

---

# Grundlagennetz für ein Infrastrukturprojekt im alpinen Gelände

Ekkehart GRILLMAYER

auzinger grillmayer ZT GmbH, Wels - Bad Hall - Garsten · grillmayer@zivilgeometer.at

## Zusammenfassung

Lineare Bauwerke mit Ausdehnungen über mehrere Kilometer im alpinen Gelände stellen immer noch eine besondere Herausforderung für den Vermesser dar. An Hand des Beispiels K3 (3 km Aufstiegsbahn auf den Maiskogel bei Kaprun und 4 km Horizontalseilbahn am Kitzsteinhorn) wird gezeigt, wie durch Kombination von PP GNSS und konventioneller Vermessung ein Grundlagennetz geschaffen werden konnte, welches den Ansprüchen der Baufirma genügt. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Höhenübertragung gelegt.

## 1 Ausgangssituation

Das Schigebiet am Kitzsteinhorn ist derzeit nur über den sogenannten Gletscherjet (eine Zwei-Seil-Umlaufbahn) und die sog. Panoramabahn (klassische Kabinenbahn) zugänglich. Damit verbunden ist die Zufahrt durch das Tal der Kapruner Ache mit PKW und Bussen, was mit der zunehmenden Attraktivität des Gletscherschigebiets sowohl verkehrs- als auch parktechnisch vermehrt zu Schwierigkeiten führt. Abhilfe soll eine Horizontalseilbahn vom Maiskogel oberhalb Kaprun in den Mittelstationsbereich Langwied der Gletscherbahnen schaffen. Dazu wird auch die Bahn auf den Maiskogel neu errichtet und nach Fertigstellung wird es möglich sein, mit der Seilbahn direkt vom Ort Kaprun in das Gletscherschigebiet zu gelangen.

Die Horizontalseilbahn wird die Gipfelstation am Maiskogel mit der Mittelstation Langwied über lediglich 5 Stützen erreichen, wobei die Länge der Bahn 4 km und der Höhenunterschied lediglich 300 m beträgt. Der größte Stützenabstand beträgt beinahe 2 km, die Stützenstandorte liegen in hochalpinem Gelände und sind grundsätzlich zugänglich, jedoch nur fußläufig (bis zu 90 min) und es gibt tw. keine Verbindungswege zwischen den Stützen.

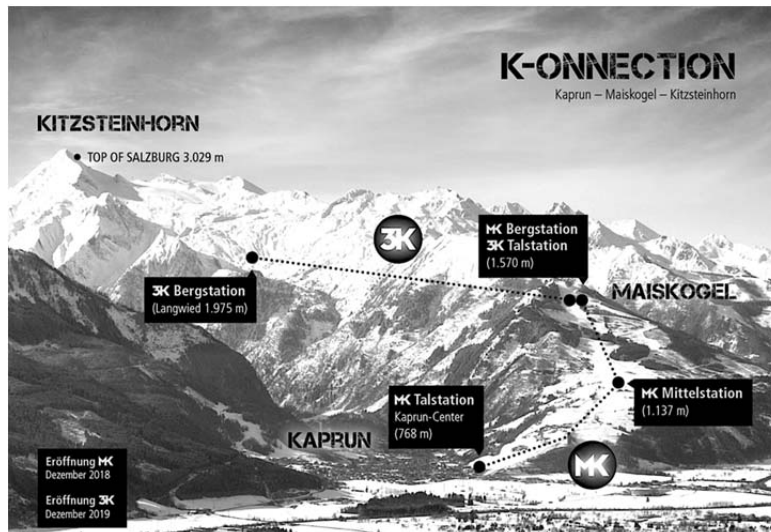


Abbildung 1: Panoramaübersicht zum Projekt K-ONNECTION

## 2 Netzentwurf und Messkonzept

Je Stützenstandort wurden zwei bis drei Netzhauptpunkte und mehrere Verdichtungs- punkte vorgesehen, wobei die Verdichtungs- punkte vorrangig als Miren in massivem Fels ausge- führt wurden. Abstände und Positionen dieser Miren zum Stützenstandort wurden so ge- wählt, dass sie im Zuge der Bauführung nicht beschädigt werden. Diese Eigenschaft konnte für die Hauptpunkte auf Grund der Geländebeschaffenheit nicht überall realisiert werden. Die Hauptpunkte wurden vor Beginn der Messkampagne stabilisiert, die Miren im Zuge der Messung selbst. Somit ergaben sich 21 Netzhauptpunkte, welche ergänzt um 2 amtliche Festpunkte und eine vorab am Alpincenter der Gletscherbahn installierte Permanentstation das Hauptnetz für die Baumaßnahme darstellen. Diese Hauptpunkte sollten mittels stati- scher GNSS Messung bestimmt werden, die Miren durch terrestrische Beobachtung in das Hauptnetz integriert. Zur Abstützung der Richtungen wurden Richtungsbeobachtungen von einem Stützenstandort zum nächsten und vorhergehenden über exzentrische Aufstellungen realisiert, da auf Grund der Topografie zwischen Hauptpunkten benachbarter Stützenstand- orte nicht überall eine direkte Sichtverbindung gegeben ist. Abbildung zeigt eine Übersicht des Netzentwurfs.



**Abbildung 2:** Netzentwurf

Für die Besetzung der Hauptpunkte wurden folgende Bedingungen formuliert:

- Als Epochendauer wurden 120 Minuten festgelegt. Diese Epochenlänge wurde auf Grund von Erfahrungswerten und einer geplanten durchschnittlichen Beobachtungszeit nach folgenden Parametern gewählt:
    - Für Vektoren mit einer Länge bis zu 1 km 60 Minuten
    - Für jeden zusätzlichen km Vektorlänge 30 Minuten
    - Die mittlere Vektorlänge beträgt 3 km
- Beobachtungszeit [min]= 60 + 30 \* (mittlere Vektorlänge – 1 km)**
- Jeder Hauptpunkt soll in mindestens zwei Epochen besetzt werden.
  - Randpunkte des Netzes in Berg und Tal werden durchgängig besetzt

Ziel des Beobachtungsplans war, eine Auswertung linear unabhängiger Vektoren in der Form zu ermöglichen, dass dabei das Netz wie ein verschränkter Polygonzug entwickelt wird. Auf die kurzen Vektoren zwischen den Hauptpunkten eines Stützenstandortes wurde dabei bewusst verzichtet, da diese durch die terrestrischen Messungen im Rahmen der Verdichtung und Schaffung der Miren ohnehin mit höherer Genauigkeit bestimmt wurden.



**Abb. 3:**

der Autor bei der Montage der Permanentstation KITZ-STEINHORN

Die Permanentstation am Alpincenter wurde bereits 2 Monate vor Beginn der Meßkampagne installiert und ihre Stabilität sowie die Zuverlässigkeit der dort aufgezeichneten Daten über diesen Zeitraum beobachtet und analysiert. Dazu wurde die Station nach der endgültigen Montage mittels eines 48-Stunden-Datensatzes und den nächstgelegenen APOS Referenzstationen Scharegg, Kitzbühel und Dienten in das ETRS eingerechnet. In weiterer Folge wird die Permanentstation als Zentralpunkt der Datumsverfügung und als aktiver Festpunkt (auch über die Netzanlage hinaus) genutzt. In der Station werden Rohdatensätze in verschiedenen Datenraten aufgezeichnet und automatisch an einen externen Server übertragen und es werden drei verschiedene Korrekturdatenströme für RTK Messungen (Baubetrieb), die Schneehöhenmessung sowie einfachere Überwachungsaufgaben zur Verfügung gestellt.

### 3 Messung

Für die Messung standen insgesamt 9 mobile und ein permanent installierter GNSS Empfänger zur Verfügung. Alle Geräte wurden vorab so konfiguriert, dass sie Daten der Systeme GPS und GLONASS bis zu einer Elevation von  $0^\circ$  mit einer Frequenz von 0.2 Hz im internen Speicher aufzeichneten. Da es sich um Geräte unterschiedlicher Hersteller und Typen handelte, sollte der Auswahl der Antennenkalibrierung in der Auswertung besonderes Augenmerk zukommen.

Die Empfänger wurden von 4 Messteams eingesetzt, die Netzmessung erfolgte im August 2017 in 7 Epochen an 2 Tagen. Zeitgleich mit den GNSS Messungen auf den schwer zu-

gänglichen Stützenstandorten KL04-05, KL06-07 sowie KL08-11 wurden die Netzverdichtungen zu den Miren gemessen (Entfernungen 1000 bzw. 2000 m, vergleiche Netzplan in Abbildung 2). Die Netzverdichtungen in den übrigen Stützenstandorten wurden später gemessen.



**Abbildung 4:** Ausgewählte Netzpunkte während der Netzmessung. Links: KL06, Mitte: KL08, Rechts: FM01

Jeder Messtrupp führte zur Sicherheit während der Messung ein Beobachtungsprotokoll mit folgenden Inhalten:

**Punktnummer, Beobachter, Antennentyp, Antennenhöhe zu Beginn und am Ende der Epoche, Uhrzeit Messbeginn und –ende, Anmerkungen**

Für die Messung der Antennenhöhen wurde als Bezugspunkt vorab jeweils die Antennenunterkante vereinbart.

## 4 Auswertung

Vor Beginn der eigentlichen GNSS Auswertung erfolgte noch die Konvertierung aller Daten von den Herstellerspezifischen Formaten in RINEX (mittels `teqc` von UNAVCO). Dabei wurden die Einträge der Antennentypen auf NGS Kompatibilität geprüft resp. korrigiert und die gemessenen Antennenhöhen kontrolliert.

Zur Kontrolle wurden alle Empfänger am Ende der Kampagne auf einem Parkplatz in unmittelbarer Nähe zueinander aufgebaut und Daten aufgezeichnet. Danach wurden die Antennen von den Trägern getrennt und mittels Tachymeter die tatsächlichen Höhenunterschiede der Antennen bestimmt. Der Vergleich mit den Antennenkalibrierwerten in der GNSS Auswertesoftware war die Entscheidungsgrundlage für die Wahl des Parametersatzes „NGS Absolut“.

Als Auswertesoftware wurde Leica Infinty eingesetzt. Dabei wurden für die troposphärische Korrektur, der wegen der großen Höhenunterschiede besonderes Augenmerk zu schenken war, die VMF (ViennaMappingFunction) benutzt. Hinsichtlich der ionosphärischen Fehlereinflüsse wurden einmal Korrekturen mitberechnet und einmal mit einem lokalen Modell ausgewertet, wobei die Differenzen gering waren. Schlussendlich wurde die Auswertung mit mitberechneten Korrekturen weiterverwendet.

Nach Abschluss der GNSS Auswertung wurden die Vektoren und ihre Kovarianzen in das Ausgleichsmodul der Auswertesoftware Geosi übernommen und als erstes eine freie 3D

Ausgleichung über die statisch prozessierten Vektoren im Koordinatensystem ETRS berechnet. Dabei wurden vier der längeren Vektoren als fehlerhaft identifiziert (2 – 3 cm) und ausgeschlossen. Anschließend wurden zur Kontrolle die terrestrischen Verdichtungsmessungen in eine nach Lage und Höhe getrennte Ausgleichung mit einbezogen, wobei als Koordinatenbezug für die Lage eine UTM Abbildung und für die Höhe das Geoidmodell GRS80 (des BEV) verwendet wurden. Nach erfolgter Fehlerbereinigung kann die Genauigkeit der neu geschaffenen Punkte im Schnitt mit 2 mm in der Lage und 5 mm in der Höhe angegeben werden (jeweils  $1\sigma$ ). Spannungen in den versuchten trigonometrischen Höhenübertragungen zwischen einzelnen Stützenstandorten gaben einen ersten Hinweis auf zu erwartende Schwierigkeiten bei der Höhenableitung.

Für die weiteren Berechnungen um schlussendlich zu Koordinaten im Projektkoordinatensystem (genähert im System der Landesvermessung) zu erhalten, musste als nächstes eine entsprechende Anfelderung berechnet werden.

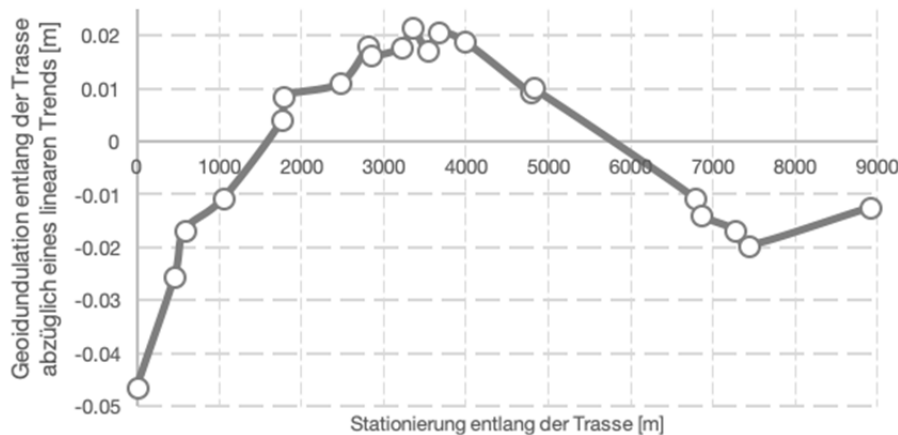
## 5 Anbindung an das Festpunktfeld

Da die Grundlagenvermessung des Projekts über mehrere Jahre immer wieder ergänzt wurde und dabei im Wesentlichen immer an die nächstgelegenen Festpunkte (außer jenen, bei denen bekannte Spannungen zu den Nachbarpunkten bestehen) angeschlossen wurde, ergaben sich hier gewisse Zwänge. Eine besondere Herausforderung stellt die Ableitung der Höhen aus den GNSS Messungen dar. Auf Grunde der Orientierung, Ausdehnung und Lage des Projekts können die Höhen nicht durch eine Anfelderung mit einer schiefen Ebene abgeleitet werden, wie folgende Analyse des Geoidverlaufs belegt.

### 5.1 Höhenableitung

Die Analyse des Ausschnitts des amtlich verfügbaren Geoids im Projektgebiet (wobei hier auch die gewünschten amtlichen Festpunkte am Rand des Projekt, über die üblicherweise die Anfelderung gerechnet würde, einbezogen wurden), zeigt dass die Änderung der Undulation bis zu 1.1 m beträgt und diese Änderungen im Projektgebiet nicht linear sind. Somit scheidet die Möglichkeit, die Höhen einfach durch Anfelderung mit der üblichen schiefen Ebene abzuleiten aus.

Um die Auswirkungen des Geoidverlaufs im Projektgebiet etwas genauer abschätzen zu können, wurden die Undulation an den Netzhauptpunkten interpoliert und der lineare Trend der Undulationen abgezogen. Die so erhaltenen Residuen der Undulation wurden mit den Stationierungen der Netzhauptpunkte entlang einer ausgleichenden Gerade durch diese aufgetragen.



**Abbildung 5:** Darstellung des nicht linearen Geoidverlaufs entlang der Trasse

Als zusätzliche Schwierigkeit stellten sich die aus dem Korrekturgrid des BEV ablesbaren den Gebrauchshöhen überlagerten Fehler dar, die zwischen -0.192 m und +0.044 m liegen.

Um diese Informationen berücksichtigen zu können und dennoch einen möglichst widerspruchsfreien Anschluss an die Datengrundlage der Projektierung herzustellen, wurden die Höhen in einem ersten Schritt mit dem Geoid und dem Höhen-Korrektur-Grid des BEV abgeleitet. Danach wurden aus den terrestrischen Verdichtungsmessungen in den Stützenbereichen, bei denen auch Polygonpunkte der Grundlagenvermessung einbezogen wurden, für die Polygonpunkte neue Höhen berechnet und mit den ursprünglichen Höhen verglichen. In jenen Stützenbereichen, in denen größere Widersprüche festgestellt wurden, wurden die Höhen der Geländeaufnahmen soweit dies möglich war verbessert und so die Projektgrundlage homogenisiert.

Nach dem letzten Schritt wird davon ausgegangen, dass die in der Projektierung verwendeten Höhen über das gesamte Projekt eine Genauigkeit von weniger als 3 cm in Bezug auf die neu geschaffenen Netzpunkte aufweisen.

Aus der Analyse der Geoidundulationen kann auch gefolgert werden, dass eine trigonometrische Höhenübertragung in diesem Gebiet keine zufriedenstellenden Resultate liefern wird, selbst wenn es gelänge, das Refraktionsproblem zu lösen. Auf Grund der großen Geoidunterschiede entlang der Trasse müssten für eine trigonometrische Höhenübertragung auch die Lotabweichungen berücksichtigt werden. Als Beleg kann folgende Berechnung des Höhenunterschieds aus Tachymeterdaten zwischen den Stützenstandorten K1 (KL03), K2 (KL04 und KL05) und K3 (KL06) angesehen werden.

```

Station: freie Stationierung FS501
Zielpunkt      Sh [m]  dH [m]      P [ ]      H [m]
KL03           356.8557 -108.933    0.0785    1819.767
KL04           37.4111  -22.405    7.1450    1819.774
KL05           4.6100   -0.467   470.5518    1819.781
KL06           817.2360  101.796    0.0150    1819.819
Fehlerrechnung:
Zielpunkt      dh [m]  mH [m]  Hinweis
KL03           0.013   0.038
KL04           0.006   0.004
KL05          -0.000   0.000
KL06          -0.038   0.086

```

Die Ausgangshöhen bei dieser Berechnung waren die auf das GRS80 bezogenen orthometrischen Höhen.

## 5.2 Lageanfelderung

Für die Lage wurde das Baustellennetz frei auf die Polygonpunkte der Grundlagenvermessung transformiert. Auch hier wurden die bestehenden Polygonpunkte, sofern sie nicht neu mitberechnet werden konnten, anschließend transformiert.

Mit diesen Lagerungsinformationen wurden die nach Lage- und Höhe getrennten Ausgleichungen im Projektkoordinatensystem wiederholt und somit die letztgültigen Koordinaten berechnet.

## 6 Bauabsteckung

Für die folgende Absteckarbeiten bzw. Ergänzungsmessungen wurde vereinbart, dass alle terrestrischen Messungen nur noch an die neu bestimmten Polygon- und Netzpunkte angeschlossen werden dürfen. Sofern dies im Arbeitsablauf sinnvoll bzw. notwendig wird, z.B. bei der Grobabsteckung von Baugruben, ist beim Einsatz von RTK Systemen eine örtliche Anfelderung an die nächstgelegenen Punkte des Baustellennetzes durchzuführen.

## 7 Schlussbemerkung

Grundlagentetze im hochalpinen Gelände stellen auch heute noch eine der außergewöhnlichsten Herausforderungen für den Ingenieurgeodäten dar. Neben den rein fachlichen Fragestellungen, deren Lösungen uns mit ausreichender Vorbereitung immer zugänglich sind, besteht ein Hauptproblem darin, dass es im Projektablauf meist nicht möglich sein wird, solche Lösungen auch sauber umzusetzen. Eine der wesentlichen Anforderungen ist daher die Kommunikation mit dem Projektbetreiber, sodass, wenn schon nicht ideale, dann zumindest optimierte Lösungen umgesetzt werden können.