hans Zölly sowie der 'General-Bericht über die Europäische Gradmessung für das Jahr 1870' und die Publikationen der S.G.K. Eigene Felduntersuchungen hat auch David Mauro unternommen.

Die weiteren, nach der Bauzeit entstandenen Publikationen sind als Sekundärliteratur zu werten, mit gelegentlich nicht immer 100% wahrheitsgetreuer Interpretation.

- Aeschlimann, Heinz (1990): „Einen Tunnel abstecken“ im 19. Jahrhundert. Gotthard Simplon. Aarau: Sauerländer AG.
- Andreae, Charles (1948): Hundert Jahre Schweizerischer Tunnelbau. Zürich: Gebr. Fretz AG (= Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich). Online im Internet: URL: https://www.ngzh.ch/media/njb/Neujahrsblatt_NGZH_1948.pdf (Zugriff am: 18.03.2023).
- von Beckh, August; Gerwig, Robert (1865): Die Gotthardbahn in technischer Beziehung und Rentabilitäts-Berechnung auf Grundlage des kommerziellen und technischen Gutachtens. Zürich: J.J. Ulrich. Online im Internet: URL: <https://books.google.com/ag/books?id=GXg5AAAACAAJ&printsec=frontcover#v=one-page&q&f=false> (Zugriff am: 10.10.2023).
- Bundesamt für Landestopografie, swisstopo (2017): Geschichte von swisstopo. Wabern, Bern: Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 24 Seiten (unveröffentlicht).
- Burkhalter, Marianne; Sumi, Christian (Hrsg.) (2016): Der Gotthard / Il Gottardo. Landscape – Myths – Technology. Zürich: Scheidegger & Spiess. Online im Internet: URL: <https://www.scheidegger-spiess.ch/produkt/der-gotthard-il-gottardo/691> (Zugriff am: 07.01.2024).
- Centralbüro (1871): General-Bericht über die Europäische Gradmessung für das Jahr 1870. Berlin: Georg Reimer. Online im Internet: URL: https://gfzpublic.gfz-potsdam.de/rest/items/item_108148_3/component/file_108147/content (Zugriff am: 20.10.2022).
- Colladon, Daniel (1876): Die maschinellen Arbeiten zur Durchbohrung des Gotthardtunnels. Orell Füssli & Co. Online im Internet: URL: <https://doi.org/10.3931/e-rara-19729> (Zugriff am: 22.12.2023).
- Dolezalek, Carl (1878a): „Die Hilfsmittel für die Richtungsangabe im Gotthard-Tunnel“. In: Zeitschrift des Ingenieur- und Architektenvereins zu Hannover, 24 (1878), 2, S. 186–194.
- Dolezalek, Carl (1878b): „Firststollenbetrieb im Gotthardtunnel“. In: Zeitschrift des Ingenieur- und Architektenvereins zu Hannover, 24 (1878), Blatt 762 und 763.
- Dolezalek, Carl (1880): „Bericht zum Vortrag von Dolezalek: über den Durchschlag und die Richtungsbestimmung des Gotthardtunnels“. In: Zeitschrift des Ingenieur- und Architektenvereins zu Hannover, 26 (1880), 3, S. 317–320.
- Ebneter, Franz (2006): „Die Absteckung des Gotthard-Bahntunnels vor 125 Jahren : Vergleiche mit heute“. In: Geomatik Schweiz: Geoinformation und Landmanagement, 104 (2006), 6, S. 326–329. Online im Internet: DOI: <http://doi.org/10.5169/seals-236332>
- Fechtig, Robert; Kovári, Kalman (1997): Historische Alpendurchstiche in der Schweiz. Gotthard, Simplon, Lötschberg. 2. Herausgegeben von Gesellschaft für Ingenieurbaukunst. 2. Auflage. Zürich: Gesellschaft für Ingenieurbaukunst.
- Fritsch, K.E.O. (1870): „Rezension von ‚Bericht über die Bestimmung der St. Gotthard-Tunnel-Axe‘ von O. Gelpke“. In: Deutsche Bauzeitung, 4 (1870), 33, S. 266, 268. Online im Internet: DOI: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:co1-opus-8771>
- Gelpke, Otto (1870): „Bericht über die Bestimmung der St. Gotthard-Tunnel-Axe“. In: Der Civilingenieur, 16 (1870), S. 143–168. Online im Internet: DOI: <https://www.digitale-sammlungen.de/de/view/bsb10479630?page=86,87>

- Gelpke, Otto (1871): Bericht über die Bestimmung der St. Gotthard-Tunnel-Axe; Bericht über die oberirdische Absteckung der gefundenen St. Gotthard-Tunnelrichtung. Bern: Rieder & Simmen. Online im Internet: URL: <https://www.sbbarchiv.ch/detail.aspx?ID=190138> (Zugriff am: 04.08.2023).
- Gelpke, Otto (1872a): „Beschreibung eines neuen Basismessapparates (nach Prof. Wild)“. In: Der Civilingenieur, 18 (1872), S. 466–476. Online im Internet: DOI: <https://www.digitale-sammlungen.de/de/view/bsb11030234?page=318,319>
- Gelpke, Otto (1872b): Verschiebung der Tunnelaxe mit Berücksichtigung der Ergebnisse der neuen Basismessung für die Längen. Gotthardbahn-Gesellschaft. Online im Internet: URL: <https://www.sbbarchiv.ch/detail.aspx?id=190137> (Zugriff am: 11.06.2023).
- Gelpke, Otto (1880a): Absteckungsapparat zur Bestimmung der St. Gotthard-Tunnelaxe. Online im Internet: URL: http://www.alpentunnel.de/10_Epochial/30_Gotthard/20_Vermessung/10_Uebersicht/Bilder/Absteckungsapparat.JPG (Zugriff am: 02.03.2023).
- Gelpke, Otto (1880b): „Die letzten Richtungsverifikationen und der Durchschlag am grossen St. Gotthardtunnel“. In: Zeitschrift für Vermessungswesen, 9 (1880), 3/4, S. 101–116, 137–148, 149–163. Online im Internet: DOI: <https://archive.org/details/zeitschrift-frve16vermgooq/page/101/mode/1up?view=theater>
- Gotthardbahn-Gesellschaft (1879): Siebenter Geschäftsbericht der Direktion und des Verwaltungsrathes der Gotthardbahn umfassend das Jahr 1878. 7. Luzern: Meyersche Buchdruckerei (H. Keller). Online im Internet: URL: <https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=ggb-001%3A1878%3A7%3A%3A18> (Zugriff am: 24.12.2023).
- Gotthardbahn-Gesellschaft, Direktion; Favre, Louis (1872): Vertrag betreffend die Ausführung des grossen Gotthardtunnels. Gotthardbahn-Gesellschaft. Online im Internet: URL: [https://www.alptransit-portal.ch/Storages/User//Meilensteine/Pin_002%20\(22.5.1822\)/Dokumente_002/SBBHistoric_GB03_002_03_SBB_Vertrag-lowres.pdf](https://www.alptransit-portal.ch/Storages/User//Meilensteine/Pin_002%20(22.5.1822)/Dokumente_002/SBBHistoric_GB03_002_03_SBB_Vertrag-lowres.pdf) (Zugriff am: 08.03.2023).
- Helmert, Friedrich Robert (1876): „Discussion der Beobachtungsfehler in Koppe's Vermessung für die Gotthardtunnelachse“. In: Zeitschrift für Vermessungswesen, 5 (1876), 4, S. 146–155. Online im Internet: DOI: <https://www.digitale-sammlungen.de/de/view/bsb11335157?page=164,165>
- Hirsch, A.; Plantamour, Émile (1870): Nivellement de Précision de la Suisse exécuté par la Commission Géodésique Fédérale. Troisième Livraison. Genève et Bale: H. Georg (= Geodaetisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz). Online im Internet: URL: <https://www.sgc.ethz.ch/sgc-volumes/nivprec-3.pdf> (Zugriff am: 03.05.2023).
- Historischer Verein Uri (2016): Vom Gotthardtunnel zur NEAT. Wie die Jahrhundertprojekte Uri prägten. Ein Beitrag zur Urner Verkehrsgeschichte 1882 bis 2016. 106. Altdorf: Gisler Druck AG. Online im Internet: URL: <https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=hnu-001%3A2015%3A106%3A%3A4> (Zugriff am: 24.12.2023).
- Jung, Joseph; Staatsarchiv Zürich (2022): Digitale Briefedition Alfred Escher. Online im Internet: URL: https://www.briefedition.alfred-escher.ch/kontexte/uberblickskommენტare/Finanzierung_Gotthardbahn (Zugriff am: 10.10.2023).
- Knittel, Hartmut (2008): „Vermessung und Bau des Gotthardtunnels im 19. Jahrhundert“. In: Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG, 80 (2008), S. 39–50. Online im Internet: DOI: <http://doi.org/10.5169/seals-378440>

- Kobold, Fritz (1982): „Vor hundert Jahren : Die Absteckung des Gotthard-Bahntunnels“. In: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, 80 (1982), 3, S. 49–54. Online im Internet: DOI: <http://doi.org/10.5169/seals-231153>
- Koppe, Anna (1912): Carl Koppe - Ein Lebensbild dargestellt von Anna Koppe. Braunschweig: Friedrich Vieweg und Sohn. Online im Internet: URL: https://publikationsserver.tu-braunschweig.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dbbs_derivate_00006950/2013-1690.pdf (Zugriff am: 21.08.2022).
- Koppe, Carl (1875): „Bestimmung der Axe des Gotthardtunnels“. In: Zeitschrift für Vermessungswesen, 4 (1875), 8, S. 369–444. Online im Internet: DOI: <https://www.digitale-sammlungen.de/de/view/bsb11318394?page=386,387>
- Koppe, Carl (1876a): „Bestimmung der Axe des Gotthardtunnels II“. In: Zeitschrift für Vermessungswesen, 5 (1876), 8, S. 353–382. Online im Internet: DOI: <https://www.digitale-sammlungen.de/de/view/bsb11335157?page=372,373>
- Koppe, Carl (1876b): „Nachtrag zur Bestimmung der Achse des Gotthardtunnels“. In: Zeitschrift für Vermessungswesen, 5 (1876), 2, S. 86–90. Online im Internet: DOI: <https://www.digitale-sammlungen.de/de/view/bsb11335157?page=102,103>
- Koppe, Carl (1876c): „Trigonometrische Höhenmessung zur Tunneltriangulation“. In: Zeitschrift für Vermessungswesen, 5 (1876), 4, S. 129–145. Online im Internet: DOI: <https://www.digitale-sammlungen.de/de/view/bsb11335157?page=146,147>
- Koppe, Carl (1880a): „Die Absteckung der Axe im Gotthardtunnel“. In: Die Eisenbahn, 12 (1880), 8, S. 43–48. Online im Internet: DOI: <http://doi.org/10.5169/seals-8519>
- Koppe, Carl (1880b): „Ueber die Bestimmung der Absteckungs-Elemente für die sieben Kehrtunnels der Gotthardbahn“. In: Die Eisenbahn, 13 (1880), 6 und 7, S. 34–37 und 40–43. Online im Internet: DOI: <http://doi.org/10.5169/seals-8592> und <http://doi.org/10.5169/seals-8594>
- Koppe, Carl (1880c): „Ueber die Bestimmung der Absteckungs-Elemente für die sieben Kehrtunnels der Gotthardbahn“. In: Die Eisenbahn. Zürich: Orell Füssli & Co., 9 Seiten. Online im Internet: URL: http://www.alpentunnel.de/10_Epochial/30_Gotthard/20_Vermessung/10_Uebersicht/Bilder/Koppe_Kehrtunnel.pdf (Zugriff am: 08.05.2022).
- Koppe, Carl (1894): Die Vorarbeiten für den Bau der Gotthardbahn: Absteckung und Durchschlag des Gotthard-Tunnels. Berlin: Hermann Paetel (= Sammlung populärer Schriften Nr. 31).
- Koppe, Carl (1910a): „Die topographischen Grundlagen bei Eisenbahnvorarbeiten in verschiedenen Ländern“. In: Zeitschrift für Vermessungswesen, 39 (1910), 15, S. 401–410.
- Koppe, Carl (1910b): „Die vermessungstechnischen Grundlagen der Eisenbahnvorarbeiten in der Schweiz“. In: Zeitschrift des Vereins Schweizerischer Konkordatsgeometer, 8 (1910), 9 und 10, S. 183–190, 203–211, 212. Online im Internet: DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-181193> und <https://doi.org/10.5169/seals-181196>
- Labhardt, Eugen, SBB-Kreis II; Zölly, Hans (1937): Korrespondenzen betreffend neue Bestimmung der Länge des Gotthardtunnels durch die schweiz. Landestopografie, Bern. Online im Internet: URL: <https://www.sbbarchiv.ch/detail.aspx?ID=190131> (Zugriff am: 23.06.2023).

- Mauro, David (2010a): „Der Blick in den Berg : die Vermessungstechnik verändert die Landschaft am Gotthard“. In: Werk, Bauen + Wohnen, 97 (2010), 9, S. 20–25. Online im Internet: DOI: <http://doi.org/10.5169/seals-144811>
- Mauro, David (2010b): „Die Vermessungen des Gotthard-Eisenbahntunnels in den Jahren 1869–1880“. In: Geomatik Schweiz: Geoinformation und Landmanagement, 108 (2010), 12, S. 652–653.
- Messerschmitt, Johann Baptist (1902): „Neuberechnung der Länge des Gotthardtunnels“. In: Zeitschrift für Vermessungswesen, 31 (1902), 7, S. 189–191. Online im Internet: DOI: https://archive.org/details/bub_gb_K5plAAAAMAAJ/page/189/mode/2up
- Moeschlin, Felix (1947): Wir durchbohren den Gotthard. 1. Zürich: Büchergilde Gutenberg.
- Moeschlin, Felix (1993): „Wir durchbohren den Gotthard“. In: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, 91 (1993), 1, S. 41–45. Online im Internet: DOI: <http://doi.org/10.5169/seals-234933>
- Pestalozzi, S. (1877): „Die Absteckung der Achse des Gotthardtunnels: Vortrag gehalten an der X. Sitzung des Zürcher Ingenieur- und Architektenvereins“. In: Die Eisenbahn, 6 (1877), 12 und 13, S. 89–91 und 97–99. Online im Internet: DOI: <http://doi.org/10.5169/seals-5715> und <http://doi.org/10.5169/seals-5720>
- Schüpbach, Josef (1996): „Die Bestimmung der St. Gotthard-Tunnelachse im letzten Jahrhundert“. In: Eisenbahn-Amateur, 50 (1996), 8, S. 465–470.
- [S.N.] (1880): „Der erste Kehrtunnel der Gotthardbahn ist durchschlagen!“. In: Die Eisenbahn, 13 (1880), 25/26, S. 154–156. Online im Internet: DOI: <http://doi.org/10.5169/seals-8658> und <http://doi.org/10.5169/seals-8659>
- [S.N.] (1881a): „Richtstollen-Durchschlag der beiden Kehrtunnels bei Dazio“. In: Die Eisenbahn, 14 (1881), 25, S. 145–146. Online im Internet: DOI: <http://doi.org/10.5169/SEALS-9404>
- [S.N.] (1881b): „Zum Durchschlag des Wattinger Kehrtunnels“. In: Die Eisenbahn, 14 (1881), 8, S. 45. Online im Internet: DOI: <http://doi.org/10.5169/SEALS-9349>
- [S.N.] (1881c): „Richtstollen-Durchschlag des Kehrtunnels am Pfaffensprung“. In: Die Eisenbahn, 14 (1881), 17, S. 98–100. Online im Internet: DOI: <http://doi.org/10.5169/seals-9381>
- [S.N.] (1881d): „Die beiden südlichsten Kehrtunnels der Gotthardbahn: der Pianotondo- und der Travi-Tunnel“. In: Die Eisenbahn, 14 (1881), 22, S. 127–130. Online im Internet: DOI: <http://doi.org/10.5169/seals-9395>
- Technisches Inspectorat, E. Dapples (1880): Grosser Gotthardtunnel. Verification der Axenrichtung etc. am Durchschlagspunkte des Richtstollens. Online im Internet: URL: http://www.alpentunnel.de/10_Epochial/30_Gotthard/20_Vermessung/10_Uebersicht/Bilder/Verifikation_Durchschlag.pdf (Zugriff am: 22.12.2023).
- Waldis, Carl (2003): Die Geschichte der Gotthardbahn. Die Geschichte der Gotthardbahn. Online im Internet: URL: https://www.gotthardbahn.ch/2_geschichte/2_geschichte.htm (Zugriff am: 28.01.2023).
- Wetli, Kaspar (1876): Die technischen Vorarbeiten der Gotthardbahn. Erläuterung zu der offiziellen Darstellung der Finanzlage. Zürich: Orell Füssli & Co.

- Witte, Bertold (2014): „Die Vermessungsmethoden bei bedeutenden Tunnelbauwerken von der Antike bis heute“. In: Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 121 (2014), 3, S. 88–96.
- Zölly, Hans et al. (1871): Archivschachtel swisstopo „Gotthard-Bahntunnel. Akten 1871/82: Triangulation + Nivellement; Korrespondenz + Berechnungen 1937-38“.
- Zölly, Hans (1939): „Die Länge des Gotthardtunnels und die äussern Einrichtungen für seine Absteckung 1869-1939“. In: SBB-Nachrichtenblatt, 20 (1939), 10, S. 197–199.
- Zölly, Hans (1940a): „Die Länge des Gotthardtunnels und die äussern Einrichtungen für seine Absteckung : 1869-1939“. In: Schweizerische Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik, 38 (1940), 5, S. 84–92. Online im Internet: DOI: <http://doi.org/10.5169/seals-198519>
- Zölly, Hans (1940b): „Die Länge des Gotthardtunnels und die äussern Einrichtungen für seine Absteckung : 1869-1939 [Schluss]“. In: Schweizerische Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik, 38 (1940), 6, S. 105–111. Online im Internet: DOI: <http://doi.org/10.5169/seals-198520>
- Zölly, Hans (1940c): „Geodätische Grundlagen der Vermessungen im Kanton Uri“. In: Schweizerische Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik, 38 (1940), 2, 3 und 4, S. 17–31, 41–48 und 57–62. Online im Internet: DOI: <http://doi.org/10.5169/seals-198510> und <http://doi.org/10.5169/seals-198512> und <http://doi.org/10.5169/seals-198513>

11. Anhänge

11.1 Koordinatenverzeichnis der Triangulations- und Achspunkte von Gelpke und Koppe in LV95/LN02

Die Koordinaten von Gelpke und Koppe sind in einem nach Süden orientierten Zivilkoordinatensystem notiert. Basis für diesen Bezugsrahmen ist das Schmidt-Ellipsoid von 1828 (auch 'Ellipsoid von Schumacher' genannt, gelagert in der alten Sternwarte Bern) und die Bonne'sche Projektion (flächentreue, unechte Kegelprojektion).

H. Zölly hat 1937 die Zylinderkoordinaten beider Triangulationsnetze berechnet: ausgehend von den 1937 bekannten Zylinderkoordinaten zweier Punkte ihrer Gotthard-Triangulationsnetze (von Gelpke bzw. Koppe) sowie den ausgeglichenen Dreieckswinkeln aus den Publikationen von Gelpke bzw. Koppe hat Zölly mittels logarithmisch berechnetem Vorwärtsschnitt den dritten Punkt pro Dreieck berechnet.

H. Zölly hat zusätzlich eine Verzerrungskarte zwischen den Gelpke- bzw. Koppe-Koordinaten und den Zylinderkoordinaten erstellt:

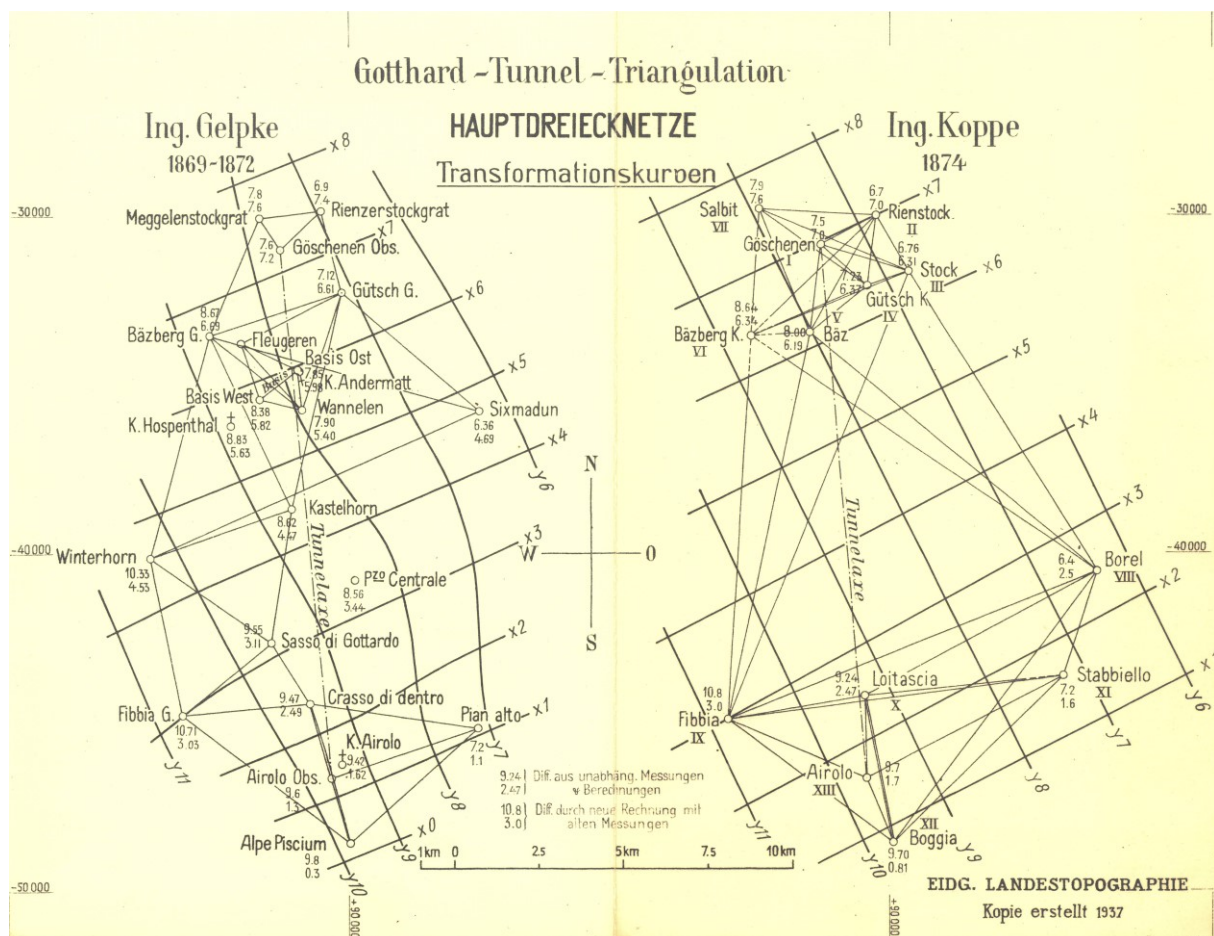


Abb. 45: Verzerrungskarte Gelpke/Koppe-Zylinderkoordinaten (swisstopo Archiv, 1937)

Der Autor hat die originalen Koordinaten der Achspunkte von Gelpke und Koppe um die Verzerrungsbeträge der nächstgelegenen Punkte nach Abb. 45 korrigiert und so genäherte LV03 Koordinaten erhalten.

Anschliessend hat er alle LV03 Koordinaten mit dem swisstopo Transformationsdienst REFRAAME in LV95 transformiert. Die Nachkommastellen der LV95 Koordinaten stehen keinesfalls für eine höhere Präzision, sondern für eine eindeutige Rücktransformation in die (nicht gerundeten) LV03 Ausgangskordinaten.

11.1.1 Triangulationsnetz von O. Gelpke

Die Ergänzungen in den Klammern stammen aus den Berechnungsdokumenten von H. Zölly. Die Punkte ohne Operatsnummer waren Topo-Punkte. Die Koordinaten und Höhen betreffen den heutigen Stand der Netzpunkte, kursiv gesetzte Höhen sind aus der Landeskarte interpoliert.

Die **rot** gekennzeichneten Punkte sind heute nicht mehr vorhanden.

Name	Y _{LV03}	X _{LV03}	Höhe _{LN02}	E _{LV95}	N _{LV95}
Meggelenstockgrat (87 Gö)	687'356.27	169'924.02	ca. 1'735	2'687'356.708	1'169'923.642
Rienzerstockgrat (95 Wa)	689'186.04	170'151.63	ca. 1'694	2'689'186.482	1'170'151.267
Göschenen Signal (107 Gö alt)	687'982.18	168'856.68	1'125.793	2'687'982.612	1'168'856.298
Bätzberg A III. Ord. (id. mit Δ von 1869)	685'871.56	166'453.75	2'492.59	2'685'871.994	1'166'453.405
Gütsch (110 Op. 427)	689'796.68	167'729.99	2'325.20	2'689'797.102	1'167'729.618
Six Madun / Badus (I. Ord.)	693'825.78	164'203.87	2'928.07	2'693'826.100	1'164'203.450
Winterhorn S.W. III. Ord. (id. (L+H) m. Δ von 1869)	684'095.32	159'856.28	2'628.93	2'684'095.655	1'159'855.902
Kastelhorn (Guspis III. Ord.)	688'301.28	161'335.04	2'819.57	2'688'301.614	1'161'334.638
Sasso di Gottardo (III. O.)	687'704.52	157'371.24	2'723.36	2'687'704.864	1'157'370.840
Fibbia (III. Ord. S; Neupunkt 1892)	685'061.77	155'212.96	2'738.75	2'685'062.043	1'155'212.675
Fibbia (III. Ord. N; Gelpke - Punkt)	685'062.12	155'217.85	2'737.92	2'685'062.393	1'155'217.565
Crasso di dentro (Scinfus III. Ord.)	688'838.02	155'569.53	2'404.69	2'688'838.361	1'155'569.126
Pian alto (335 Ti)	693'781.32	154'832.52	ca. 2'176	2'693'781.683	1'154'832.120
Airolo Signal (33 Ti)	689'473.86	153'362.27	1'143.36	2'689'474.150	1'153'361.893
Alpe Piscium (337 Ti)	690'033.09	151'442.83	ca. 2'062	2'690'033.351	1'151'442.449
Fleugern SE (102 Ur alt, Op. 427)	686'795.63	166'228.04	1'935.95	2'686'796.059	1'166'227.690
Fleugern NW (102 Op. 427)	686'794.59	166'229.01	1'935.57	2'686'795.019	1'166'228.660
Wannelen (91 Op. 427)	688'616.21	164'257.10	2034.08	2'688'616.580	1'164'256.695
Basis West (Süd-Ende, 83 Op. 427)	687'359.82	164'557.48	1437.57	2'687'360.209	1'164'557.084
Basis Ost (Nord-Ende, BP NNW Kirche 92 Ur)	688'482.30	165'443.28	1439.79	2'688'482.701	1'165'442.899
<u>Nebenpunkte</u>					
Kirche Hospenthal (61 Op. 427)	686'499.00	163'773.34	1510.58	2'686'499.377	1'163'772.938
Kirche Andermatt (92 Ur, Op. 427)	688'514.83	165'396.96	1'477.50	2'688'515.229	1'165'396.578
Kirche Airolo (45 Op. 275)	689'793.19	153'770.46	1'207.77	2'689'793.497	1'153'770.074
Pzo Centrale (III. Ord.)	690'165.96	159'217.76	2'999.25	2'690'166.260	1'159'217.379
Gipfel Winterhorn (~ Signal Winterhorn III. Ord.)	684'347.30	160'092.61	2'660.82	2'684'347.637	1'160'092.228

Bemerkungen zu den Punkten

Meggelenstockgrat: wurde zum Topo-Punkt 87 Gö. Liegt nahe der Landeskarten-Kote 1732. Fotoaufnahme in (Mauro 2010b, S. 653). In 2009 ist der ca. 1.15 m hohe Steinfeiler noch gut erhalten (Angabe von D. Mauro).

Rienzerstockgrat: wurde zum Topo-Punkt 95 Wa. Liegt ca. 7.8 m südlich der Landeskarten-Kote 1690. In 2009 ist der ca. 1.30 m hohe Steinfeiler noch gut erhalten, siehe Abb. 17 rechts (Angabe von D. Mauro).

Göschenen Signal (alt): wurde zum Topo-Punkt 107 Gö. Rekonstruiert und aufgerichtet von H. Zölly im Jahre 1937. Zwischenzeitlich bei der Verbreiterung der Gotthardstrasse zerstört, siehe auch Kap. 3.1.

Bätzberg: seit 2.6.1917 Triangulationspunkt 3. Ordnung 'Bätzberg A'. Am 13.8.1931 auf 2 cm genau rekonstruiert und zentrisch neu versichert durch Lochbolzen in grossem Block; exzentrisch 4 Kreuze. In Höhe 1.39 m tiefer als früher angebracht. Das Versicherungsprotokoll 1231.607 A (Blatt 2) ist bei swisstopo einsehbar. Der Punkt wurde am 27.11.2002 zum LFP3 umklassiert und ist in <https://geo.ur.ch/> nicht aufgeführt.

- Gütsch:** wurde zum Triangulationspunkt 4. Ordnung Nr. 110 in Operat 427 und dann zum Punkt 12318110. Der Steinfeiler ist nicht mehr vorhanden, sondern der heutige Lagefixpunkt 3 ist mit Lochbolzen versichert und mit gleicher Punktnummer in <https://geo.ur.ch/> aufgeführt. Fotoaufnahmen in 2007 von D. Mauro in seinem [Expeditionsbericht](#).
- Six Madun / Badus:** wurde 1913 zum Triangulationspunkt 1. Ordnung und 1960 RETrig Punkt CH 29. Sein Zentrums-Lochbolzen ist nicht stabil, aber heute existent, das Punktversicherungsprotokoll ist über <https://map.geo.admin.ch/> zugänglich.
- Winterhorn:** wurde 1917 zum Triangulationspunkt 3. Ordnung 'Winterhorn SW', war zentrisch versichert mit Stiftloch in Deckplatte eines Steinmanns und exzentrisch mit 3 Kreuzen in Blöcken. Das Punktversicherungsprotokoll 1231.622 ist mit den Revisionsbemerkungen (u.a. in Lage + Höhe identisch mit Δ von 1869) bei swisstopo einsehbar und nennt als Versicherung: Getürmte Granitplatten mit Stiftloch; ex: 3 Kreuze. Der Punkt wurde am 27.11.2002 zum LFP3 umklassiert und ist in <https://geo.ur.ch/> nicht aufgeführt. 2009 steht der gut erhaltene, ca. 1.45 m hohe Steinfeiler schief (Angabe von D. Mauro).
- Kastelhorn:** wurde 1917 zum Triangulationspunkt 3. Ordnung 'Guspis'. Er wurde übernommen wie er war, zentrisch versichert mit Steinmann und exzentrisch mit 4 Kreuzen. Am 8.8.1931 wurde der Punkt in identischer Lage neu mit Lochbolzen in Lagerstein zentrisch versichert und exzentrisch mit den 4 bestehenden Kreuzen. Das Punktversicherungsprotokoll ist mit den Revisionsbemerkungen bei swisstopo einsehbar. Der Punkt wurde am 27.11.2002 zum LFP3 umklassiert und ist in <https://geo.ur.ch/> nicht aufgeführt. Nach D. Mauro ist er 2009 noch vorhanden.
- Sasso di Gottardo:** wurde am 10.8.1917 zum Triangulationspunkt 3. Ordnung auf dem Monte Prosa. Versichert als eingraviertes Loch mit 3 exzentrischen Kreuzen. Besteht seit 3.6.2005 als Lagefixpunkt 2 Nr. 12517030, sein Punktversicherungsprotokoll ist über <https://map.geo.admin.ch/> zugänglich.
- Fibbia:** wurde zum Triangulationspunkt 3. Ordnung N. Besteht seit 31.12.1996 als Lagefixpunkt 2 Nr. 12516090, sein Punktversicherungsprotokoll ist über <https://map.geo.admin.ch/> zugänglich (Der Triangulationspunkt 3. Ordnung S existiert seit 1892 und ist heute Lagefixpunkt 2 Nr. 12516091, sein Punktversicherungsprotokoll ist ebenfalls über Internet zugänglich).
- Crasso di dentro:** wurde zum Triangulationspunkt 3. Ordnung 'Scinfus', versichert als Lochbolzen mit 2 exzentrischen Kreuzen und einem exzentrischen Bolzen. Er ist seit 3.6.2005 Lagefixpunkt 2 Nr. 12518060, sein Punktversicherungsprotokoll ist über <https://map.geo.admin.ch/> zugänglich. Fotoaufnahmen in 2007 von D. Mauro in seinem [Expeditionsbericht](#).
- Pian alto:** wurde zum Topo-Punkt 335 Ti. Heute bestehen keine Punktversicherung und kein Versicherungsprotokoll mehr.
- Airolo Signal (alt):** wurde zum Topo-Punkt 33 Ti und besteht heute nicht mehr. Historie siehe Kap. 3.1.
- Alpe Piscium:** wurde zum Topo-Punkt 337 Ti und später beim Bau einer Seilbahnstation zerstört.
- Fleugern:** wurde zum Triangulationspunkt 4. Ordnung Nr. 102 in Operat 427. Der Punkt von Gelpke ist als 102 NW rekonstruiert und am 9.9.1938 durch Lochbolzen in Fels (35 cm unter Boden) versichert worden. Ein Neupunkt 102 SE war am 12.8.1931 durch Lochbolzen in Fels und exzentrisch 3 Kreuzen versichert worden. Die Zwischendistanz der beiden Punkte beträgt 1.418 m. Bei swisstopo sind die Rekonstruktionsakten und Punktversicherungsprotokolle einsehbar. Punkt 102 SE wurde dann zu Punkt 12317190, versichert mit Lochbolzen und

2002 umklassiert zu einem Lagefixpunkt 3 mit gleicher Punktnummer. Dieser SE Punkt ist heute in <https://geo.ur.ch/> enthalten, der Punkt NW von Gelpke nicht mehr. Fotoaufnahmen in 2007 von D. Mauro in seinem [Expeditionsbericht](#).

Wannelen: wurde zum Triangulationspunkt 4. Ordnung Nr. 91 in Operat 427 und dann zu Punkt 12318280. Versichert mit Lochbolzen in Stein und exzentrisch 3 Kreuzen. Ist heute als Lagefixpunkt 3 mit gleicher Punktnummer in <https://geo.ur.ch/> enthalten. Fotoaufnahmen in 2007 von D. Mauro in seinem [Expeditionsbericht](#).

Basis West: wurde am 27.7.1931 zum Triangulationspunkt 4. Ordnung Nr. 83 in Operat 427. Am 7.9.1938 wurde der Pfeiler aufgerichtet, durch exzentrische Bodenplatten rückversichert und seine Koordinaten neu bestimmt. Am 20.9.1989 wurde der Punkt auf den Reussdamm verlegt, dort als Stein neu versichert und bestimmt. Im Punktversicherungsprotokoll 1231.727 (bei swisstopo einsehbar, seit 2002 Lagefixpunkt 3 Nr. 12317270) sind die beiden ursprünglichen, exzentrischen Tonplatten noch eingezeichnet. In 2007 soll der alte Pfeiler nach D. Mauro noch unter der Wiese vorhanden gewesen sein, siehe [Expeditionsbericht](#). In <https://geo.ur.ch/> ist er nicht aufgeführt.

Basis Ost: wurde 1930-31 zum Triangulationspunkt 4. Ordnung Nr. 92 in Operat 427 als Bodenpunkt NNW der Kirche Andermatt. Er ist versichert als Granitpfeiler \varnothing 29 cm mit einem Eisendorn \varnothing 2 cm (mit Kreuzkerbe) im Zentrum und liegt in der Friedhofanlage, 50 cm unter Boden. Zusätzlich rückversichert durch 2 Tonbodenplatten. 1946 wurde er durch eine 30 cm Zementröhre mit Schachtkappe zugänglich gemacht. Die zeichnerischen Details sind im Punktversicherungsprotokoll im Operatsbuch 427 bei swisstopo einsehbar. Am 21.9.1989 wurde der Punkt im Versicherungsprotokoll 1231.822 gelöscht und ist nicht mehr in <https://geo.ur.ch/> enthalten; D. Mauro hat ihn 2009 gut erhalten gefunden.

Nebenpunkte

Kirche Hospenthal: wurde zum Triangulationspunkt 4. Ordnung Nr. 61 in Operat 427 und dann zum Lagefixpunkt 2 Nr. 12317319. Sein Punktversicherungsprotokoll ist über <https://map.geo.admin.ch/> zugänglich.

Kirche Andermatt: wurde zum Triangulationspunkt 4. Ordnung Nr. 92 in Operat 427 und dann zum Lagefixpunkt 2 Nr. 12318229. Die Koordinaten haben am 24.4.1972, die Höhe am 21.9.1989 geändert. Sein Punktversicherungsprotokoll ist über <https://map.geo.admin.ch/> zugänglich.

Kirche Airola: wurde zum Triangulationspunkt 4. Ordnung Nr. 45 in Operat 275 und dann zum Lagefixpunkt 2 Nr. 12518130. Die Koordinaten haben am 31.8.2004 zufolge Neueinmessung geändert. Sein Punktversicherungsprotokoll ist über <https://map.geo.admin.ch/> zugänglich.

Pzo Centrale: wurde 1917 zum Triangulationspunkt 3. Ordnung 'Pizzo Centrale', identisch in (YXH) mit dem LFP von 1874. Besteht seit 3.6.2005 als Lagefixpunkt 2 Nr. 12320210. Versicherung: eingraviertes Loch in einem Dreieck; exzentrisch 2 Kreuze, 2 Bolzen. Sein Punktversicherungsprotokoll ist über <https://map.geo.admin.ch/> zugänglich.

Gipfel Winterhorn: wurde am 5.9.1917 als Triangulationspunkt 3. Ordnung 'Winterhorn' zentrisch versichert mit Bronze-Lochbolzen, exzentrisch 4 Kreuzen und 1 Bolzen. Änderte dann in Operat 427 am 28.8.1931 und später am 2.12.1987 die Koordinaten und Höhe. Am 27.9.1985 stellte W. Santschi, swisstopo fest: «Das Zentrum scheint zu rutschen, und zwar ca. Y: +6mm, X: -6mm pro Jahr in der Lage; aber auch in der Höhe scheint er sich wenige mm pro Jahr zu senken (M: 1917÷1945)». Wurde in 2002 zum LFP3 umklassiert. Sein Punktversicherungsprotokoll und die Revisionsbemerkungen sind bei swisstopo einsehbar. Er ist in <https://geo.ur.ch/> nicht aufgeführt.

11.1.2 Triangulationsnetz von C. Koppe

Die Ergänzungen in den Klammern stammen aus den Berechnungsdokumenten von H. Zölly. Die Punkte ohne Operatsnummer waren Topo-Punkte. Kursiv gesetzte Höhen sind aus der Landeskarte interpoliert.

Die **rot** gekennzeichneten Punkte sind heute nicht mehr vorhanden.

Name	Y _{LV03}	X _{LV03}	Höhe _{LN02}	E _{LV03}	N _{LV03}
Göschenen, Observatorium	687'960.81	169'136.00	1'104.81	2'687'961.242	1'169'135.616
Rienstock (= Topo-Pkt 153 Gö)	689'584.35	169'991.79	ca. 1'927	2'689'584.791	1'169'991.432
Stock (= Punkt III. Ord. in Lage)	690'570.29	168'350.20	2'479.37	2'690'570.716	1'168'349.831
Gütsch (= Pkt. No. 72 Op. 426)	689'332.51	167'913.45	2'184.13	2'689'332.934	1'167'913.077
Bäz (= Pkt. No. 104 Op. 427)	687'634.88	166'546.69	1'797.10	2'687'635.309	1'166'546.332
Bäzberg (B. III. Ord. 1917-1931)	685'903.40	166'447.19	2'482.14	2'685'903.834	1'166'446.845
Salbit (= Topo-Pkt. 154 Gö)	686'124.54	170'190.52	1'971.52	2'686'124.988	1'170'190.152
Borel (= Topo-Pkt. 338 Ti)	696'111.29	159'476.70	2'872.81	2'696'111.565	1'159'476.325
Fibbia (339 Ti)	685'222.37	155'105.44	2'697.09	2'685'222.642	1'155'105.151
Loitascia (= Punkt III. Ord. in Lage)	689'271.02	155'787.77	2'431.61	2'689'271.374	1'155'787.349
Stabbiello	695'118.56	156'388.37	2'443.23	2'695'118.926	1'156'387.967
Boggia (= Punkt III. Ord. in Lage)	690'118.63	151'454.62	2'056.86	2'690'118.892	1'151'454.239
Airola (= Topo-Pkt 336 Ti)	689'323.86	153'347.78	1'143.86	2'689'324.148	1'153'347.404

Bemerkungen zu den Punkten

Göschenen, Observatorium: existiert heute nicht mehr, siehe Kap. 3.2.

Rienstock: wurde zum Topo-Punkt 153 Gö. Vom ursprünglichen Steinpfeiler sind 2009 noch einzelne, überwachsene Platten vorhanden (Angabe von D. Mauro). Heutiger Zustand vermutlich gleich.

Stock: Der Pfeiler aus dem Jahre 1874 wurde am 31.5.1917 zum Triangulationspunkt III. Ordnung 'Stock', in Lage identisch aber ca. 22 cm tiefer, mittels Bronze-Lochbolzen versichert. Am 25.8.1931 wurde seine Höhe bestimmt und südöstlich ein neues Exzentrum 'Stock SE' versichert und neu bestimmt. Am 26.8.1959 wurde anstelle des alten zerstörten Zentrumspunktes 0.991 m entfernt ein neues Zentrum mittels Lochbolzen versichert und neu bestimmt. Am 18.10.1999 wurde dieses zum Lagefixpunkt 3 umklassiert und der Punkt 'Stock SE' zum Zentrumspunkt. Die Differenz des heutigen Lagefixpunktes 3 Nr. 12320020 minus ursprünglicher Zentrumspunkt ist $\Delta E = 0.810$ m, $\Delta N = 0.570$ m, $\Delta H = 0.030$ m. Siehe auch die Fotoaufnahmen in 2007 von D. Mauro in seinem [Expeditionsbericht](#).

Gütsch: Wurde zum Triangulationspunkt 4. Ordnung Nr. 72 in Operat 426 und dann zum Punkt 12318100. Versichert als ca. 1.20 m hoher Steinpfeiler mit zentrischer Eisenröhre \varnothing 63 mm (vermutlich original) und exzentrisch 3 Kreuzen. Ist heute als Lagefixpunkt 3 mit gleicher Punktnummer und Versicherungsart 'Bolzen' in <https://geo.ur.ch/> aufgeführt. Angaben von D. Mauro, siehe auch seine Fotoaufnahmen in 2007 in seinem [Expeditionsbericht](#).

Bäz: War nach H. Zölly identisch mit dem alten Zentrum Eisenrohr von Triangulationspunkt 4. Ordnung Nr. 104 in Operat 427. Dieser Punkt mit dem heutigen Lagefixpunkt 3 Nr. 12317170 (Versicherungsart 'Lochbolzen', in <https://geo.ur.ch/> aufgeführt) stimmt nicht mit dem ursprünglichen Punkt von Koppe überein. Das 'Eisenrohr auf altem Zentrum' dürfte von der gerechneten Distanz 1.600 m her stimmen. Das Versicherungsprotokoll 1231.717 ist bei swisstopo einsehbar. Siehe auch die Fotoaufnahmen in 2007 von D. Mauro in seinem [Expeditionsbericht](#).

Bäzberg: Wurde am 2.6.1917 zum Triangulationspunkt 3. Ordnung 'Bäzberg B' mit Vermerk 'Id. mit Δ von 1874'. Am 13.8.1931 auf 5 cm genau rekonstruiert und ein

Lochbolzen 40 cm tiefer als früher als neue zentrische Versicherung gesetzt. Die 3 Kreuze von 1874 blieben unverändert und wurden am 19.7.1990 neu eingemessen. In der Folge Namensänderung zu '1231.607, Blatt 3'. Am 27.11.2002 Umklassierung zu einem Lagefixpunkt 3. Er ist in 2009 laut D. Mauro noch vorhanden, heute sicher auch noch, jedoch in den digitalen Geodaten nicht mehr enthalten.

Salbit: Wurde zum Topo-Punkt 154 Gö oberhalb 'Tröggengand' gelegen. Der ca. 0.7 m hohe Sockel des beschädigten Steinpfeilers ist 2009 noch vorhanden. (laut Angabe von D. Mauro). Heutiger Zustand vermutlich gleich.

Borel: Wurde zum Topo-Punkt 338 Ti. Liegt auf dem WSW-Grat des Piz Borel, in der Landeskarte 4 m von der Kote 2872 entfernt. D. Mauro findet 2009 noch einen schiefen Messpfeiler mit Eisenstange. Heutiger Zustand vermutlich gleich.

Fibbia: Wurde zum Topo-Punkt 339 Ti, die Höhe stammt aus (Koppe 1875, S. 389). Liegt in der Landeskarte 14.5 m ESE der Kote 2696. Heute liegen nur noch Platten des Steinpfeilers herum mit einer lose eingesteckten Eisenstange (Angabe von D. Mauro).

Loitascia: Wurde am 10.9.1918 in Lage zum Triangulationspunkt III. Ord. 'Loitascia'. Seit 3.6.2005 Lagefixpunkt 2 Nr. 12518050, versichert mit Lochbolzen, exzentrisch 3 Kreuze. Sein Versicherungsprotokoll ist in <https://map.geo.admin.ch/> und in <https://map.geo.ti.ch/> einsehbar. Siehe auch D. Mauros [Expeditionsbericht](#).

Stabbiello: Der Punkt von Koppe war zerfallen, als seine Lagebeziehung 1937/38 ausgehend vom Triangulationspunkt 4. Ordnung 62 Operat 249/250 erhoben wurde. Er lag $\Delta E = -0.800$ m, $\Delta N = -0.340$ m, $\Delta H = -1.650$ m ausgehend vom damaligen Zentrum und heutigen Lagefixpunkt 2 Nr. 12522050 entfernt. In der Höhenklaffung ist die frühere Pfeilerhöhe (gemäss (Koppe 1875, S. 377) ca. 1.2 bis 1.3 m) ab gewachsenem Terrain eingeschlossen.

Boggia: Wurde in Lage unverändert zum Triangulationspunkt III. Ordnung 'Boggia' und dann zum Punkt 1252.032. Am 31.8.2004 in Lage und Höhe neu vermessen, verbunden mit Koordinatenänderungen: Die Differenz heutiger Lagefixpunkt 2 (umklassiert am 3.6.2005) Nr. 12320320 minus ursprünglicher Zentrumspunkt ist $\Delta E = -0.130$ m, $\Delta N = 0.190$ m, $\Delta H = -0.220$ m. Das neue Versicherungsprotokoll ist in <https://map.geo.admin.ch/> und in <https://map.geo.ti.ch/> einsehbar. Siehe auch die Fotoaufnahmen in 2007 von D. Mauro in seinem [Expeditionsbericht](#).

Airolo: Wurde zum Topo-Punkt 336 Ti. Liegt heute auf einem Nationalstrassengrundstück in einem bewaldeten Abhang zum Ausgleichsbecken, ca. 4.3 m westlich des Bächleins und dürfte zerstört sein.

11.1.3 Achspunkte, Observatorien und weitere Punkte

RFN steht für 'Richtungsfenster Nord', RFS für 'Richtungsfenster Süd' (auch Tunnelmarke).

Die **rot** geschriebene Punkte sind heute nicht mehr vorhanden.

Name	Y _{LV03}	X _{LV03}	Höhe _{LN02}	E _{LV95}	N _{LV95}
Göschenen neu (Gelpke)	687'969.08	168'992.79	keine Angabe	2'687'969.512	1'168'992.411
Göschenen neu II (Gelpke)	687'972.86	168'996.66	keine Angabe	2'687'973.292	1'168'996.277
Göschenen neu III Gelpke (Gö 81 N)	687'974.44	168'978.37	1'123.433	2'687'974.872	1'168'977.987
Observatorium Göschenen (Koppe)	687'960.81	169'136.00	1'104.81	2'687'961.242	1'169'135.616
Astronom. Pfeiler Koppe (Gö 81 S)	687'974.63	168'976.16	1'124.45	2'687'975.062	1'168'975.777
Göschenen, RFN (Topo-Pkt 145 Gö)	687'928.86	169'506.67	1'277.0	2'687'929.293	1'169'506.286
Göschenen, RFS (Topo-Pkt 146 Gö)	688'060.62	167'979.79	1'476.8	2'688'061.050	1'167'979.416
Tunnelportal N (Topo-Pkt 155 Gö)	688'007.22	168'598.75	keine Angabe	2'688'007.651	1'168'598.371
Airolo, RFN (394 Ti)	689'236.34	154'361.59	1'452.16	2'689'236.654	1'154'361.195
Airolo, RFS (395 Ti)	689'387.46	152'611.14	1'435.99	2'689'387.730	1'152'610.772
Airolo Signal von Gelpke (33 Ti)	689'473.86	153'362.27	1'143.36	2'689'474.150	1'153'361.893
Jalon I dans la direction de Pian alto	689'326.92	153'312.17	keine Angabe	2'689'327.208	1'153'311.798
Jalon II (ob Richtungstunnel Airolo)	689'291.21	153'726.03	keine Angabe	2'689'291.502	1'153'725.651
Airolo neu (Gelpke, Steinpfeiler)	689'323.21	153'355.10	1'141.696	2'689'323.497	1'153'354.722
Neuer Axpunkt Gelpke Süd (109 Ai)	689'457.18	153'535.50	1'142.127	2'689'457.475	1'153'535.120
Pfeiler Koppe, Zentrum alt (336 Ti)	689'323.86	153'347.78	1'141.01	2'689'324.148	1'153'347.404
Neuer Axpunkt Koppe (108 Ai)	689'303.36	153'585.31	1'142.609	2'689'303.654	1'153'584.929
Tunnelportal Süd, Mitte (399 Ti)	689'362.61	153'675.08	keine Angabe	2'689'362.907	1'153'674.698

Die ursprüngliche Achse aus dem Jahre 1869 ist definiert durch die Punkte 'Göschenen Signal (107 Gö alt)' – 'Göschenen neu (Gelpke)' – 'Neuer Axpunkt Gelpke Süd (109 Ai)' – 'Airolo Signal von Gelpke (33 Ti)'. Alle Punkte liegen in den LV03- und LV95-Bezugsrahmen in einem Querabstand von weniger als 4 mm auf der Achse.

Die Achspunkte der definitiven (im Jahre 1872 gedrehten) Achse liegen in den LV03- und LV95-Bezugsrahmen alle in einem Querabstand von weniger als 2.8 cm auf der Achse, die von 'Göschenen neu III' und 'Airolo neu (Gelpke, Steinpfeiler)' aufgespannt ist.

Bemerkungen zu den Punkten

Siehe auch Kap 3, 3.1, 3.2 und 4.2.1 sowie die Abb. 6, Abb. 20 und Abb. 36.

Göschenen neu (von Gelpke, in der Tunnelachse vor der Drehung): Es liegen nur Koordinaten im ursprünglichen, verzerrten Bezugsrahmen vor, heutige Zylinderkoordinaten hat der Autor aus einer Achsberechnung mit originären Absteckungsmassen (Orthogonalaufnahme) berechnet. Der Punkt läge heute im Gebäude 215b.

Göschenen neu II (Pfahl von Gelpke, in der Tunnelachse nach der Drehung): Es liegen nur Koordinaten im ursprünglichen, verzerrten Bezugsrahmen vor, heutige Zylinderkoordinaten sind daraus transformiert. Der Punkt läge heute im Gebäude 215a, 18.349 m nördlich des Messpfeilers Göschenen neu III.

Göschenen neu III (von Gelpke, in der Tunnelachse nach der Drehung): Der 1872 von Gelpke versicherte Messpfeiler liegt heute in Lage und Höhe unverändert unter Boden und ist vorhanden als Lagefixpunkt 3 Nr. 992625. Zwischenzeitlich wurden 3 exzentrische Kreuze geschlagen und ein Bolzen ins Pfeilerzentrum gesetzt, das heute ca. 10 cm unter der Bodenoberfläche liegt. Das Punktversicherungsprotokoll 1231.706 ist bei swisstopo einsehbar, der Punkt in <https://geo.ur.ch/> aufgeführt. Siehe auch Kap. 3.2.

Observatorium Göschenen (Koppe): nicht mehr vorhanden, siehe Kap. 11.1.2. und Kap. 3.2.

Astronom. Pfeiler Koppe: seine Geschichte ist in Kap. 3.1 nachzulesen. Der 3.7 t schwere Granitpfeiler befindet sich nun im Aussenlager des Verkehrshauses der Schweiz, Unter Bueche, Geissbach 1.3, 6026 Rain.

Die **Richtungsfenster RFN** und **RFS** in Göschenen von Gelpke und Koppe, auch 'Tunnelmarken' genannt, sind in Kap. 4.2.1 beschrieben. H. Zölly und seine Mitarbeiter haben ihre Koordinaten und Höhen 1938 bestimmt. Beide sind 2009 (Angabe D. Mauro) und wohl auch heute noch vorhanden, allerdings stark verrostet (Abb. 21 und Abb. 22).

Tunnelportalpunkte: wurden nach Tunnelverlängerungen 1882 und 1886 im Jahre 1938 neu bestimmt (Mitte Haupttunnel) und waren unversichert. Portalpunkt Göschenen stimmt heute noch (siehe auch D. Mauros [Expeditionsbericht](#)), Portalpunkt Airolo wurde vom Neubau eines Strassenkreisels überdeckt.

'**Jalon I** (dans la direction du Pian alto)': Es liegen nur Koordinaten im ursprünglichen, verzerrten Bezugsrahmen vor, heutige Zylinderkoordinaten sind daraus transformiert.

'**Jalon II**' (oberhalb Richtungstunnel Airolo): Es liegen nur Koordinaten im ursprünglichen, verzerrten Bezugsrahmen vor, heutige Zylinderkoordinaten sind daraus transformiert.

Airolo Signal (von Gelpke, in der Tunnelachse vor der Drehung): siehe Kap. 11.1.1.

Airolo neu (Steinpfeiler von Gelpke), genau in der Verlängerung der räumlichen Tunnelachse, 43.085 m vom Bezugspunkt 'Jalon I' gegen den Ticino hin gelegen und heute nicht mehr vorhanden. Es liegen nur Koordinaten im ursprünglichen, verzerrten Bezugsrahmen vor, heutige Zylinderkoordinaten sind daraus transformiert.

Observatorium von Koppe (336 Ti), 7.19 m südlich des Steinpfeilers 'Airolo neu' von Gelpke gelegen und heute nicht mehr vorhanden.

Neuer Axpunkt Gelpke Süd: lag auf der früheren Tunnelachse und wurde unter Zölly 1938 als neue rückwärtige Versicherung des alten Gelpke Pfeilers (33 Ti) auf dem SBB-Bahnareal mit zwei aufgeschichteten quadratischen Granitquadern versichert (herrührend von Gelpkes Achspfeiler 'Airolo Signal'), trigonometrisch bestimmt und als Triangulationspunkt 4. Ordnung Nr. 109 Ai benannt. Er wurde zwischen 1971 und 1975 beim Autobahnbau zerstört. Sein Punktversicherungsprotokoll ist im Operatsbuch 275 bei swisstopo einsehbar.

Neuer Axpunkt Koppe: lag auf der gedrehten, endgültigen Tunnelachse und wurde von Zölly 1938 als neue rückwärtige Versicherung für den zerfallenden Pfeilers Koppe (Topo-Punkt 336 Ti) versichert. Er verwendete dazu den Granitstein dieses 'Pfeiler Koppe, Zentrum alt', unterlegte zusätzlich eine Bodenplatte und bestimmte ihn trigonometrisch neu als Triangulationspunkt 4. Ordnung Nr. 108 Ai. Er lag im Vorplatz des Zeughauses (heute unter Strassenbelag) und wurde zwischen 1971 und 1975 überdeckt oder zerstört. Sein Punktversicherungsprotokoll ist im Operatsbuch 275 bei swisstopo einsehbar.

Die **Richtungsfenster RFN** und **RFS** in Airolo von Gelpke und Koppe, auch 'Tunnelmarken' genannt, sind in Kap. 4.2.1 beschrieben. H. Zölly und seine Mitarbeiter haben ihre Koordinaten und Höhen 1938 bestimmt. Bei **RFN** ist 2009 die ausgespitzte Felsnische noch vorhanden, die eingemauerte Metallplatte fehlt (Abb. 23). Die in einer Felsnische eingemauerte Metallplatte **RFS** mit Visierloch ist 2009 noch verrostet vorhanden (Abb. 24). (Angabe D. Mauro) und wohl auch heute noch vorhanden, allerdings stark verrostet.

11.2 Inventarblätter

Im Rahmen der Nachforschungen hat der Autor auch verschiedene Inventarblätter von Objekten gefunden und korrigiert bzw. angelegt, die hier beiliegen.

11.2.1 grosses Passageinstrument (Kern Aarau, VHS 119)

Kern Aarau: siehe <https://sammlung.stadtmuseum.ch/de/collection/item/22373/>, Blatt 2

VHS 119: siehe Beilage

11.2.2 8" Gotthard-Theodolit (swisstopo Nr. 1020)

Es ist kein Inventarblatt vorhanden.

Bei swisstopo ist neben dem Instrument eine Serie von 41 hoch aufgelösten Farbbildern einsehbar.

11.2.3 Astronomischer Pfeiler (VHS 12154)

Siehe Beilage

11.2.4 7 Zoll Theodolit von Otto Fennel in Cassel (VHS Nr. 3525)

Siehe Beilage

11.3 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Messtischblatt des Gotthardbahn-Projekts, aufgenommen mit einer Kern Kippregel von Kaspar Wetli, 1861 mit den damals geplanten Spitzkehren der Bahnlinie (SBB Historic) 6	
Abb. 2: Messtisch-Plan 1:2'500 Wattingen – Wasen, ca. 1875 (SBB Historic, PL_120_00014, URL: https://www.sbbarchiv.ch/detail.aspx?ID=573646)	7
Abb. 3: Ausschnitt aus dem Katasterplan 1:1'000 Göschenen mit projektierten Achsen alt und neu, nach 1872 (SBB Historic, PL_120_00014).....	8
Abb. 4: Triangulationsnetz entlang der Gotthardbahn-Achse im Bereich Pianotondo - Travi (SBB Historic, PL_120_00007_02).....	8
Abb. 5: Skizze aus der Verschiebung der Tunnelaxe (Gelpke 1872b).....	9
Abb. 6: Skizze der Fixpunkte in Airolo (SBB Historic, VGB_GB_SBBGB02_049_06)	11
Abb. 7: (alter) Axpfeiler Nord von Gelpke in Göschenen, 1938 von H. Zölly als 'Top. Punkt 107 Gö' senkrecht gestellt (swisstopo Bild 5546c, 1938).....	12
Abb. 8: Gelpkes «Göschenen neu III» (links, bodeneben) und Koppes astronomischer Pfeiler 1874, von H. Zölly im Areal des Bahndienstgebäudes neu versetzt (swisstopo Bilder 5545a, 5545c, 1938)	13
Abb. 9: Gelpkes Achspunkt in Airolo mit Blick gegen den Tunnel, von Zölly als Top. Punkt No 33 Ti bezeichnet (swisstopo Bild 5547b, 1938)	14
Abb. 10: Reste von Koppes Astr. Pfeiler 1874 in Airolo, von H. Zölly als Top. Punkt No 336 Ti bezeichnet. Bild 6 aus (Zölly 1940a, S. 89), swisstopo Bild 5548c, 1938	15
Abb. 11: Situationsplan für die Tunnelvisur 1:1000 in Göschenen (SBB Historic, VGB_GB_SBBGB02_049_02)	16
Abb. 12: Plan 1:25 des Observatoriums Airolo (SBB Historic, PL_120_00007_02).....	17
Abb. 13: Bauablauf Vortrieb: First- oder Richtungsstollen links, Erweiterung Kalotte Mitte, Sohlstollen rechts. (Bild aus www.alpentunnel.de , unterzeichnet 'Altorf le 26 Mars 1879 L. Favre) gut zusammengefasst in (Fechtig; Kovári 1997, S. 8–31 und 126).....	18
Abb. 14: Gotthard-Tunnel: System des Abbaus, Tafel 1 aus (Colladon 1876).....	19
Abb. 15: Kern Präzisions Nivellier der S.G.K., 1867 (Sammlung Kern im Stadtmuseum Aarau)	20
Abb. 16: Triangulationsnetz von Gelpke, aus (Gelpke 1871, S. 18)	21
Abb. 17: Messpfeiler Rienzerstockgrat von Gelpke, Zustand 1931 und 2009. Das Instrument wird links auf der zweitobersten Platte zentrisch aufgestellt (Zölly 1940c, S. 24) und (D. Mauro, 2009).....	22
Abb. 18: Gelpkes 9" Theodolit von Starke zur Bestimmung der Gotthard-Tunnel Achse 1869 (swisstopo Bild 5490, 2012)	23
Abb. 19: neuer Basismessapparat von O. Gelpke, 1872 (SBB Historic, VGB_GB_SBBGB02_049_06)	24
Abb. 20: Situationsplan Tunnelvisur, Göschenen, 1874 (SBB Historic, VGB_GB_SBBGB02_049_06)	25
Abb. 21: Tunnelmarken Göschenen Nord und Süd (D. Mauro 2009)	26
Abb. 22: Tunnelmarken Göschenen Nord und Süd, Abb. aus Archivschachtel (Zölly et al. 1871).....	26
Abb. 23: Tunnelmarken Airolo Nord und Süd (D. Mauro 2009)	27
Abb. 24: Tunnelmarken Airolo Nord und Süd, Abb. aus Archivschachtel (Zölly et al. 1871).....	27
Abb. 25: übernommenes Mont Cenis Passageinstrument (Gelpke 1880b, S. 105)	28
Abb. 23: Koppe's Triangulationsnetz (Quelle: ETH-Bibliothek, Rara und Karten).....	33
Abb. 27: Messpfeiler Gütsch von Koppe (D. Mauro, 2007 in www.alpentunnel.de).....	34
Abb. 28: Theodolit Kern aus dem Jahre 1874 (swisstopo 2012)	35
Abb. 29: Ertel Universal-Instrument der S.G.K, 1863 hergestellt (swisstopo 1948, 2012)	37
Abb. 30: grosses Passageinstrument von C. Koppe (Sammlung Kern im Stadtmuseum Aarau)	38
Abb. 31: Personal der letzten Hauptabsteckung aus (Koppe 1894, S. 45), es bestand aus 10 Ingenieuren und Geometern, 4 Telegraphisten und 5 ständigen Messgehülfen	40
Abb. 32: Absteckungsplan Kehrtunnel Pianotondo, 1878 (SBB Historic, PL_120_00014)....	41
Abb. 33: Pfaffensprung, Tunnelachse und Geometrie ([S.N.] 1881c, S. 98).....	43
Abb. 34: Pianotondo und Travi, Tunnelachse und Geometrie (Koppe 1880b, S. 41).....	45

Abb. 35: Arbeiter und Ingenieure posieren vor dem Richtstollen in Airolo (um 1872, ETH Bibliothek)	48
Abb. 36: Richtstollen in Airolo, Bild 7a aus (Zölly 1940b, S. 106)	49
Abb. 37: die 19 Vermesser am Gotthard-Bahntunnel, aus (Ebnetter 2006).....	50
Abb. 38: Starke Theodolit (swisstopo Bilder 5483 und 5489, 2012)	52
Abb. 39: Repetitionstheodolit aus der Zeit des Gotthardtunnelbaus; O. Gelpke als Benutzer zugeschrieben (Sammlung VHS, Nr. 3525, 1875)	53
Abb. 40: "Gotthard-Theodolit", Bestimmung der Gotthard-Tunnel Achse, 1874 (swisstopo Bilder 9267 und 9287, 2013)	54
Abb. 41: Ertel Universal 14 Zoll der SGK (swisstopo Bilder 3388 und 3390, 2012).....	56
Abb. 42: grosses Passageinstrument (Sammlung Kern im Stadtmuseum Aarau, 2023)	58
Abb. 43: kleines Passageinstrument auf Stativplatte, Fig. 1 in (Koppe 1880a, S. 44).....	59
Abb. 44: kleines Passageinstrument mit Schlitten-Dreifuss, Fig. 15 in (Koppe 1894, S. 43).59	
Abb. 45: Verzerrungskarte Gelpke/Koppe-Zylinderkoordinaten (swisstopo Archiv, 1937)	68