

**Zeitschrift:** Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

**Herausgeber:** Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

**Band:** 80 (1982)

**Heft:** 3

**Artikel:** Vor hundert Jahren : Die Absteckung des Gotthard-Bahntunnels

**Autor:** Kobold, F.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-231153>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 01.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Vor hundert Jahren: Die Absteckung des Gotthard-Bahntunnels

F. Kobold

Die Schweizerischen Bundesbahnen feiern im laufenden Jahr – 1982 – das Zentenarium der Betriebseröffnung der Gotthardlinie. Der Bau des 15 km langen Tunnels stellte damals eine ausserordentliche Leistung dar. Er stützte sich auf besondere geodätische Grundlagen, deren Erstellung ebenfalls als erstaunlich galt. An diese Arbeiten und an die beauftragten Ingenieure soll im folgenden Artikel erinnert werden.

*Les Chemins de fer fédéraux célèbrent au cours de cette année – 1982 – le centenaire de l'ouverture de leur ligne du Saint-Gothard. La construction de la grande galerie de 15 km de longueur présentait en ce temps un travail extraordinaire. Il se basait sur des bases géodésiques particulières que l'on considérait aussi prodigieuses. Le but des expositions suivantes est de rappeler à ces travaux et aux ingénieurs chargés.*

In diesem Jahr feiern die Schweizerischen Bundesbahnen das Zentenarium der Betriebseröffnung ihrer berühmtesten Strecke, der Gotthardlinie. In den zu diesem Anlass herausgegebenen Büchern und Schriften werden die Entstehung, die Projektierung und der Bau der Gotthardbahn beschrieben. Nur anekdotisch oder überhaupt nicht werden dabei die Vermessungsarbeiten, die für die Axbestimmung des 15 km langen Tunnels zwischen Göschenen und Airolo nötig waren, erwähnt. Sie galten aber damals als ebenso ausserordentliche Leistungen wie die Erstellung der Bauwerke, hatte man doch nie zuvor einen so langen Tunnel unter so schwierigen Verhältnissen abgesteckt. Es soll daher in einem kurzen Rückblick in der schweizerischen Fachzeitschrift für Vermessung an die damaligen Vermessungsarbeiten erinnert werden. Nach jahrzehntelangen Diskussionen über die Frage, wo eine die Alpen in nord-südlicher Richtung durchquerende Bahn gebaut werden sollte, hatte sich gezeigt, dass sowohl die Mehrzahl der Kantone als auch der Norddeutsche Staatenbund und Baden sowie Italien am ehesten dem Gotthardprojekt zustimmen würden. Am 15. Oktober 1869 kam hauptsächlich auf Veranlassung der Schweiz der Entwurf für das Gotthard-Übereinkommen zustande, dem wenig später das Königreich Italien und 1871 auch das Deutsche Reich zustimmten.

Die hohe Bedeutung, die man damals den Vermessungsarbeiten für den langen Tunnel beimass, geht aus der Tatsache hervor, dass das Gotthard-Comitee schon im Frühjahr 1869, also ein halbes Jahr vor Genehmigung des Gotthard-Abkommens, den Auftrag erteilte, geodätische Grundlagen für die Absteckung der Tunnelaxe zu schaffen.

Es wandte sich zuerst an den mit Triangulationsarbeiten in der Schweiz am besten vertrauten Ingenieur, an H.H. Denzler, der bei der eidgenössischen, bei kantonalen Triangulationen und beim Gradmessungsnetz mitgewirkt hatte. Zuzufolge seiner Verpflichtungen als solothurnischer Katasterdirektor musste er eine Absage erteilen. Der Auftrag wurde dann dem erst 29 Jahre alten *Otto Gelpke*, Ingenieur beim Eidgenössischen Stabsbureau, erteilt (Abb. 1). Aus diesem Stabsbureau, zu



Abb. 1 Otto Gelpke

dem damals auch das Topographische Bureau, die heutige Landestopographie (L + T), gehörte, ging später die Generalstabsabteilung hervor. Es war hauptsächlich der Chef des Stabsbureaus,

Oberst Siegfried, der Gelpke ermunterte, die Aufgabe am Gotthard zu übernehmen, und der ihm auch den nötigen Urlaub bewilligte.

Otto Gelpke (1840–1895), Sohn eines bekannten Theologie-Professors in Bern, hatte sich nach kurzem Studium der Naturwissenschaften und der Medizin der Technik zugewandt und sich an den Bergakademien Clausthal im Harz und Freiberg in Sachsen zum Hütten- und Bergingenieur ausgebildet. Nach verschiedenen Tätigkeiten im Ausland war er 1866 in den Dienst des Eidgenössischen Stabsbureaus getreten und hatte bei den Beobachtungen für die eidgenössische Triangulation und für das Gradmessungsnetz mitgewirkt.

Es ging nun zunächst darum, in Göschenen und Airolo Punkte festzulegen, durch die, ihrem Namen Axpunkte entsprechend, die Tunnelaxe definiert werden sollte. Da für die Bahn nur sehr generelle Projekte vorlagen, war man in der Wahl dieser Punkte recht frei. Diese Aufgabe übertrug das Gotthard-Comitee zwei Ingenieuren, die sich seit Jahren mit der Projektierung der Gotthardbahn befasst und bereits topographische Aufnahmen einzelner Abschnitte hatten erstellen lassen. In Göschenen war das *Karl Emanuel Müller*, einer der bekanntesten Urner jener Zeit. Er hatte in Heidelberg und Wien Ingenieurfächer studiert und seinem Heimatkanton als Pannerherr, Landesstatthalter, Landammann und Ständerat gedient. Als Erbauer der Gotthardstrasse durch die Schöllenen mit der Teufelsbrücke sowie der Nydeckbrücke in Bern und als Schöpfer der Reusskorrektur war er als bedeutender Ingenieur auch ausserhalb seines Heimatkantons bekannt worden. Er hatte im Jahr 1847 jene Sonderbundstruppen kommandiert, die den Gotthard überschritten, bei Airolo die eidgenössischen Truppen angriffen und sie in die Flucht schlugen.

Den Axpunkt in Airolo legte der in Paris ausgebildete und anfänglich in Frankreich tätig gewesene Ingenieur *Gottlieb Koller* fest. Auch er hatte sich lange Zeit mit dem Studium der Linienführung für eine Gotthardbahn befasst, war von 1860 bis 1872 für das Gotthard-Comitee tätig und wurde 1872 Inspektor des Bundes für die Gotthardbahnbauten, eine Stelle, die er 1879 aufgab. Er galt als einer der besten Eisenbahnexperten in der Schweiz und im angrenzenden Ausland.

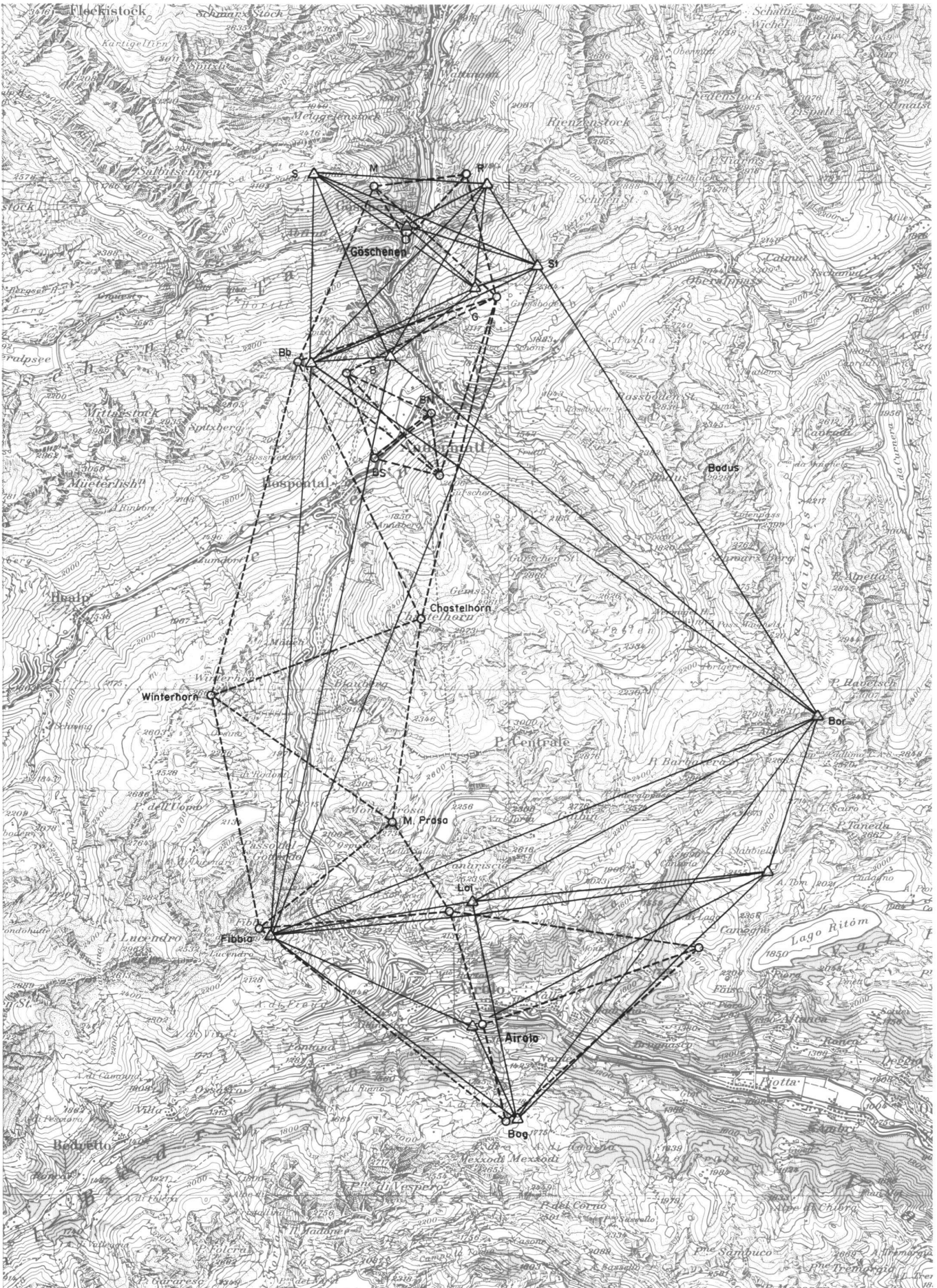


Abb. 2 Oberirdische Triangulationsnetze von Gelpke und Koppe (reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 19.1.1982).

Gelpke rekognoszierte und beobachtete im Sommer 1869 das in Abbildung 2 dargestellte, aus ziemlich gleichseitigen Dreiecken bestehende Netz. Er mass in gleicher Art wie im Gradmessungsnetz alle drei Winkel in den Dreiecken und verzichtete bewusst auf die Beobachtung weiterer Richtungen, wie das damals in der Schweiz allgemein üblich war. Um unabhängige Kontrollen zu erhalten, hatte man im Gradmessungsnetz grundsätzlich exzentrisch beobachtet. Gelpke gab bei seinem Gotthardnetz das exzentrische Stationieren auf. Er liess auf seinen Punkten durch Steinmetze und Maurer aus dem Tessin wunderschöne, zum Teil noch erhaltene konische Pfeiler bauen, in die er eine Signalstange stecken oder auf die er sein Instrument stellen konnte. Es handelte sich um einen dem Stabsbureau gehörenden Theodolit von Starke-Wien, mit dem er die Winkel in der Regel 24mal repetierte. Rekognoszierung und Beobachtung erforderten gute zwei Monate, eine bemerkenswerte Leistung, wenn man bedenkt, dass viele Punkte nicht leicht zugänglich waren und dass das Gotthardgebiet eine Wetterscheide darstellt, wo das Beobachten nach verschiedenen Richtungen nicht häufig möglich ist.

Um die Koordinaten der Punkte berechnen zu können, benötigte Gelpke einen Massstab. Er versuchte, durch Anschluss an alte eidgenössische Punkte die Länge einiger seiner Seiten zu bestimmen, musste aber feststellen, dass die für die Dufourkarte erstellte Triangulation für seine Zwecke nicht genügte, obwohl wegen der Gradlinigkeit des Tunnels der Netzmassstab für die Absteckung nicht von Bedeutung war. In seinem Bericht schreibt er, dass sein Gotthardnetz später mit den Punkten Six Madun (Badus) und Cramosino des in Bearbeitung stehenden Gradmessungsnetzes verbunden werden sollte, um ihm eine gute Orientierung und einen guten Massstab zu geben. Da er jedoch einen provisorischen Massstab bald brauchte, mass er bereits im Jahr 1869 mit Bändern eine Basis in der Ebene von Andermatt und verband sie mit seinen Punkten Bätzberg und Gütsch. Als der Anschluss seines Gotthardnetzes an das Gradmessungsnetz erst viel später möglich wurde, als er vorgesehen hatte, führte er 1873 eine zweite Messung mit geeichten Holzplatten durch, die mittels einer besonderen Einrichtung in die Horizontale gebracht wurden. Die zweite Messung hatte zum Zweck, die Länge des Tunnels aus dem oberirdischen Netz berechnen zu können, und sie diente als Grundlage für alle spätern Berechnungen. Die Endpunkte der Basis und die zwei Punkte des Vergrösserungsnetzes liess Gelpke durch grosse, behauene Steine versie-

chern, die vor fünfzig Jahren in gutem Zustand wieder aufgefunden wurden.

Nicht weniger wichtig als die Bestimmung der Koordinaten der Axpunkte zur Ermittlung der Axrichtung war die Abklärung der Höhenverhältnisse. Gelpke hatte früh erkannt, dass die vorhandenen, älteren Höhenbestimmungen für seine Zwecke zu ungenau waren. Er regte daher beim Gotthard-Comitee an, dass die Schweizerische Geodätische Kommission (SGK), die damals das «Nivellement de précision» beobachten liess, die Linie über den Gotthard zeitlich vorverschoben sollte. Dem Antrag wurde entsprochen, und die Gotthardbahn hatte der SGK für die Mehrkosten den bescheidenen Betrag von Fr. 1300.– zu entrichten. Da das Nivellement im Jahr 1869 nur von Süden nach Norden beobachtet werden konnte und daher nicht kontrolliert war, entschloss sich Gelpke, im Triangulationsnetz auch die Höhenwinkel zu messen; eine Arbeit, die mit den damaligen Instrumenten zeitraubend und mühsam war.

Obwohl in seinem Netz einige wenige Seitengleichungen hätten gebildet werden können, musste sich Gelpke, der die Methode der kleinsten Quadrate nicht kannte, bei der Ausgleichung darauf beschränken, die Dreieckschlussfehler zu verteilen, wobei er den sphärischen Exzess nicht berücksichtigte. Zur Berechnung der Koordination seiner Punkte wählte er als Nullpunkt das Nordende seiner Basis, dessen Koordinaten er aus der eidgenössischen Triangulation ableitete, wobei er zur Orientierung das ebene Azimut der Seite Six Madun–Winterhorn aus der Dufourtriangulation benützte. Als Ergebnis von Gelpkes oberirdischer Triangulation entstand ein Verzeichnis der Koordinaten aller Netz- und der zwei Axpunkte in Göschenen und Airolo, aus denen er das Azimut der Axrichtung und damit die Absteckungswinkel rechnen konnte. Koppe hat später Gelpkes Netz streng ausgeglichen und als mittleren Richtungsfehler  $\pm 7,5''$  gefunden. Aus der trigonometrischen Übertragung der Höhen von Göschenen nach Airolo erhielt er einen Unterschied von 9,7 cm gegenüber dem Nivellement, ein sehr befriedigendes Resultat. Wie schon viele Jahre früher Eschmann im Triangulationsnetz für die Dufourkarte, so stellte Gelpke Betrachtungen über den Refraktionskoeffizienten in seinem Gotthardnetz an. Er fand, dass der übliche, in die Berechnungen eingeführte Wert von 0,13 im Gebirge vermutlich zu hoch sei.

Als im Jahr 1872 mit dem Bau des langen Tunnels begonnen werden sollte, sah sich die Bauleitung gezwungen, das Südportal um ungefähr 150 m zu verlegen, was eine Änderung der Axrichtung zur Folge hatte. Eine neue

Triangulation über den Berg wäre deswegen nicht nötig gewesen. Wenn sich die Bauleitung trotzdem entschloss, ein neues, vom ersten vollständig unabhängiges Netz beobachten zu lassen, so lag der Grund darin, dass sie grösstmögliche Gewissheit für das gute Zusammentreffen der von Norden und von Süden vorgetriebenen Stollenachsen haben wollte. Nicht weniger als 1500 Geodäten aus verschiedenen Ländern meldeten sich für die Übernahme dieser interessanten Aufgabe. Auf Grund



Abb. 3 Carl Koppe

ausgezeichneter Empfehlungen entschloss sich die Bauleitung zur Anstellung des aus Soest (Preussen) stammenden, 25 Jahre alten *Carl Koppe* (1844–1910, Abb. 3). Er hatte nach kurzer militärischer Laufbahn Naturwissenschaften studiert, an einer Expedition nach Indien teilgenommen und nach einer Praxiszeit und weiteren Studien die Landmesserprüfung abgelegt. Seine anschliessende praktische Tätigkeit lag ausschliesslich auf dem Gebiet der Vermessung für den Eisenbahnbau. Die Gotthardbahn hätte kaum einen jungen Mann finden können, der über ein besseres theoretisches Wissen verfügte, ein Gefühl für das praktisch Mögliche besass und der sich auf die Anstrengungen, die im Gebirge seiner warteten und die er kaum beurteilen konnte, freute. Nachdem er sich 1872 beim Direktionspräsidenten Alfred Escher im Frack vorgestellt hatte, wirkte er zunächst unter Gelpke, der damals die Vermessungsabteilung der Gotthardbahn leitete, an der zweiten Basismessung in Andermatt mit. Noch im gleichen Jahr gelang ihm der Entwurf

für das in Abbildung 2 wiedergegebene, neuartig aufgebaute Netz. Es unterscheidet sich von demjenigen Gelpkes durch die langen Visuren zwischen Punkten im Norden und Punkten im Süden, von denen Koppe später in seinem Bericht schrieb: «Da der Zweck der Triangulation die Bestimmung der Axrichtungen ist, so waren möglichst grosse Dreiecke unmittelbar geboten, um... ohne Zwischenstationen von einem Ende zum andern zu kommen.» Wesentlicher sind die zahlreichen Überbestimmungen für jeden Punkt, da Koppe in sein Netz fast alle möglichen Visuren einführte, was Gelpke vermied und vermeiden musste. Dank seiner modernen Ausbildung war sich Koppe bewusst, dass ein Netz mit vielen überschüssigen Beobachtungen eine höhere Sicherheit mit sich bringen musste als ein einfaches und das es erlaubte, die Genauigkeit nicht nur zu schätzen, sondern mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate zu berechnen. Die Kenntnisse Koppes über dieses Ausgleichungsverfahren gingen allerdings nicht so weit, als dass er es ohne weiteres hätte anwenden können. Er ersuchte daher die Gotthardbahn um Urlaub, um in Berlin Vorlesungen über dieses Gebiet sowie über astronomische Methoden zu hören, da er bereits beabsichtigte, die Tunnelaxe mit astronomischen Beobachtungen zu kontrollieren. In grosszügiger Weise entsprach die Gotthardbahn dem Gesuch. Als Koppe Anfang Mai 1873 von seinem Studienaufenthalt zurückgekehrt war, um in Airolo mit den Feldarbeiten zu beginnen, stürzte der Bergungewohnte schon am Tage darauf so unglücklich in eine Schneespalte, dass er das Knie verletzte, das dann zeitlebens steif blieb. Erst 1874 konnte er daher sein Netz beobachten, und schon damals wurde bewundert, wie er als Invalider seine Arbeit im Gebirge erledigte. Übrigens hatte auch schon Gelpke bei seinen Vermessungsarbeiten für die Gotthardbahn einen Unfall erlitten, der ihn immer wieder etwas behinderte. Koppe liess auf allen seinen Punkten, die nirgends identisch mit den frühern waren, ähnliche Pfeiler wie Gelpke bauen. Im Gegensatz zu diesem mass er jedoch nicht mehr nach Repetitionsverfahren, er beobachtete vielmehr mit einem für ihn von Kern-Aarau gebauten Nonientheodolit Sätze nach dem Bessel-Verfahren. Auch er führte überdies gegenseitige Zenitdistanzmessungen aus, um die Höhendifferenz zwischen Göschenen und Airolo nochmals unabhängig vom Nivellement zu bestimmen. Über die 1875 abgeschlossenen Feldarbeiten und Berechnungen berichtete Koppe ausführlich in [2]. Diese Darstellung, ein Muster an Klarheit, verdient noch heute, gelesen zu werden; deutli-

cher als in vielen andern Publikationen, werden hier die Vorteile der Methode der kleinsten Quadrate hervorgehoben und das Vorgehen bei der Ausgleichung eingehend beschrieben. Wie damals allgemein üblich, führte Koppe die Ausgleichung nach der bedingten Methode durch. Das Netz gab 19 Winkel- und 15 Seitengleichungen. Über die Rechenmühe kann man sich heute kaum mehr eine Vorstellung machen, da Koppe sämtliche Rechenoperationen mit Logarithmen durchführen musste. Um in seiner Ausgleichung den sphärischen Exzess berücksichtigen zu können, war er gezwungen, einen Massstab in sein Netz einzuführen. Zu diesem Zweck bestimmte er die Koordinaten seiner Punkte Loitascia und Boggia aus einer Doppelpunkteinschaltung mit den Koordinaten benachbarter Punkte von Gelpke. Auf die Berechnung der Koordinaten der übrigen Netzpunkte konnte Koppe verzichten, da die bedingte Ausgleichung ihm direkt die ausgeglichenen Richtungen mit ihren Abhängigkeiten lieferte, aus denen er die Absteckungswinkel und die mittleren Fehler bestimmen konnte. Der Aufwand für die umfangreiche, strenge Ausgleichung hatte sich ohne Zweifel gelohnt, denn im Gegensatz zu Gelpke konnte Koppe nun Angaben über die Genauigkeit seines Netzes und über die Axrichtungen machen. Für den mittleren Fehler einer ausgeglichenen Richtung fand er  $\pm 3,1^{\circ}$ , ein Betrag, der bei Nichtberücksichtigung der Lotabweichungen auch heute kaum unterschritten werden könnte. Mit diesem mittleren Richtungsfehler fand er als mittlere Fehler der Absteckungsrichtungen für Göschenen  $\pm 3,1^{\circ}$  und für Airolo  $\pm 3,6^{\circ}$ . Er schloss aus ihnen, dass der Anteil der oberirdischen Triangulation am mittleren Durchschlagsfehler  $\pm 4$  cm betrage. Im Anschluss an die Ausgleichung untersuchte Koppe Vorzeichen und Verteilung der «Verbesserungen V» und stellte eine gute Übereinstimmung mit der Gausschen (Normal-)Verteilung fest. Zu dieser Ausgleichung bemerkte einer der Redaktoren der Zeitschrift für Vermessungswesen, der damals schon anerkannte Helmert, in einer Fussnote, dass Koppe es unterlassen habe, für jeden Stationspunkt eine Orientierungs-unbekannte einzuführen. Er fügt jedoch bei, dass dadurch wohl kaum erhebliche Differenzen zu den bestmöglichen Werten entstanden seien. Er bringt auch einen Vorbehalt beim mittleren Durchschlagsfehler an, da die mittleren Fehler der Axrichtungen in Göschenen und Airolo nicht voneinander unabhängig seien. In einem Koppes Bericht ergänzenden Artikel führt Helmert weitere seiner Untersuchungen an, mit denen er den Einfluss von Teilkreisfeh-

lern auf die beobachteten Sätze nachweist, und bemerkt, dass man die erzielte Genauigkeit unter weniger Aufwand mit Mikroskoptheodoliten hätte erreichen können. Erst rund dreissig Jahre später ist diese Erkenntnis in der Schweiz hauptsächlich durch das Wirken von Heinrich Wild zum Allgemein-gut der schweizerischen Vermessungsfachleute geworden.

Mit Resultaten seiner Berechnungen konnte Koppe durchaus zufrieden sein; es musste aber ihm und der Bauleitung viel daran liegen, sie auf verschiedene Arten zu kontrollieren. Naheliegend war zunächst der Vergleich mit den Absteckungsrichtungen, die man auf Grund der Gelpke-Triangulation erhalten hätte. Dazu waren zusätzliche Messungen in der Umgebung der Tunnelportale nötig, die in Göschenen von Gelpke und in Airolo von Koppe durchgeführt wurden. Die Abweichungen betrugten nur  $1,5^{\circ}$  in Göschenen und  $2,2^{\circ}$  in Airolo, eine sehr gute Übereinstimmung. Die zweite Kontrolle, auf die namentlich die Bauleitung Wert legte, bestand darin, dass Koppe die für Airolo berechnete Axrichtung im Sommer 1875 ins Gelände übertrug und mit 4 Zwischenpunkten bis zu einem Grat des Kastelhorns verlängerte. Er bestimmte nachher nördlich des Axpunktes Göschenen einen in der Axrichtung liegenden Punkt, von dem aus er das Signal auf dem Kastelgrat anvisieren konnte. Die seitliche Abweichung schätzte er auf 10–15 cm. Schwieriger als die Messarbeit war bei dieser Operation die Ersteigung und Stationierung auf dem Felsgrat des Kastelhorns. Für die dritte Kontrolle bestimmte Koppe noch im gleichen Jahr in Göschenen und Airolo nach der Polarismethode die astronomischen Azimute der Tunnelaxe  $\alpha_G$  und  $\alpha_A$  und nach der Zirkummeridianmethode die Breiten  $\varphi_G$  und  $\varphi_A$ . Aus den zwei Breiten und dem Azimut etwa in Göschenen  $\alpha_G$  konnte er nun das Azimut in Airolo  $\alpha_A$  sphärisch rechnen. Dieser berechnete Wert sollte mit der abgesteckten Stollenaxe zusammenstimmen. Der Unterschied betrug nur  $4,8^{\circ}$ , auch das eine sehr gute Übereinstimmung, deren Bedeutung Koppe allerdings nicht überschätzte, da er schrieb, er hätte eigentlich Lotabweichungen einführen müssen.

Die Berechnung der Höhen führte Koppe mittels einer vermittelnden Ausgleichung durch und stellte, wie vor ihm Gelpke, eine gute Übereinstimmung mit dem Nivellement fest. Ähnlich wie Gelpke fand auch er für das Gebirge einen Refraktionskoeffizienten von 0,122.

Auch die *Hauptabsteckung* des Tunnels wurde zu einem grossen Teil von Koppe durchgeführt. Die Bauleitung hatte sich verpflichtet, in Abständen von 2 km

genau in der Axe liegende Punkte zu bestimmen, auf die sich die Unternehmung beim Vortrieb stützen konnte. Die Absteckung dieser Punkte geschah nach der Methode des Alignements, für das ein von Kern-Aarau für den Mont Cenis gebautes Instrument verwendet wurde. Für die etwas eigenartige Konstruktion ist Kern nicht verantwortlich. Da in Airolo zwischen der Station und der Tunnelgeraden ein Bogen eingelegt wurde, musste für das Alignement ein besonderer Richtstollen gebohrt werden. Die Visurweiten waren wegen Staub, Rauch, Russ und Wasser wesentlich kürzer als 2 km, und die Absteckung im Berginnern gehörte daher zu den mühsamsten Arbeiten beim Tunnelbau. Die Unternehmung brachte dafür allerdings nur wenig Verständnis auf, was mehrmals Anlass zu Meinungsdivergenzen zwischen dieser und der Bauleitung gab. Für Koppe bedeutete es eine Enttäuschung, dass nach seinem Weggang von der Gotthardbahn die Absteckungsarbeiten wenig erfahrenen Ingenieuren übergeben wurden. Er hatte immerhin die Genugtuung, dass er und Gelpke noch bis zum Durchschlag im Jahr 1880 immer wieder für Kontrollen beigezogen wurden. Dass beim Bau ein Absteckungsfehler unterlief, so dass der Stollen auf einer Strecke von rund 200 m um 14,8 m von der Axe abwich, dafür waren Gelpke und Koppe nicht verantwortlich. Beim Durchschlag des Tunnels am 28./29. Februar 1880 wurden Abweichungen von 33 cm quer zur Tunnelaxe, von 710 cm in Richtung der Tunnelaxe und von 7 cm in Höhe gemessen. Die Bauleitung und die Öffentlichkeit waren vom Ergebnis sehr befriedigt, ja begeistert. Nicht gleiche Freude zeigten die eingeladenen Ingenieure Gelpke und Koppe, die vermutlich mit Recht an den nicht von ihnen gemessenen Werten für die Quer- und die Höhenabweichung zweifelten. Nicht erklären konnte man sich die grosse Differenz von 710 cm zwischen der trigonometrisch bestimmten und der direkt gemessenen Länge. Eine gewisse Abklärung brachte erst die Erstellung der Triangulationen vierter Ordnung der Kantone Uri und Tessin in den Zwanziger- und Dreissigerjahren des 20. Jahrhunderts. Es war der Chef der Sektion für Geodäsie und Topographie der Eidgenössischen Landestopographie, Ingenieur H. Zölly, der zwischen der von Gelpke und Koppe trigonometrisch ermittelten Distanz Göschenen-Airolo und der aus der neuen Triangulation folgenden eine Differenz von 2 m feststellte, 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. Zölly hat übrigens im Zusammenhang mit den neuen Triangulationen von Uri und Tessin alle alten von Gelpke und Koppe errichteten Punkte im Gelände gefunden und wieder instandstellen lassen.

Noch sei kurz auf die spätere Tätigkeit der zwei mit der Absteckung des Gotthard-Bahntunnels beauftragten Ingenieure hingewiesen. *Otto Gelpke*, ursprünglich nur für die oberirdische Triangulation des langen Tunnels beurlaubt, war noch während vier Jahren bei der Gotthardbahn als Leiter der Vermessungsabteilung tätig. Ihm verdankt die Bahn viele Vermessungsgrundlagen und topographische Aufnahmen für den Entwurf und die Absteckung der Linie. Von 1873 an bis zu seinem Lebensende arbeitete Gelpke wieder für das Topographische Bureau und war zuerst am Gradmessungsnetz der SGK, wobei er erste Versuche mit Heliotropen anstellte, und später an der Ergänzung und Neubearbeitung verschiedener kantonaler Triangulationen sowie an der Erstellung der eidgenössischen Forstriangulation beteiligt. Einzelne dieser Arbeiten, die eher provisorischen Charakter hatten, dienten ausschliesslich der Schaffung genügender Grundlagen für die Nachführung oder Neuaufnahme der Siegfriedblätter. Gelpke wirkte auch bei Grenzregulierungen mit dem Ausland mit. Er fand ein tragisches Ende, als er 1895 beim Aufstieg auf den Grossen Mythen, auf dem er Winkel messen wollte, zu Tode stürzte.

Für *Carl Koppe* bedeutete die Arbeit für den Gotthard-Tunnel den Beginn eines bedeutenden beruflichen Aufstieges. Er verliess die Gotthardbahn im Jahr 1875, wurde aber später noch für die Kontrolle der Tunnelaxe und die Absteckung der Kehrtunnel beigezogen. Neu an der Arbeit für den grossen Gotthardtunnel war hauptsächlich die Ausgleichung seines Netzes nach der Methode der kleinsten Quadrate gewesen. Die Methode war den schweizerischen Vermessungsfachleuten nur dem Namen nach bekannt, und am Polytechnikum in Zürich wurde sie erst rund zwanzig Jahre später zum Pflichtfach erklärt. Es verwundert daher nicht, dass die Schweizerische Geodätische Kommission, für deren Mitglieder – alles ältere, würdige Herren nach der Beschreibung Koppes – die Methode der kleinsten Quadrate ebenfalls unbekanntes Neuland bedeutete, 1876 Koppe mit der Aufgabe betraute, den schweizerischen Anteil am europäischen Gradmessungsnetz auszugleichen. Er beteiligte sich zunächst an der Messung der noch fehlenden Winkel und führte nachher

die Stationsausgleichungen nach der vermittelnden Methode und die Netzausgleichung nach der bedingten Methode durch. Er berichtete über diese, auch im Ausland beachtete und wegen ihrer Strenge als vorbildlich betrachtete Arbeit in zwei, von der Schweizerischen Geodätischen Kommission in den Jahren 1881 und 1885 herausgegebenen Bänden. Er zählte diese Bände später zu seinen wertvollsten Publikationen.

Wenige Monate nach dem Durchschlag des Gotthardtunnels im Jahr 1880 folgte Koppe einem Ruf an die Technische Hochschule Braunschweig als Professor für Geodäsie und Astronomie. Während der vielen Jahre bis zu seinem Rücktritt im Jahr 1897 wurde seine Lehrtätigkeit weit über Braunschweig hinaus bekannt, und seine Lehrbücher fanden allgemeine Anerkennung. Es erstaunt, in welchem hohem Masse er sich daneben noch mit wissenschaftlichen Studien abgeben konnte. Es waren zum grossen Teil Probleme der Photogrammetrie – der alten Zweibildphotogrammetrie ohne Ausnützung des Stereoeffektes –, mit denen er sich eingehend beschäftigte. Erwähnt sei hier nur das nach ihm benannte Prinzip von Porro-Koppe, das allerdings schon Jahre zuvor der geniale Porro, der, weil er italienisch schrieb, im deutschen Sprachgebiet nie die ihm gebührende Anerkennung gefunden hat, formuliert hatte. Koppe war also Zweiterfinder. Ein weiterer Problemkreis, der Koppe in besonderem Masse beschäftigte, war die topographische Landesaufnahme und die kartographische Darstellung. Hauptsächlich den Anstrengungen Koppes verdankt Braunschweig die ausgezeichnete Höhenlinienkarte im Massstab 1:10 000, für die er das Vorgehen im Gelände und die Ausarbeitung festlegte. In hohem Masse begleitend für die kartographische Bearbeitung waren ihm die damals erschienenen offiziellen und privaten schweizerischen Karten in Reliefmanier. Die für die Höhenkurven der Braunschweiger Karte geforderte Genauigkeit legte Koppe in einer allgemein anerkannten Formel fest, die seinen Namen trägt und später in vielen Ländern als Vorschrift eingeführt wurde. Nach wie vor aber interessierte sich Koppe für Bahnbauten, namentlich für Gebirgsbahnen, und so besuchte er in spätern Jahren immer wieder die Schweiz, um sich an Ort und Stelle ein Bild über die Projekte der Simplon- und Lötschbergbahn sowie später der Albulabahn zu machen. Besonders interessierte er sich für das Projekt der Jungfraubahn, da er in der Eigerwand das Objekt fand, das nur mit den Methoden der Photogrammetrie vermessen werden konnte. Seine Aufnahmen am

Ostrand des Eigers bis zu einer Höhe von 3000 m bildeten denn auch die Grundlage für den spätern Bahnbau und erweckten an der Pariser Weltausstellung allgemeine Bewunderung. Koppe zählte die in der Schweiz verbrachten Jahre zu seinen schönsten, und seine Beschreibungen der Führer und Träger aus dem Urnerland und dem Tessin, die bei der Gotthardtriangulation mitgewirkt hatten, haben etwas fast Rührendes. Bezeichnend für Koppes weltoffenes Wesen ist die Tatsache, dass er auf spätern Reisen Italien immer

mehr zu lieben begann, und zwar nicht nur Landschaft und Kunst, sondern auch die Italiener. Erstaunlich, wenn man sich vor Augen hält, wie wenig Verständnis damals der Durchschnitts-Deutschschweizer dem anders gearteten Tessiner entgegenbrachte, den er meistens überhaupt nicht kannte. Wenn das gegenseitige Verstehen in den letzten hundert Jahren besser geworden ist, so ist das in erster Linie den enger gewordenen Kontakten, die erst durch die Gotthardbahn möglich wurden, zu verdanken.

#### Literatur:

- [1] O. Gelpke: Bericht über die Absteckung der Sankt Gotthard-Tunnelaxe, Der Civilingenieur, 16. Band, 1870
- [2] C. Koppe: Die Absteckung der Achse des Gotthard-Tunnels, Zeitschrift für Vermessungswesen, IV. und V. Band, 1875/1876
- [3] A(nna) Koppe, Carl Koppe: Ein Lebensbild, 1912
- [4] H. Zölly: Die Länge des Gotthardtunnels. Schweizerische Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik, 1940

Adresse des Verfassers:  
Prof. Dr. Fritz Kobold  
Möhrlistrasse 85, CH-8006 Zürich

## Mise en place automatique des limites lors d'un remaniement parcellaire, sur ordinateur de table

J. Genoud

L'auteur de l'article a déposé à l'EPFL son travail de diplôme en décembre 1980. Il s'agissait pour lui de développer un programme interactif pour la mise en place des nouvelles limites d'un remaniement parcellaire. Grâce à la digitalisation et à la visualisation des opérations sur écran graphique liées au calcul immédiat des surfaces et valeurs, les limites sont automatiquement placées, satisfaisant les conditions géométriques qui peuvent être imposées.

M. Genoud a réalisé un excellent travail permettant de résoudre ce problème avec confort et beaucoup de souplesse. Nous sommes heureux qu'il puisse le présenter ici.

*Der Autor dieses Artikels hat seine Diplomarbeit an der ETH-Lausanne im Dezember 1980 abgeliefert. Seine Aufgabe bestand darin, ein interaktives Programm zu entwickeln, mit dem die neuen Grenzen bei einer Güterzusammenlegung gerechnet werden können. Dank Digitalisierung und Abbildung aller Operationen auf einen graphischen Bildschirm parallel mit der Berechnung der Flächen und Werte ergeben sich die neuen Grenzen in Übereinstimmung mit vorgegebenen geometrischen Bedingungen unmittelbar.*

*Die Arbeit von Herrn Genoud ist bemerkenswert, erlaubt sie doch, dieses Problem bequem und anpassungsfähig zu lösen. Wir freuen uns, dass er sie hier vorlegen kann.*

*Prof. P. Howald, Institut de Géodésie et Mensurations, Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne.*

Lors d'un remaniement parcellaire, le géomètre doit effectuer de nombreux travaux, notamment calculer les prétentions dans l'ancien état, mettre en place les nouvelles limites et déterminer les valeurs et les surfaces des parcelles du nouvel état. Ces opérations se composent essentiellement de calculs de surface et de déplacements de limite. Chaque parcelle est en effet la somme des différentes sous-zones de taxe qu'elle comprend.

L'utilisation toujours plus fréquente d'ordinateurs de table dans les bureaux de géomètre et la numérisation de la plupart des opérations de mensuration conduisent naturellement à envisager le traitement d'un remaniement parcellaire

de la même manière, non plus par un seul traitement en batch digéré par une importante unité de calcul, mais sur ordinateur de bureau et en mode conversationnel.

Mon travail de diplôme à l'Institut de Géodésie et Mensuration de l'EPFL, sous la direction du Prof. Howald, m'a donné l'occasion d'élaborer un logiciel pour la mise en place des nouvelles limites d'un parchet.

L'opérateur dispose sur écran graphique de l'image du parchet avec ses limites de taxe. Par digitalisation, il fixe approximativement une première limite et peut lui imposer certaines conditions géométriques. Après l'introduction de la surface ou de la valeur désirée de la

parcelle, l'ordinateur calcule exactement cette nouvelle limite et la dessine sur l'écran.

Voici brièvement les résultats de ce travail:

### Interactif graphique

La visualisation immédiate de l'état du parchet après chaque étape du traitement est indispensable à la souplesse et aux exigences du mode interactif. Il est donc très intéressant de disposer d'une installation avec écran graphique. Elle permet l'identification des points ou des limites par leur simple digitalisation sur l'écran. Ceci évite toute introduction au clavier de numéros de points, ce qui est souvent une source d'erreurs.

L'opérateur peut à volonté effectuer des «zoom» ou agrandissements d'une partie du parchet et ainsi travailler à l'échelle optimale. Il contrôle et suit de très près l'avance du calcul et exploite au maximum les possibilités du mode conversationnel.

### Fichier de vecteurs

Habituellement, les données numériques d'un parchet sont disposées dans deux fichiers: un registre des coordonnées des points et un fichier contenant les descriptions de surface. On se rend vite compte qu'à chaque introduction d'une nouvelle limite, les descriptions des surfaces touchées se voient remplacées par deux nouvelles. Elles deviennent donc rapidement très nombreuses et encombrantes.

Le Prof. Kölbl (Institut de Photogrammétrie de l'EPFL) a mis au point une disposition différente des données (voir