

Der Blick in den Berg

Die Vermessungstechnik verändert die Landschaft am Gotthard

David Mauro Am Bau des Gotthardtunnels lässt sich die Veränderung der Landschaft durch technische Entwicklung exemplarisch darstellen. Dies ist auch Thema eines grossangelegten Forschungsprojekts der Accademia di Architettura in Mendrisio und der ETH Zürich. Grundlage für die baulichen Eingriffe bildet die Vermessungstechnik.

Am Anfang der Veränderung der Landschaft durch den Menschen steht eine Vision. Es ist die Idee, eine naturgegebene Umgebung durch gezielte Eingriffe nutzbar oder sicherer machen zu können, Hindernisse für Verkehrsbelange aus dem Weg zu räumen oder schlichtweg bestimmten ästhetischen Vorstellungen anzupassen. Einer der ersten Schritte auf dem Weg zur Realisierung solcher Vorhaben ist die vermessungstechnische Erfassung des Gebiets, das verändert werden soll. Meistens gelangen diese Tätigkeiten nur an die Öffentlichkeit, wenn dabei Fehler passieren, wie beispielsweise im Jahre 2004: Da zeigte sich beim Bau der Rheinbrücke bei Laufenburg, dass die unterschiedlichen Höhensysteme in der Schweiz und in Deutschland falsch interpretiert worden waren und sich der Zusammenschluss in der Flussmitte um 54 Zentimeter verfehlen würde. In diesem Fall konnte das Problem durch rechtzeitige Anpassungen, angeblich ohne Mehrkosten, gelöst werden.

Verhängnisvolle Ungenauigkeiten

Nicht immer lässt sich ein Vermessungsfehler so einfach korrigieren, wie ein Blick zurück zu einem zentralen Punkt in der Schweizer Geschichte zeigt: Dem Bau der Gotthardbahn wurde eine unzulängliche Vermessungstechnik beinahe zum Verhängnis. Das Projekt war für die Schweiz in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wirtschaftlich enorm wichtig: Das Transitland Schweiz drohte durch die neu eröffneten Eisenbahnlagen via Mont-Cenis, Brenner und Semmering in der Bedeutungslosigkeit zu versinken. Nach längeren Dis-

kussionen, Planungen und Verhandlungen fiel im Oktober 1869 endlich der Startschuss zu dem Jahrhundertprojekt. Die Subventionsstaaten Italien und Deutschland einigten sich zusammen mit der Schweiz auf ein Gesamtbudget von 187 Mio. Franken für den Bau. Im Jahre 1876 ereignete sich die befürchtete wirtschaftliche Katastrophe, nachdem man festgestellt hatte, dass beim Bau der Tessinischen Talbahnen die Kostenvoranschläge massiv überschritten worden waren: Statt 13,5 Mio. Franken wurden 38,5 Mio. Franken benötigt. Die Hochrechnung auf das gesamte Projekt hätte einen Investitionsbedarf von 289 Mio. Franken ergeben, also 102 Mio. Franken mehr als ursprünglich veranschlagt. Die Bauarbeiten wurden gestoppt, die Aktien der Gotthardbahn fielen ins Bodenlose, es drohte der Konkurs mit weitreichenden Konsequenzen für die Investoren und die gesamte Schweizer Wirtschaft. Erst zähe Nachverhandlungen und eine Verkleinerung des ursprünglich geplanten Streckennetzes ermöglichten den Weiterbau. Die Gotthardbahn konnte schliesslich am 1. Juni 1882 den offiziellen Betrieb aufnehmen. Zwischenzeitlich mussten jedoch zwei Oberingenieure und der Präsident Alfred Escher ihre Hüte nehmen. Und es dauerte noch Jahrzehnte, bis die ursprünglich geplante Ausbaustufe erreicht war.

Wie konnte das geschehen? In der Planungsphase und für den Kostenvoranschlag wurden zur Festlegung der Bahntrasse Karten mit dem Massstab 1:10000 verwendet. Eine Planung mit solch grobem Kartenmaterial konnte die zerklüftete Landschaft des Hochgebirges



Raphael Ritz (1829–1894), Ingenieure im Gebirge, 1870, Öl auf Leinwand; 64x80 cm, Kunstmuseum Bern, Staat Bern, Inv. Nr. G 0415

nur unzureichend abbilden. Die genaue Länge von Brücken, Tunnels, Aufschüttungen und Einschnitten wurde bloss geschätzt – und das offensichtlich zu optimistisch. Für die Nachplanung hingegen wurden deshalb eigens Karten im Massstab 1:2500, teilweise auch bis zu 1:1000 erstellt. Erst damit wurde eine verlässliche Planungsgrundlage geschaffen.

In manchen Abschnitten der Gotthardbahn wurde allerdings bereits von Anfang an möglichst genau vermessen: Allen voran der fast 16 Kilometer lange Scheiteltunnel und die sieben Kehrtunnels der Bahntrasse mussten mit grösstmöglicher Präzision geplant werden. Ein Verfehlen der jeweils von den Portalen ausgehenden Vortriebe in der Tunnelmitte hätte das Gesamtunternehmen wesentlich verteuert oder sogar scheitern lassen.

Dreiecksgeometrie als Basis

Einfache Formen der Vermessungstechnik sind wohl schon in der Frühzeit der Menschheit entwickelt worden. Im Altertum wurden dann jeweils spezielle Verfahren erdacht, um ein wissenschaftliches oder technisches

Problem zu lösen. Die Einführung der Triangulation im 17. Jahrhundert, vor allem durch Snellius (eigentlich Willebrord van Roijen Snell, 1580–1626) stellte eine wesentliche Erweiterung der Repertoires der Vermessungstechnik dar und sorgte für eine gewisse Standardisierung.

Schnell erkannte man auch den Nutzen für die Landesvermessung und die Kartographie. Im weiteren Verlauf wurde die Triangulation zunehmend in der Ingenieursvermessung bei der Planung weitläufiger Bauten wie Kanäle, Strassen und Eisenbahnen verwendet. Heutzutage sind die Verfahren der Triangulation zusammen mit neuen Technologien (GPS, elektronische Distanzmessung, Kreismessung, etc.) in integrierte Vorgehensweisen eingeflossen, die speziell auf eine Vermessungsaufgabe zugeschnitten werden und jeweils eine bestmögliche Lösung im Spannungsverhältnis zwischen Kosten und Genauigkeit bieten.

Das Grundprinzip der Triangulation ist einfach: Ausgehend von der Geometrie der Dreiecke lassen sich unbekannte Grössen von bekannten ableiten. Sind bei-

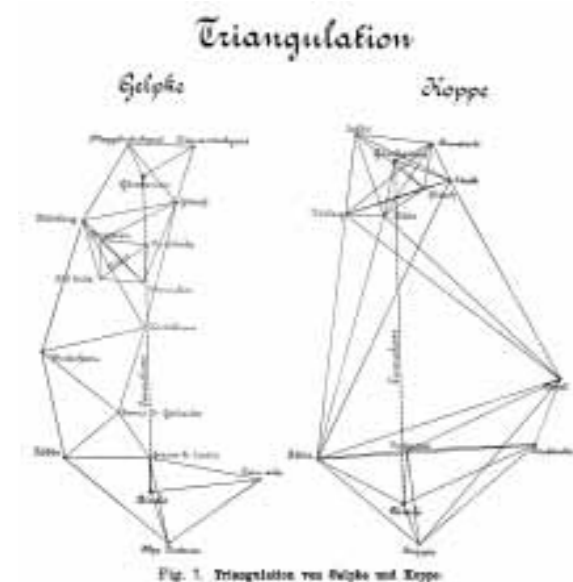
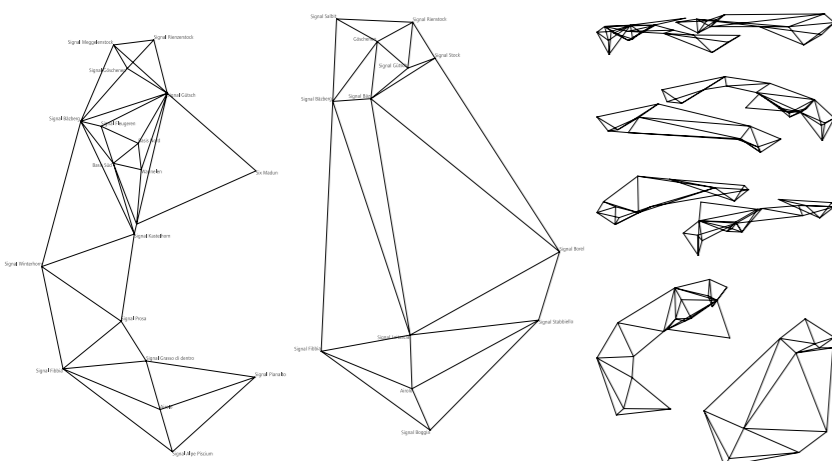


Fig. 1. Triangulation von Gelpke und Koppe.

Vermessungsnetze für den Gotthard-Eisenbahntunnel von Gelpke und Koppe. Bild aus: Carl Koppe, Die Vorarbeiten für den Bau der Gotthardbahn. Absteckung und Durchschlag des Gotthard-Tunnels, Verlag Hermann Paetel, Berlin 1894.



Triangulationsnetz Gelpke und Koppe in 3D. – Bild: Burkhalter Sumi Architekten, Zürich

spielsweise in einem Dreieck die Länge einer Seite und zwei Winkel bekannt, lassen sich die fehlenden beiden Seitenlängen und der unbekannte Winkel bestimmen. Wird jetzt ein zweites Dreieck so angeschlossen, dass eine Seite mit einer des ersten identisch ist und misst man die Winkel in diesem, können daraus wiederum die Seitenlängen berechnet werden. Dieses Verfahren lässt sich beliebig fortsetzen, bis Dreiecksnetze ganze Länder oder sogar Kontinente abdecken. Werden in einem solchen Netz alle Winkel gemessen, genügt die Bestimmung einer einzigen Seitenlänge, der sogenannten «Basis», um daraus alle Entfernungen innerhalb des Netzes zu berechnen.

Auf diese Weise durchschneiden virtuelle Linien die Landschaft seit Jahrhunderten. Die Endpunkte der Linien liegen dabei meist in exponierten Lagen, wie etwa auf Berggipfeln, da diese über Kilometer hinweg von anderen Punkten aus sichtbar sein müssen. Im Sinne der zunehmenden Virtualisierung unserer Umwelt könnte man bereits diese Linien als Veränderung der Landschaft ansehen. Die Endpunkte selbst bestehen meist aus einer unverrückbaren Bodenmarkierung (Stein, Metallbolzen) oder aus gemauerten Steintürmchen («Signale»). Letztere haben den Vorteil, dass auf ihnen auch direkt ein Theodolit aufgestellt werden kann für die Winkelmessung zu den umliegenden Endpunkten.

Die Gotthardtunnels

Beim Bau der Gotthardbahn bediente man sich ebenfalls der Triangulation, insbesondere bei der Planung der Tunnelanlagen. Der Scheiteltunnel als zentrales Bauwerk war in mehrfacher Hinsicht ein Novum: Noch nie wurde ein so langer Tunnel nur von den Portalen aus gegraben, und die Bestimmung der Tunnelachse gestaltete sich aufgrund der ungünstigen Topologie des Gotthardgebietes (hintereinanderliegende Berggrate) schwierig. Man konnte sich nur auf die Erfahrungen am Mont-Cenis-Tunnel stützen. Dieser war jedoch um einiges kürzer und seine Vermessung relativ einfach, weil man das Gebirge entlang der Tunnelachse abschreiten konnte.

Beim Gotthard-Scheiteltunnel hingegen musste für die Bestimmung der kritischen Horizontalwinkel der

Vortriebsrichtungen eine Triangulation verwendet werden.

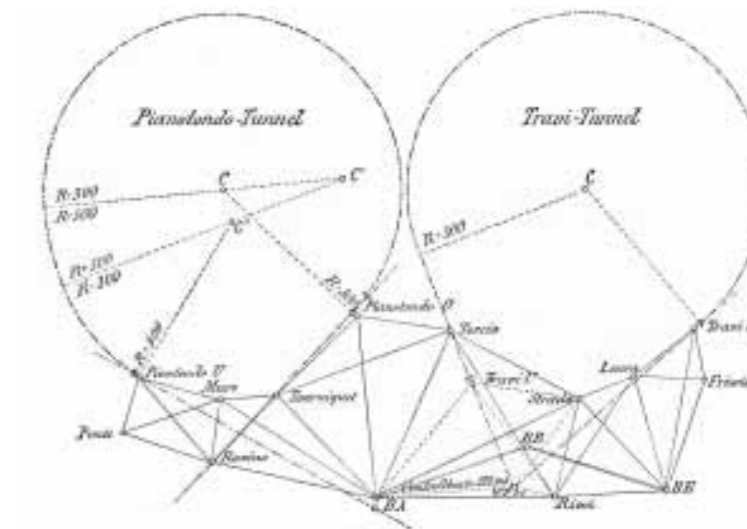
Nach der Festlegung der Portalpositionen durch die Gotthardbahn-Gesellschaft bei Göschenen und Airolo führte Otto Gelpke (1840–1895) eine erste Triangulation durch, wozu er insgesamt 14 Signalpunkte verwendete. Als Basis vermäss er dazu eine Strecke von anderthalb Kilometern im Urserental zwischen Andermatt und Hospental. Die Berechnungen des Triangulationsnetzes führte er nach dem aktuellen Stand der Ingenieursvermessung durch. So konnte er die Horizontalwinkel für die nördliche und südliche Vortriebsrichtung angeben.

Im Jahre 1872 verfügte die Gotthardbahngesellschaft aus Platzgründen die Verlegung des Portals bei Airolo, was eine Neuberechnung der Horizontalwinkel erforderlich machte. Zur Kontrolle und Bestätigung der ersten Triangulation führte Carl Koppe (1844–1910) eine zweite, vollkommen unabhängige Vermessung mit 12 Signalpunkten durch. Bei der Auswertung des Netzes übernahm er Verfahren aus der Landesvermessung (Netzausgleichung nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate, Berücksichtigung der sphärischen Gestalt der Erde, astronomische Kontrollen), um die Genauigkeit zu steigern und diese nicht nur schätzen, sondern möglichst exakt bestimmen zu können. Den mittleren Richtungsfehler errechnete er zu ca. +/- 0,3 mgon (dies entspräche einer Abweichung von vier Zentimetern beim Zusammentreffen der Richtstollen in der Mitte des Berges).

Die Ergebnisse der beiden Triangulationen waren fast identisch und so wurde am 28. Februar 1880 – weit vor der Fertigstellung der Anfahrtsrampen in Uri und im Tessin – tatsächlich der Durchschlag der beiden Richtstollen mit einer horizontalen Abweichung von nur 33 Zentimetern geschafft.¹

Sichtbare Veränderungen der Landschaft

Naturgemäss sind die direkten Veränderungen der Landschaft bei Tunnelbauten meistens eher gering. Tunnels sind vielmehr als Schlüsselemente anzusehen, welche die Veränderung der Umgebung beiderseits der Portale erst ermöglichen. Bei der Kehrtunnelanlage der Talstufe in der Biaschina findet sich jedoch ein Beispiel für eine



Vermessungsskizze der Kehrtunnelanlage in der Biaschina. – Bild aus: Die Eisenbahn = Le chemin de Fer, Vol 12/13 (1880)

Kehrtunnelanlage in der Biaschina während der Bauzeit. – Bild: SBB Historic – Stiftung Historisches Erbe der SBB



Vermesser des Gotthard-Scheiteltunnels. – Bild aus: Die Eisenbahn = Le chemin de Fer, Vol 12/13 (1880)

direkte Auswirkung auf die Landschaft. Ebenfalls Carl Koppe führte die anspruchsvolle Vermessung der Kehrtunnels durch, mittels derer die Bahntrasse auf kleinstem Raum eine Höhendifferenz von hundert Metern überwindet. Ein Bild aus der Bauzeit zeigt eindrücklich die Veränderung einer ganzen Talseite, die vor allem durch Aufschüttungen und Brücken geschehen ist.

Fast hundert Jahre später war buchstäblich viel Gras über diese Wunden gewachsen. Die Bahn fügte sich jetzt fast harmonisch in die Landschaft ein – ganz so, als hätte es sie schon immer gegeben. Genau zu diesem Zeitpunkt sollte sie aber durch den Bau der Autobahn A2 ab 1970 die wohl gravierendsten Veränderungen erfahren.

Wiederum war ein neuer Tunnel durch den Gotthard das zentrale Verbindungsglied, das die Realisierung der Nord-Süd-Verbindung erst ermöglichte. Diesmal nicht als gerader Tunnel, sondern mit Kurven und Querstellen geplant, stellte er die Vermessungstechnik erneut auf die Probe. Freilich hatte sie sich in der Zwischenzeit weiterentwickelt: Neben der Triangulation ergänzten nun elektronische Distanzmessung und Polygonierung das Methodenset. Das Dreiecksnetz bestand aus 33 Signalpunkten und erinnert an die «schlanke» Ausführung von Gelpke. Erstaunlicherweise war der mittlere Richtungsfehler im ausgeglichenen Netz mit +/- 0,36 mgon sogar geringfügig grösser als bei Koppe 100 Jahre zuvor. Im Vortrieb selbst wurden dann zur Richtungshaltung auch Kreiselsysteme verwendet. Die Durchschlagsfehler betragen dabei nur wenige Zentimeter.

Just an der gleichen Stelle wie zuvor, in der Biaschina, zeigt sich wieder die einschneidende Veränderung der Landschaft durch den Talübergang in Beton. Dabei wird auch deutlich, dass sich dieser Verkehrsweg niemals in die Landschaft integrieren wird; er ist ein eigenständiges, fast losgelöstes Objekt, das sich über die Landschaft zu erheben scheint.

Aktuell wird wieder gebaut: Der Gotthard-Basistunnel wird mit 57 Kilometern Länge einen neuen Weltrekord bedeuten. Er stellt abermals neue Herausforderungen an die Vermessungstechnik: In langgezogenen Schleifen durchbricht er das Massiv zwischen Erstfeld und Bodio mit zahlreichen Schächten, Querschlägen

und Verbindungen; insgesamt werden mehr als 150 Kilometer Wegstrecke ausgebrochen.

Vordergründig wird dabei nicht mehr die Triangulation verwendet. Man verlässt sich auf die hochpräzise neue Landesvermessung der Schweiz (LV95) zusammen mit satellitengestützten Messungen (GPS). Letztere haben die Triangulationsnetze in den letzten Jahrzehnten weitestgehend aus dem Alltag der Vermessungstechnik verdrängt. In der Öffentlichkeit fast unbekannt ist die dabei erzielbare Genauigkeit, da der private Anwender GPS überwiegend für Navigationszwecke verwendet wird, bei der eine Auflösung von unter zehn Metern ausreichend ist. Für die vermessungstechnische Praxis lassen sich mit satellitengestützten Messungen Genauigkeiten im Millimeterbereich erzielen.

Die Veränderung der Landschaft ist diesmal die radikalste: Die Landschaft verschwindet einfach im Dunkel – zumindest aus der Perspektive des Reisenden, der quasi von einem Kulturraum in einen anderen katapultiert wird. Über die Entwicklung auf der Oberfläche kann hingegen nur spekuliert werden. Einerseits ist der Fortbestand der Bergstrecke ungewiss, andererseits hat sich die Gotthardregion aber schon längst vom Transit als Wirtschaftsträger emanzipiert. Mittlerweile haben auch Tourismusprojekte wie das von Sawiris in Andermatt Einfluss auf die Gestaltung der Landschaft.

Doch noch ist es nicht soweit. Die momentan sichtbare Veränderung der Landschaft vollzieht sich weit vom Tunnel entfernt: Die gewaltigen Ausbruchsmassen müssen irgendwo untergebracht werden. Neben verschiedenen Deponien in den Talsohlen ist die Urner Seeschüttung eine pfiffige Lösung, bei der künstliche Inseln als Naturschutz- und Badegelande entstehen. Kaum jemand wird sich beim Sprung in den See darüber bewusst sein, dass neben einer visionären Idee die Vermessungstechnik eine wichtige Voraussetzung für den veränderten Lebensraum darstellt.

David Mauro, geboren 1965 in Zürich. Studium Elektrotechnik und Wirtschaftswissenschaften (u. a. TU München). Diverse Ingenieurstätigkeiten in der Messtechnik, Qualitäts- und Projektmanagement und regenerative Energien. Daneben Beschäftigung mit ausgewählten Themen der Technik- und Wissenschaftsgeschichte. Aktuelle Schwerpunkte auf historischen Eisenbahntransversalen in den Alpen und Entwicklung der Vermessungstechnik (www.alpentunnel.de).



Seeschüttung im Urnersee mit Ausbruchsmaterial aus dem Gotthard-Basistunnel der Neat. – Bild: Niklaus Spoerri

résumé Le regard dans la montagne La technique de mensuration prépare les changements du paysage La transformation du paysage se base sur une idée visionnaire de l'être humain: il veut domestiquer le paysage naturel par des interventions ciblées. La construction de grands aménagements d'infrastructures à travers des régions hostiles en est un exemple-type. Le tunnel du Gothard constitue un bel exemple des effets de telles transformations. Mais avant toute planification il faut mesurer le paysage. Selon le principe de base de la triangulation, qui repose sur la géométrie du triangle, on peut établir des réseaux de triangles virtuels sur des pays entiers en partant de points de triangulation. Si tous les angles sont mesurés dans ces réseaux, il suffit de définir la longueur d'un seul côté, «la base», pour calculer toutes les distances à l'intérieur du réseau. Lors de la construction du premier tunnel ferroviaire du Gothard et du tunnel routier, on s'est servi de la triangulation en se basant sur les réseaux des ingénieurs Otto Gelpke et Carl Koppe; le tube du nouveau tunnel de base, long de 57 km, a été calculé au moyen du service hautement précis de la mensuration nationale (MN95) et de mesures par satellites (GPS) au millimètre près. Le changement du paysage qui en découlera sera des plus radicaux pour le voyageur: il disparaîtra tout simplement dans le noir. La perception de changements antérieurs fait l'objet du projet de recherche «Landscape, myths and technology» de l'Accademia di Architettura à Mendrisio et de l'EPF de Zurich.

summary The Look inside the Mountain Surveying technology prepares the landscape for changes Changes to the landscape are based on a visionary idea of humanity that aims at making the natural landscape usable through focused interventions. The construction of large infrastructure complexes in impassable regions is a prime example of this—the effects of such changes can be read in an exemplary way in the Gotthard tunnel. However, before planning begins the area in question has to be surveyed. According to the basic principle of triangulation virtual networks of triangles can be laid over entire countries, starting from triangulation points. If all the angles in such networks are measured, the determination of the length of a single side known as the “basis” allows all distances within the network to be calculated. Triangulation was used in the construction of the first Gotthard railway tunnel and the motor vehicle tunnel, based on the networks of the engineers Otto Gelpke and Carl Koppe; the “tube” for the new 57-kilometre-long crest tunnel will be calculated with an accuracy down to the last millimetre by means of the highly precise Swiss national survey (LV95) and satellite-supported measurements (GPS). For travellers the change to the landscape will be of the most radical kind: it will simply vanish in the dark. A research project at the Accademia di Architettura in Mendrisio and the ETH Zurich traces the perception of earlier changes: landscape, myths and technology. ■

¹ Viele der vermessungstechnischen Einrichtungen zur Bestimmung der Tunnelachse (Signale, Visierstollen, Marken, etc.) haben die letzten 140 Jahre mehr oder weniger unbeschadet überstanden und werden vom Autor zur Zeit im Rahmen eines Auftrags der Denkmalpflege des Kantons Uri und des eingangs erwähnten Projekts erfasst und dokumentiert.

«Landscape, myths and technology: Encyclopaedia of infrastructure buildings in the Gotthard region and their implications on changes of landscape since 1850», ein Projekt des «Swiss Cooperation Programme in Architecture» (SCAPA), Leitung: Marianne Burkhalter und Christian Sumi.