

Bachelor-Thesis 2013

Deformations- messungen Gotthard Passstrasse



Autor: **Andri Gredig**

Examinator: **Prof. Dr. Reinhard Gottwald**

Experte: **Dipl.-Ing Ivo Schätti**

Deformationsmessungen Gotthard Passstrasse

Frana Fontana und Tornante Feud, in diesen zwei Gebieten an der Gotthard Passstrasse in Airolo finden seit den Achtzigerjahren einmal jährlich durch das Studio Meier aus Minusio zwei Deformationsmessungen statt. Aufgrund der topografischen Begebenheiten wurden die Festpunkte bis zu 600 Höhenmeter tiefer im Tal angelegt. Diese Messkonstellation führt zu Unsicherheiten in den Höhenbestimmungen, welche im Rahmen dieser Arbeit untersucht werden.

Schlagworte: Netzanalyse, trigonometrische Höhenbestimmung, Refraktion, GNSS, Netzausgleichung, Deformationsmessung, LTOP

1. Deformationsmessungen Gotthard Passstrassen

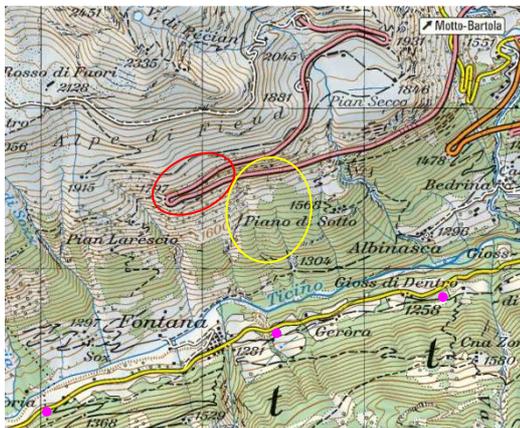


Abb. 1: Übersichtskarte (Quelle: map.geo.admin.ch)

An der Südrampe der Gotthard Passstrasse werden die zwei Gebiete Frana Fontana (Abb.1 gelb) und Tornante Feud (Abb.1 rot) seit mehr als 30 Jahren durch das Ingenieurbüro Studio Meier aus Minusio überwacht. Die Netze wurden so angelegt, dass beide Gebiete von drei Festpunkten (Abb. 1 violett) aus gemessen werden können. Diese Messpfeiler liegen bis zu 600m unterhalb der Messgebiete im Talboden des Val Bedretto. Mit Präzisions-tachymetern werden Horizontalrichtungen, Zenitwinkel und Distanzen zu den 33 Kontrollpunkten gemessen und in LTOP ausgeglichen.

Diese Netzkonstellation mit langen und steilen Visuren bringt jedoch Unsicherheiten mit sich, welche sich vor allem auf die Höhenbestimmung auswirken. Um diese Einflüsse zu untersuchen, wurden während den Folgemessungen 2011 und 2012 ungleichzeitige - gegenseitige Höhenwinkelmessungen durchgeführt, wobei Differenzen von mehreren Zentimetern zwischen den Höhendifferenzen festgestellt wurden.

2. Analyse der bisherigen Messanlage

Einflüsse auf die trigonometrischen Höhenübertragung

Eine einfache Methode um grosse Höhenunterschiede auf lange Distanzen zu bestimmen ist die trigonometrische Höhenübertragung. Dabei müssen jedoch eine grosse Anzahl von Einflüssen berücksichtigt werden. Am schwierigsten zu modellieren ist dabei die Refraktion, welche sich auf die Höhenwinkel auswirkt und diese verfälscht.

Netzanalyse der Folgemessungen 2011 und 2012

In den Jahren 2011 und 2012 wurden jeweils mehrere Höhenwinkel ungleichzeitig-gegenseitig gemessen. Deren Auswertung zeigte Differenzen in den so berechneten Höhenunterschieden von mehreren Zentimetern auf. Mit dem Wissen, dass alle anderen Einflüsse auf die trigonometrische Höhenbestimmung eliminiert oder berücksichtigt wurden, kann die ungenügende Modellierung der Refraktion für diese Differenzen verantwortlich gemacht werden.

3. Variantenstudium

Für die Optimierung der Messanlage wurden verschiedene Varianten ausgearbeitet, welche den Unsicherheiten entgegen wirken sollen. Neben klassischem Nivellement und Polygonzug wurden auch verschiedene Mechanismen zur Elimination oder Bestimmung der Refraktion untersucht. Alle Möglichkeiten wurden hinsichtlich ihrer Genauigkeit, Wirtschaftlichkeit und Durchführbarkeit, mittels Präanalysen und Abschätzungen zusammengestellt. Mit Hilfe dieser Kriterien wurden zwei Konzepte mit ähnlicher Funktionsweise als Best-Varianten ausgesucht:

Bestimmung des Refraktionskoeffizienten mittels gegenseitigen Höhenwinkeln

Beim gleichzeitig-gegenseitigen Messen der Höhenwinkel werden die Einflüsse der Refraktion eliminiert. Mit diesen "refraktionsfreien" Höhendifferenzen lassen sich Refraktionskoeffizienten bestimmen, welche in die Ausgleichung aufgenommen werden.

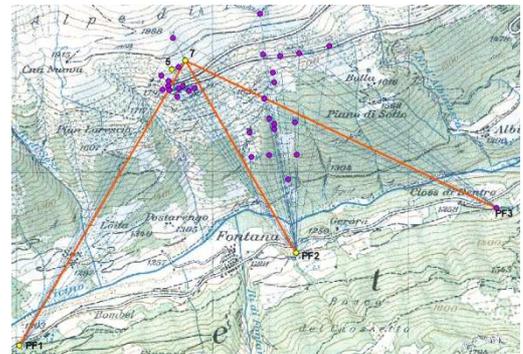


Abb. 2: 3D-Netzplan mit gegenseitigen Visuren (orange) und GNSS-Beobachtungen (gelb) (Quelle: Studio Meier, Minusio)

Bestimmung des Refraktionskoeffizienten mittels genau bestimmter Höhendifferenzen

Mit Hilfe der Höhendifferenzen zwischen den Punkten aus den statischen GNSS-Beobachtungen kann der Refraktionskoeffizienten berechnet und in der Auswertung berücksichtigt werden. Zudem stützen die GNSS-Koordinaten das Netz zusätzlich ab.

4. Best-Practice-Variante

Die beim Variantenstudium ausgewählten Best-Varianten wurden bei Feldmessungen verifiziert und auf ihre Durchführbarkeit geprüft. Dabei zeigte sich das Konzept mit den gleichzeitig-gegenseitig gemessenen Höhenwinkeln als die Best-Practice-Variante für das Netz an der Gotthard Passstrasse, da sie sowohl den geringeren Mehraufwand bei den Feldmessungen mit sich bringt, als auch die robusteren Resultate liefert.

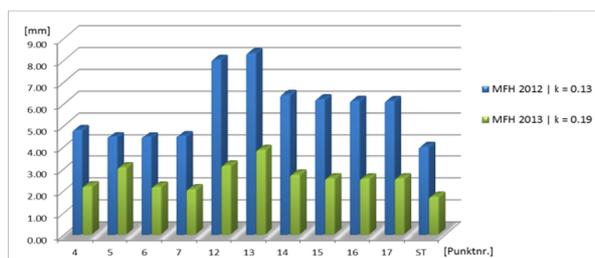


Abb. 3: Vergleich der empirischen Höhengenaugkeiten ausgewählter Punkte 2012 und 2013 (MFH - empirische Standardabweichung der Höhe)

Die so bestimmten Höhenwinkel und Refraktionskoeffizienten verkleinern die Differenzen in den gegenseitigen Höhenwinkel und steigern die Höhengenaugkeit um bis zu 40% im Vergleich zur Folgemessung 2012. Dies mit einem Mehraufwand von nur vier Stunden beziehungsweise 12% des normalen Aufwands.

Aufgrund der erhaltenen Erkenntnisse wurde für die kommende Folgemessung ein Konzept ausgearbeitet, welches sich auf die Variante mit gleichzeitig-gegenseitigen Messungen von Höhenwinkel stützt. Dieses Konzept beinhaltet von der Vorbereitung bis zur Auswertung, alle zu treffenden Massnahmen um die Unsicherheiten in den Höhenbestimmungen in Zukunft zu minimieren.

Autor:	Andri Gredig	gredig.andri@gmx.ch
Examinator:	Prof. Dr. Reinhard Gottwald	reinhard.gottwald@fhnw.ch
Experte:	Dipl.-Ing Ivo Schätti	Ivo.Schaetti@studio-meier.ch