

BACHELORARBEIT

Bestimmung von Normalhöhen mit GNSS-Messungen und dem Quasigeoidmodell GCG2011 auf ausgewählten Höhenfestpunkten

angefertigt von

Josef Traurig

Studiengang: Geoinformatik und Satellitenpositionierung

Betreuer: Prof. Dr. Georg Lothar

Die Arbeit wurde angefertigt in Zusammenarbeit mit:

**Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung
Bayern**



Betreuer: Herr Manfred Klette

Wintersemester: 2013/2014

Abgabetermin: 10. April 2014

Inhaltsübersicht

1	Einleitung	1
1.1	Motivation.....	1
1.2	Höhensystem.....	2
1.3	Aufgabenstellung	3
2	Equipment	4
2.1	Messinstrumente	4
2.2	Zubehör und sonstige Ausrüstung	5
2.3	Antennenkalibration.....	7
2.4	Antennenhöhe bei zentrischer Messung	8
2.5	Antennenhöhe bei Messung mit Höhenübertragung	10
3	Nivellementpunktfeld	11
3.1	Allgemeines	11
3.2	Genauigkeitsklassen der Nivellementpunkte.....	12
3.3	Bezeichnung der Nivellementpunkte.....	14
3.4	Vermarkung der Nivellementpunkte	14
4	Vorbereitungen und Messungen	18
4.1	Vorläufige Selektion der Punkte.....	18
4.2	Durchführung der Messungen	20
5	Verarbeitung der Daten	24
5.1	Auswerten der statischen Messungen.....	24
5.2	Auswerten der RTK-Messungen	29
5.3	Berechnung der Quasigeoidhöhen.....	29
6	Analyse der Ergebnisse	31
6.1	Verfahrensweise und verwendete Formeln	31
6.2	Alpenrand.....	37
6.3	Hügelland.....	43

6.4	Flachland.....	50
6.5	Alle Punkte	56
6.6	Standardabweichungen aus Doppelmessungen	59
6.7	Vergleich der Analysen	60
7	Berechnung einer 3D-Szene	63
8	Zusammenfassung	65
8.1	Fazit	65
8.2	Ausblick	66
8.3	Danksagung	67
9	Literatur- und Internetadressenverzeichnis	68
10	Anhang	70
10.1	Abbildungsverzeichnis.....	71
10.2	Tabellenverzeichnis	72
10.3	Diagrammverzeichnis	73
10.4	Verwendete Software.....	73
10.5	Tabelle der t-Verteilung nach „Student“	74
10.6	Abkürzungsverzeichnis.....	75
10.7	Inhaltsübersicht der beigefügten DVD	77
11	Eidesstattliche Erklärung	79

1 Einleitung

1.1 Motivation

Durch die Einführung, oder besser gesagt durch die Schaffung des NAVSTAR GPS (Navigation System with Timing And Ranging – Global Positioning System) des US-Verteidigungsministeriums und vieler weiterer GNSS-Systeme, wie z. B. das russische System GLONASS oder das noch nicht fertiggestellte europäische System Galileo, besteht weltweit die Möglichkeit, Positionsbestimmungen durchzuführen. Dazu benötigt man nicht unbedingt die beste und teuerste Messausrüstung. Beinahe jeder Mensch hat ständig ein Empfangsgerät bei sich, das Smartphone. Mit solchen Mobiltelefonen erreicht man natürlich

keine zentimetergenaue Position, sie kann aber dennoch auf einige Meter genau berechnet werden und ist damit ausreichend für das z. B. viel genutzte Navigieren von A nach B und vielen weiteren zur Verfügung gestellten Mobile App's .

Neben der Navigation, sei es im Straßenverkehr, in der Luftfahrt oder auf dem Wasser, gibt es zahlreiche weitere Möglichkeiten der GNSS-Nutzung. Für die klassische, präzise Vermessung der Erdoberfläche, für die sehr hochwertiges und teures Instrumentarium zum Einsatz kommt, werden die ausgesandten Signale der die Erde umkreisenden Satelliten genauso genutzt wie für die Ortung von Fahrzeugen und Tieren, das Steuern von Bau- und landwirtschaftlichen Maschinen, die Plattentektonik bis hin zu den Meteorologen, die sich aus den die Atmosphäre durchlaufenden und dadurch gekennzeichneten Wellen Modelle für die Wettervorhersage



Abbildung 1.1: „Signalempfang“ einer GNSS-Antenne

ableiten. Mit diesen zu jeder Zeit und jeder Orts anwendbaren Verfahren erleichtert sich natürlich so mancher Arbeitsaufwand und damit die Wirtschaftlichkeit erheblich. Sollen z. B. die Koordinaten eines Punktes bestimmt werden, lassen sich diese mit Hilfe einer GNSS-Messung und dem nötigen Know-how im Gegensatz zur terrestrischen Methode relativ unkompliziert ermitteln. Dazu kann mit zusätzlichen Korrekturdaten, die in Echtzeit, also während dem Messen, oder im Nachhinein angebracht werden können, die Genauigkeit effizient gesteigert werden.

Ein großer Nachteil ist aber, dass eine präzise Punktbestimmung über Satellit nur mit ausreichend Sicht zum Horizont möglich ist. Umso größer und weiter die Sicht rund um die Antenne ist, umso mehr Satelliten können empfangen werden und umso besser ist die Messung.

Aus aufwandstechnischen Gründen ist die GNSS-Messung der terrestrischen vorzuziehen. Es stellt sich aber die Frage, wie genau die Punkte bestimmt werden können!

1.2 Höhensystem

Ein Punkt wird durch die Angabe der Lagekoordinaten in einem bestimmten Koordinatensystem und die Höhe im jeweiligen Höhensystem eindeutig definiert. Das aktuelle, amtliche Höhensystem in Deutschland ist das DHHN92 (Deutsches HauptHöhenNetz 1992). Solche Normalhöhen werden in Meter über NormalHöhenNull (m ü. NHN) angegeben und besitzen den Höhenstatus 160. Es werden aber nach wie vor auch noch die Höhen des alten Systems DHHN12 verwendet (m ü. NN, Status 100).

Aus Satellitenmessungen bestimmt man sogenannte ellipsoidische Höhen, bezogen auf die Referenzfläche GRS80 im Bezugssystem WGS84. Um diese ellipsoidischen Höhen in amtliche zu transformieren benötigt man das Quasigeoidmodell, das die Höhenbezugsfläche für das DHHN92-System bildet. Dieses Modell nennt sich GCG2011 (German Combined QuasiGeoid 2011) und wurde durch eine Gemeinschaftsarbeit der Vermessungsverwaltungen

der Länder, des BKG und des IfE Hannover bestimmt. Mit dem GCG2011 kann für jede beliebige Position in Deutschland die Quasigeoidhöhe, auch Höhenanomalie genannt, berechnet werden und damit die ellipsoidische Höhe dieses Punktes in eine Normalhöhe umgerechnet werden.

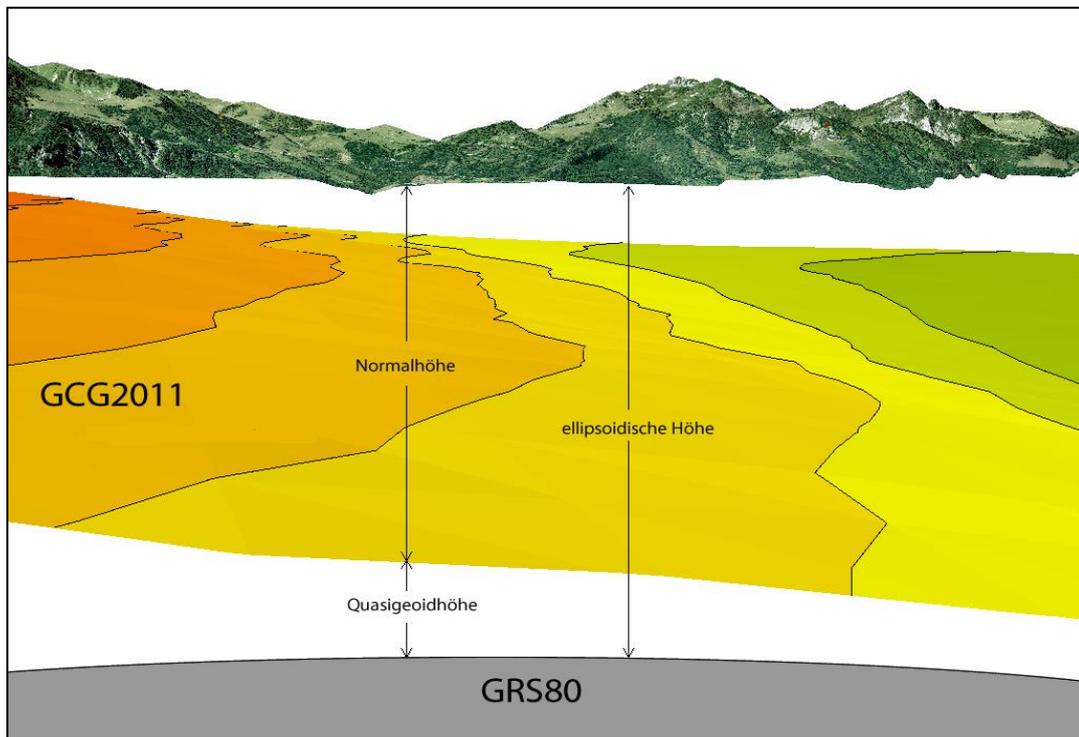


Abbildung 1.2: Zusammenhang von ellipsoidischer- und Normal-Höhe

1.3 Aufgabenstellung

Meine Aufgabe war es nun, auf ausgewählten, amtlichen Höhenfestpunkten (HFP) GNSS-Messungen durchzuführen, die ermittelten ellipsoidischen Höhen mit dem GCG2011 in Normalhöhen umzurechnen und diese mit den vorhandenen, mittels Nivellement bestimmten NHN-Höhen zu vergleichen, um daraus Aussagen über die zu erreichenden Genauigkeiten zu machen. Dazu wurden Nivellementpunkte (NivP) in drei verschiedenen Gebieten ausgewählt. Am Alpenrand, im Hügel- und im Flachland sollen jeweils 8 bis 10 NivP untersucht werden.

Die Arbeit wurde gestellt vom bayerischen Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV).

2 Equipment

Zunächst wurde das Messequipment, das zur Durchführung der Messungen erforderlich war, zusammengestellt. Dieses ist mir vom LDBV zur Verfügung gestellt worden und im Folgenden aufgelistet.

2.1 Messinstrumente

Leica Antenne AT504 GG¹ (Chokering-Antenne)

- sehr gute Abschirmung von reflektierten Signalen (Multipath)
- hohe Stabilität des Phasenzentrums (< 1mm)
- Empfang von GPS- und GLONASS-Signalen
- resistent gegenüber Störsendern



Abbildung 2.1: Leica Antenne AT504 GG

Leica Receiver GX1230 GG² (inklusive Modem Leica GFU28)

- Empfang von GPS- und GLONASS-Signalen
- Trägerphasen: GPS: 14 L1-, 14 L2-Kanäle, GLONASS: 12 L1-, 12 L2-Kanäle, SBAS: 2 Kanäle
- GPS: C/A Code (L1), C Code (L2C) und P2 Code (L2)
GLONASS: C/A Code (L1), P2 Code (L2)
- Genauigkeitsangaben(als RMS-Wert aus LeicaGeoOffice bei statischer, differenzieller Messung):
 - Postprocessing(durchschnittlich lange Basislinien):
Lage: 5mm + 0,5ppm
Höhe: 10mm + 0,5ppm
 - Real-Time: Lage: 5mm + 0,5ppm
Höhe: 10mm + 0,5ppm



Abbildung 2.2: Leica Receiver GX1230 GG mit Modem

¹ http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-AT504-GG-Choke-RingAntenna_4601.htm

² http://www.cropohr/files/documents/manuals/leica_gps1200_user_en.pdf

Leica Nivellier Wild NA3000³

- Digital-/ Analognivellier (hier wurde nur analog gemessen)
- Genauigkeitsangaben (Standardabweichung bei 1km Doppelnivellement):
 - Elektronische Messung
mit Invarlatte: 0,4mm
mit Standardlatte: 1,2mm
 - Optische Messung
mit Standardlatte: 2,0mm



Abbildung 2.3: Leica Nivellier Wild NA3000

2.2 Zubehör und sonstige Ausrüstung

Stativ, Dreifuß , Adapter mit Messhaken und Zapfen

für direkte Messung, zentriert mit bestimmter Höhe über Punkt, die mit dem Leica-Messhaken und Konstante bestimmt wurde (siehe 2.4).

Stativ, Dreifuß, Adapter, FG-ANA 100B (Antennenträger mit Präzisions-Inoxmaßstab/ mm-Skala), Zapfen

für Messungen, die nicht zentrisch über Punkt durchgeführt werden konnten. Mittels Nivellement wurde die Höhe übertragen (siehe 2.5).



Abbildung 2.4: Stative mit Aufbau

³ http://www.leica-geosystems.de/de/Support-ServiceDownloads_8346.htm?cid=1168

Leica Nivellierlatte

- bis zu 4m ausziehbar
- für digitales und analoges Nivellement

Spinne

- zur Stabilisierung und lotrechten Aufstellung der Nivellierlatte

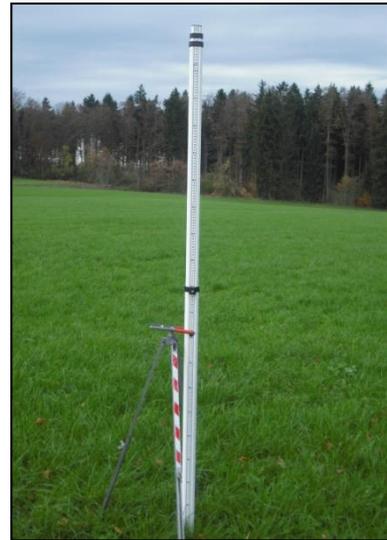


Abbildung 2.5: Leica Nivellierlatte mit Spinne

Klappspaten

- zum Suchen und Freilegen von HFP unter Gelände



Feldbuchrahmen

- Schreibunterlage für das Messformular zur Notierung von Daten wie Punktnummer, Antennenhöhe, Nivellementablesungen, etc.



Kompass

- zum Ausrichten der Chokering Antenne nach Norden



Abbildung 2.6: Klappspaten, Feldbuchrahmen, Kompass

Digitalkamera

Thermometer

Datenblätter der HFP

2.3 Antennenkalibration

Für die Messung war natürlich die exakte Bestimmung der Antennenhöhe erforderlich. Diese Höhe ist die Differenz zwischen Höhenfestpunkt und dem Antennenreferenzpunkt⁴ (ARP), die sich aus der Messhakenablesung und der Additionskonstante zusammensetzt.

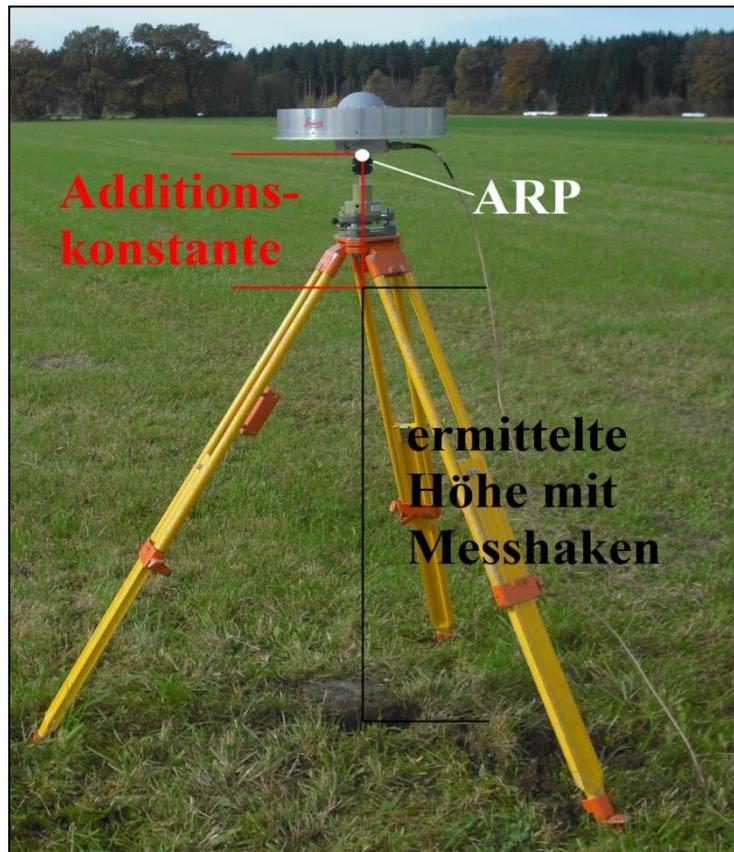


Abbildung 2.7: Antennenhöhe und ARP

Der ARP ist der angenommene, physikalische Bezugspunkt der Antenne, auf den sich die Messung bezieht. Aufgrund der elektromagnetischen Eigenschaften variiert der Referenzpunkt aber im Inneren der Antenne, d. h. die Höhe der GNSS-Messung wird nicht vom ARP, sondern vom sogenannten mittleren, elektronischen Phasenzentrum bestimmt. Da dies einen entscheidenden Einfluss auf die Messgenauigkeit hat, müssen GNSS-Antennen

⁴ http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_forst_geo_und_hydrowissenschaften/fachrichtung_geowissenschaften/gi/gg/veroeffentlichungen/DVW-Merkblatt_Nr1_2011.pdf

kalibriert werden, um Korrekturdaten zu bestimmen. Aus der Kalibrierung erhält man einen mittleren Phasenzentrumsoffset (PZO), der den Bezug vom ARP zum elektronischen Phasenzentrum E herstellt, und die elevations- und azimutabhängigen Phasenzentrumsvariationen (PZV). Infolge der Abhängigkeit der anzubringenden Korrekturen von der Richtung und dem Zenitwinkel der eintreffenden Signale muss die Antenne ein festes Bezugssystem (XYZ) besitzen und nach jeweiliger Vorgabe nach Norden ausgerichtet werden, damit die Werte richtig angebracht werden können. Die Leica AT504 GG muss mit der Anschlusschnittstelle für das Antennenkabel in Richtung Nord aufgebaut werden. Deswegen war auch der Kompass erforderlich.

Es gibt zwei verschiedene Arten der Antennen-Kalibration. Bei der relativen Kalibrierung werden die Korrekturdaten in Bezug zu einer Referenzantenne erfasst. Bei der Absoluten wird die Antenne im Freien oder in einer Messkammer – mit künstlich erzeugten Signalen – über einen bekannten Punkt gedreht und gekippt und dabei die Kalibrierwerte ermittelt. Die verwendete Antenne bei dieser Arbeit wurde absolut, individuell kalibriert. Man kann auch typabhängige Korrekturdaten beziehen, z. B. vom Hersteller. Dabei handelt es sich aber um Durchschnittswerte und sind somit ungenauer als direkt kalibrierte Antennen. Weiter wird dieses Thema hier nicht behandelt.

2.4 Antennenhöhe bei zentrischer Messung

Nachdem nun die Beziehung zwischen ARP und E feststeht und durch Anbringen der Korrekturwerte berücksichtigt werden kann, muss die korrekte Antennenhöhe bestimmt werden. Dies ist nicht sonderlich schwierig. Zum abgelesenen Betrag am Messhaken muss einfach die Additionskonstante addiert werden. Die Konstante beträgt für die verwendete Ausrüstung laut Leica + 0,360 m bis zum ARP. Da aber nicht die Leica-, sondern die absolute Antennen-Kalibration verwendet wird, verändert sich der Referenzpunkt. Dieser befindet sich zentrisch über dem zu messenden Punkt an der Unterseite der Antenne (siehe Abbildung 2.7), wobei er mit Leica-Kalibrierung etwas tiefer liegt. Zur Ermittlung des Abstandes zwischen Messhaken und ARP wurde ein Nivellement durchgeführt, das nachstehend erläutert wird.

Dazu wurde zunächst das Nivellier aufgebaut, die Libelle eingespielt und wenige Meter entfernt davon der Frosch platziert, der die Funktion des Festpunktes übernahm. Anschließend sind mit Hilfe der Reichenbach'schen Distanzfäden drei Höhenwerte von der lotrecht gestellten Nivellierlatte abgelesen worden. Aus diesen Werten wurde das Mittel gebildet.

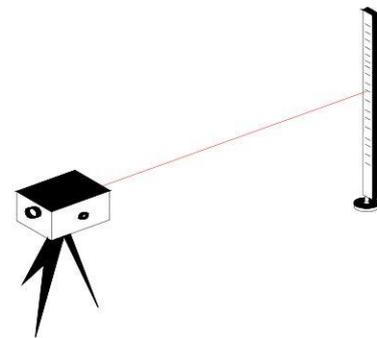


Abbildung 2.8: Instrumentenhöhe des Nivellier

Die Instrumentenhöhe beträgt 1,006 m.

Im nächsten Schritt wurde die Messlatte entfernt und die Antenne zentrisch über den Punkt aufgestellt. Dabei musste darauf geachtet werden, dass die Position des Frosches nicht verändert wurde. Um nun den Abstand zwischen Instrumentenhöhe und ARP zu erhalten, hielten wir die Messlatte verkehrt herum an den unteren Rand der Antenne und lasen wieder die drei Werte an Ober-, Mittel- und Unterfaden ab. Systematische Fehler konnten bei dieser Messanordnung ausgeschlossen werden, da sich die Messlatten bei beiden

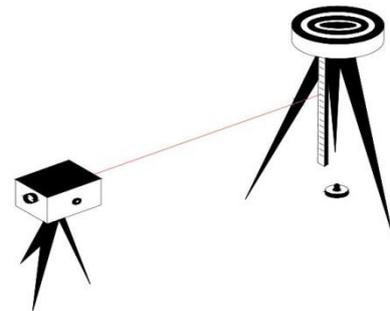


Abbildung 2.9: Abstand zwischen Instrumentenhöhe und ARP

Ablesungen in selber Richtung und selben Abstand befanden.

Nach Mittelung ergab sich ein Abstand von 0,346 m.

Nun steht nach Summierung der beiden Mittelwerte die Antennenhöhe fest, die hier 1,352 m beträgt.

Zum Vergleich wurde dann die Höhe aus Messhaken und Leica-Konstante ermittelt. Die Ablesung am Messhaken ergab 0,988 m, die Konstante hat den Wert 0,360 m. Damit erhalten wir bei dieser Methode eine Antennenhöhe von 1,348 m.

Schließlich wurde festgestellt, dass die Leica-Konstante für diese Kalibrierung um 4 mm zu klein ist. Der Punkt wäre am Ende also 4 mm zu hoch. Die Additionskonstante wird somit auf + 0,364 m festgelegt und muss bei jedem Punkt zur Ablesung am Messhaken addiert werden.

2.5 Antennenhöhe bei Messung mit Höhenübertragung

Nicht alle Punkte konnten bei dieser Arbeit direkt, also mit der Antenne über Punkt zentriert gemessen werden. Gründe dafür waren Sichthindernisse wie z. B. Bäume. Ein anderer NivP war an einer Kirchenmauer mit einem Bolzen vermarktet. In solchen Fällen musste die Höhe mittels Nivellement auf die Antenne übertragen werden. Dabei ist darauf geachtet worden, dass die Entfernung zum Punkt nicht zu groß wurde, um etwaiges Verfälschen der Höhenanomalie (siehe 1.2) zu unterbinden. Von den drei Messungen, die exzentrisch durchgeführt wurden, war der größte Abstand ca. 12 m.

Für die Höhenübertragung wurde zunächst, nach erfolgreicher Ermittlung eines geeigneten Standpunktes, die GNSS-Antenne mit dem wie unter 2.2 beschriebenen Aufbau aufgestellt und horizontalisiert. Positiv zu bemerken ist die Drehbarkeit des Präzisions-Inoxmaßstabes. Es muss also nicht darauf geachtet werden, in welche Richtung die Skala zeigt, dafür aber darauf, dass kein Stativbein die Skala zum Nivellier hin verdeckt. Anschließend wurde die Messlatte mit der Spinne lotrecht auf den zu messenden Punkt gestellt und mittig – zwischen Punkt und Antenne – das Nivellier aufgebaut. Durch diese Anordnung auf einer Linie, mit gleichen Abständen zu den Maßstäben, werden eventuell vorhandene Ziellinienfehler eliminiert. Die Strecken wurden mit Schrittmaß ermittelt.

Nun konnte die Höhe durch Rückblick zum NivP und Vorblick zur Antenne übertragen werden, jedoch nur bis zum Nullpunkt des Inoxmaßstabes. Zu berücksichtigen waren noch der Offset des Maßstabes, der hier 100 mm beträgt, und die Länge des Geräteträgerzapfens mit Schraubadapter mit 75 mm (Angaben laut Hersteller, außerdem sehr einfach nachzumessen).

Die Additionskonstante bei Messung mit Höhenübertragung summiert sich also zu + 0,175 m.

Die Antennenhöhe ergibt sich durch Addition von Rückblick, Vorblick und Additionskonstante.

3 Nivellementpunktfeld

In Abschnitt 3 wird der Aufbau des amtlichen Nivellementpunktfeldes (NivP-Feld) beschrieben. Der Inhalt wurde aus „*Vorschriften für den Aufbau und die Erhaltung des Nivellementpunktfeldes in Bayern*“⁵ entnommen und zusammengefasst.

3.1 Allgemeines

Die Grundlage für jegliche Höhenmessung mit Anschluss an das amtliche Höhensystem bildet das Nivellementpunktfeld (NivP-Feld), das sich aus den einzelnen NivP des gesamten Staatsgebiets zusammensetzt. Für jeden NivP wurde eine Höhe im Deutschen Haupthöhennetz bestimmt. Für das Bundesland Bayern wird auch die Bezeichnung Bayerisches Haupthöhennetz (Bayer. HHN) verwendet.

Ein NivP-Feld lässt sich wie folgt zerlegen:

- Nivellementnetze (Niv-Netze) oder Höhennetze sind Teile des NivP-Feldes.
- Niv-Netze bestehen aus zusammenhängenden Nivellementschleifen (Niv-Schleifen).
- Niv-Schleifen setzen sich aus mehreren in sich geschlossenen Nivellementlinien (Niv-Linien) zusammen.
- Niv-Linien werden aus mehreren Nivellementstrecken (Niv-Strecken) gebildet.
- Eine Niv-Strecke ist der Messweg zwischen zwei aufeinanderfolgenden NivP.

Zuständig für das NivP-Feld ist das Bayerische Landesvermessungsamt (jetzt LDBV), das die Höhen der einzelnen NivP zu ermitteln und den Nachweis jener zu führen hat.

⁵*Bayer. NivP-Erlass*, in Kraft gesetzt durch Bekanntmachung des Bayer. Staatsministeriums der Finanzen vom 6. Dezember 1974 (FMBI S. 681), im Verlag des Bayerischen Landesvermessungsamts, München 1975. Der Erlass wurde vom LDBV zur Verfügung gestellt.

Selbstverständlich muss das Höhenfestpunktfeld auch regelmäßig kontrolliert werden, um es vor der Verwahrlosung zu bewahren und für die Zukunft zu sichern. Unterirdische NivP-Gruppen z. B. werden ca. alle 20 Jahre auf ihre Höhenbeständigkeit hin überprüft. Dies ist wiederum Aufgabe des LDBV. Die vorhandenen NivP in einem Amtsbereich aber müssen vom jeweils zuständigen ADBV alle 10 Jahre begutachtet werden. Bei Auffälligkeiten und Veränderungen haben diese, jedoch auch die an NivP interessierten Dienststellen und Personen, das LDBV zu benachrichtigen.

3.2 Genauigkeitsklassen der Nivellementpunkte

Im Bayer. NivP-Erlass findet man Forderungen, die den *Empfehlungen der Internationalen Assoziation für Geodäsie für die Durchführung von Nivellements hoher Genauigkeit* entsprechen. Enthalten sind Angaben wie z. B. die Verwendung von Messlatten mit Invarband, gleiche Zielweiten zu Rück- und Vorblick mit maximal 50 Meter, zweifache Messung der Strecke bei unterschiedlichen Außenbedingungen, damit der *Grenzwert des wahrscheinlichen zufälligen Gesamtfehlers je Kilometer* kleiner als 2 Millimeter bleibt. Nach diesen Empfehlungen sind die Nivellementpunkte des Bayer. HHN festgelegt und in vier verschiedene Klassen unterteilt worden, die nachfolgend aufgeführt sind.

NivP(1) Nivellementpunkt im Netz 1. Ordnung

NivP(2) Nivellementpunkt im Netz 2. Ordnung

NivP(3) Nivellementpunkt im Netz 3. Ordnung

NivP(4) Nivellementpunkt im Netz 4. Ordnung

Das Netz der 1. Ordnung bildet die Grundlage des Nivellementpunktfeldes. Die Niv-Schleifen dieser Klasse haben einen maximalen Durchmesser von 80 Kilometer und sichern so mit der kleinsten von den vier Fehlergrenzen den Höhenbezug über große Gebiete hinweg. Diese Punkte müssen deshalb besonders gut und beständig an Orten mit stabilem Untergrund gegen

Veränderungen vermarktet werden. Die Netze der 2. und 3. Ordnung verdichten die jeweils übergeordneten Punkte mit kleineren Schleifendurchmessern und größeren Fehlergrenzen, sodass genügend Höhenanschlusspunkte mit ausreichender Genauigkeit zur Verfügung stehen. In besonderen Fällen werden die NivP(3) mit Punkten der 4. Ordnung erweitert, wobei die Niv-Linien dann nicht länger als vier Kilometer sein sollten. Die Höhenangaben erfolgen auf Millimeter, bei geringerer Genauigkeit und Stabilität des Punktes auf Zentimeter.

Einzuhaltende Fehlergrenzen bei Nivellements der verschiedenen Ordnungen:

- Widerspruch d_1 des Hin- und Rücknivellements zwischen zwei aufeinanderfolgenden NivP

$$\text{Netz 1. Ordnung} \quad d_1 = \pm 1,5 * \sqrt{R} \text{ mm}$$

$$\text{Netz 2. Ordnung} \quad d_1 = \pm 3,0 * \sqrt{R} \text{ mm}$$

$$\text{Netz 3. Ordnung} \quad d_1 = \pm 5,0 * \sqrt{R} \text{ mm}$$

- Widerspruch d_2 aus neuer Messung und dem aus Höhen im Nachweis der NivP errechneten Höhenunterschied zweier NivP

$$\text{Netz 1. Ordnung} \quad d_2 = \pm (2,0 + 1,5 * \sqrt{R}) \text{ mm}$$

$$\text{Netz 2. Ordnung} \quad d_2 = \pm (2,0 + 3,0 * \sqrt{R}) \text{ mm}$$

$$\text{Netz 3. Ordnung} \quad d_2 = \pm (2,0 + 5,0 * \sqrt{R}) \text{ mm}$$

$$\text{Netz 4. Ordnung beim Anschluss an NivP, deren Höhen auf Millimeter angegeben sind} \quad d_2 = \pm (2,0 + 6,0 * \sqrt{R}) \text{ mm}$$

$$\text{Netz 4. Ordnung beim Anschluss an NivP, deren Höhen auf Zentimeter angegeben sind} \quad d_2 = \pm (10,0 + 6,0 * \sqrt{R}) \text{ mm}$$

Für R ist der einfache Messweg in Kilometer einzusetzen.

3.3 Bezeichnung der Nivellementpunkte

Die Punktbezeichnung wird gebildet aus der Karteinummer – setzt sich aus der Blattnummer der Topographischen Karte des Maßstabs 1:25.000 (TK25) und einer fortlaufenden Nummer innerhalb des Blattes der TK25 zusammen – und Angaben über die Vermarkung (siehe 3.4) und Stabilität des Punktes. Weiterhin können noch Ortsnamen, örtliche Bezeichnungen oder Gebäudenamen ergänzt werden.

Innerhalb eines Blattes der TK25 werden die fortlaufenden Nummern wie folgt vergeben:

NivP(1) und NivP(2)	1 bis 1000
NivP(3)	1001 bis 2000
NivP(4)	2001 bis 3000

Angaben zur Stabilität aufgrund der Beschaffenheit des Bodens:

a = gut	NivP, bei denen Baugrund, Fundierung und Punktträger überdurchschnittliche Standfestigkeit erwarten lassen;
b = durchschnittlich	NivP mit durchschnittlicher Standfestigkeit;
c = mangelhaft	NivP, bei denen ungünstige Gegebenheiten Höhenänderungen erwarten lassen.

3.4 Vermarkung der Nivellementpunkte

Nivellementpunkte werden verschiedenartig, dauerhaft vermarkt. Die Höhenangaben beziehen sich auf die höchste Stelle der aus Metall, Stein oder sonstigem verwitterungsbeständigem und maßhaltigen Material angebrachten Marke. Die meist oberirdischen, allgemein zugänglichen NivP werden an Bauwerken, in Felsanschnitten oder an besonders eingebrachten Punktträgern im freien Gelände durch verschiedene Höhenbolzen festgelegt. Diese müssen in ausreichender Anzahl für Anschlussmessungen vorhanden sein.

Unterirdische NivP dienen der Sicherung und Laufendhaltung von grundlegenden Niv-Netzen. Sie sind im Gegensatz zu den oberirdischen Punkten nicht allgemein zugänglich und so weit unter der Oberfläche, dass sie vor Beschädigungen verwahrt bleiben. Da die Gesamtheit der unterirdischen NivP den Bezugshorizont für das Bayer. HHN bildet und sichert, sind als Standorte dementsprechend höhenbeständige Stellen wie z. B. Bauwerke und Felsen besonderer Festigkeit und Stabilität zu wählen. Im freien Gelände sind ebene, trockene und sandige Böden vorzuziehen.

Folgende Vermarkungsarten werden unterschieden:

- Oberirdische NivP

An Bauwerken:	Mauerbolzen	(MB)
	Landeshöhenbolzen	(LB)
	Tonnenbolzen	(TB)
	Kugelbolzen	(KB)
	Stehbolzen	(SB)
	Stehnieten	(SN)
Im Gelände:	Rammpfahlbolzen	(RB)
	Pfeilerbolzen	(PB)
	Pfeilernieten	(PN)

- Unterirdische NivP

Unterirdische Festlegungen	(UF)
Unterirdische Rammpfahlbolzen	(UR)
Unterirdische Höhenbolzen	(UB)

Jedem unterirdischen NivP ist ein oberirdischer NivP (PB, PN oder MB) beigegeben.

Unterirdische Nivellementpunkte befinden sich zwischen 30 und 100 Zentimeter unter der Oberfläche. Deshalb wurden bei dieser Arbeit nur NivP untersucht, die oberirdisch vermarktet waren. Einige davon lagen jedoch 5 bis 10 Zentimeter unter Gelände, konnten aber mit dem Klappspaten gefunden und freigelegt werden.

Abbildungen von Vermarkungsarten der bei dieser Arbeit vorkommenden NivP (Bemaßungen in Millimeter):

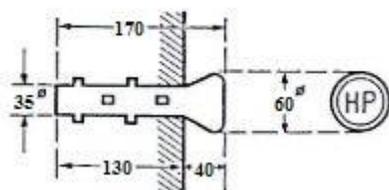


Abbildung 3.1: Vermarkung mit Landeshöhenbolzen

Landeshöhenbolzen; Höhenbolzen mit ausgeprägtem konischem Bolzenkopf, seit 1957 Inschrift HP; Gewicht ca. 1,8 kg; Material: gesenkgeschmiedetes Eisen, feuerverzinkt.

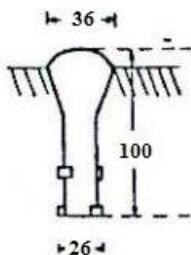


Abbildung 3.2: Vermarkung mit Stehbolzen

Stehbolzen; Vertikaler Höhenbolzen mit genormter Form des Bolzenkopfes in horizontaler oder leicht geneigter Fläche; Gewicht ca. 0,5 kg; Material: Gusseisen, feuerverzinkt.

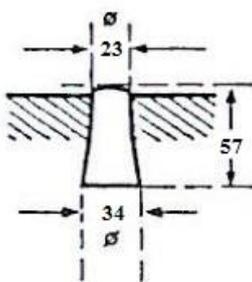


Abbildung 3.3: Vermarkung mit Stehniete

Stehniete; Höhenstift mit gewölbter Oberfläche in horizontaler oder leicht geneigter Fläche; Gewicht ca. 0,3 kg; Material: Gusseisen, feuerverzinkt.

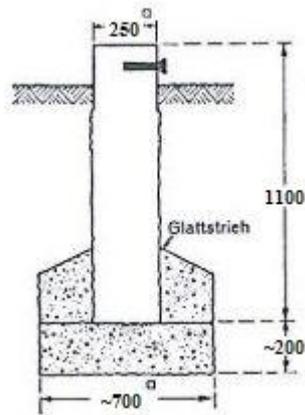


Abbildung 3.4: Vermarkung mit Pfeilerbolzen

Pfeilerbolzen; Granitpfeiler mit Höhenbolzen in einer Seitenfläche des würfelförmig behauenen Kopfes; als Höhenbolzen sind verwendet: Mauerbolzen (MB), Landeshöhenbolzen (LB) oder Tonnenbolzen (TB); der Pfeiler ruht auf einem Betonsockel und besitzt an seinem Fuße eine pyramidenförmige Betonummantelung mit Glattstrichabdeckung; Pfeilergewicht ca. 200 kg.

Bolzen bis zu 10 cm über, verschiedentlich auch knapp unter Gelände oder bodengleich.

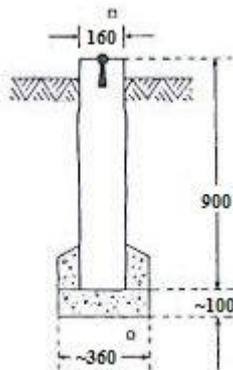


Abbildung 3.5: Vermarkung mit Pfeilerniete

Pfeilerniete; Granitpfeiler mit zentrischer Stehniete in der Oberfläche; an einer Kopfseite Rille von 1 cm Breite und 0,5 cm Tiefe; der Pfeiler ruht auf einem Betonsockel und besitzt an seinem Fuße eine pyramidenförmige Betonummantelung mit Glattstrichabdeckung; Pfeilergewicht ca. 60 kg.

Nietenoberfläche meist geländegleich.

4 Vorbereitungen und Messungen

4.1 Vorläufige Selektion der Punkte

Bevor mit der Durchführung der GNSS-Messungen gestartet werden konnte, musste geklärt werden, welche Punkte in Frage kommen. Das Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung hat mir dafür eine Vielzahl an topographischen Karten im Maßstab 1:25.000 mit eingetragenen Nivellementpunkten, Punktnummern und den dazugehörigen NivP-Beschreibungen zur Verfügung gestellt. Anhand der in der Beschreibung beinhaltenden Anmessskizze können die NivP genau lokalisiert werden. Unter anderem erhält man aus den Datenblättern auch Informationen über die Vermarkungsart, die Ordnung, die Stabilität der Vermarkung und die genauen Höhen, die im DHHN12 (m ü. NN) und im DHHN92 (m ü. NHN) auf hundertstel Millimeter angegeben sind. Bei dieser Arbeit werden ausschließlich Höhen im DHHN92 verwendet.

In einem ersten Schritt der Auswahl wurden Punkte, die aufgrund von Gegebenheiten, die die Messung beeinflussen könnten, oder aber zu aufwändig wären, ausgeschlossen. Zu erwähnen sind hier NivP, die sich auf der Oberfläche der Sockeln von Hochspannungs-, Fernleitungs- oder Umspannmasten befinden. Die durch die Überlandleitungen erzeugten, elektromagnetischen Wellen stören bekanntlich die GNSS-Signale und verfälschen so die Messung. Punkte, die auf Sockeln von Wegweisern vermarktet sind, wurden wegen der Gefahr der Mehrwegeeffekte von der Auswahl ausgenommen. Außerdem unberücksichtigt blieben unterirdische NivP, die zum Teil erst nach einem Meter unter Gelände zum Vorschein kommen. Mit dem Klappspaten wäre die Offenlegung dieser Punkte sehr mühsam geworden. Die Informationen für diese erste Auslese konnten ebenfalls den Datenblättern der NivP entnommen werden.

Im zweiten Schritt wurden weitere Höhenfestpunkte unter Zuhilfenahme des von der bayerischen Vermessungsverwaltung (<http://vermessung.bayern.de/>) zur Verfügung gestellten BayernAtlas herausgefiltert. Im Expert-Modus dieser Anwendung können die Blattschnitte der TK25 eingeblendet und so eine Übersicht zu den vorhandenen, analogen TK's gleichen

Maßstabs geschaffen werden. Durch Klicken in den Bereich eines Blattschnittes werden Informationen über das Gebiet, wie z. B. Gemeinde und Gemarkung, und über die TK25 angezeigt. Nach heranzoomen des hinterlegten Luftbildes konnte die Umgebung der einzelnen NivP so gut wie möglich – hinsichtlich Abschattung und anderer Voraussetzungen für eine ordentliche Messung – untersucht werden. So wurde aus einer Vielzahl eine überschaubare Menge in Betracht zu ziehender NivP.

In folgenden Bereichen wurden Höhenfestpunkte ausgewählt (mit Angabe der TK25-Blattnummer):

- Alpenrand: TK25 Bayrischzell 8338 (rot markiert; keine Vorauswahl, da nur die eine Karte für dieses Gebiet zur Verfügung stand)
- Hügelland: TK25 Miesbach 8237, TK25 Bruckmühl 8137, TK25 Holzkirchen 8136 (blau markiert)
- Flachland: TK25 Königsdorf 8134, TK25 Glonn 8037, TK25 Otterfing 8036, TK25 Sauerlach 8035, TK25 Starnberg Süd 8034 (gelb markiert)



Abbildung 4.1: Blattschnitte der TK25 im BayernAtlas

Abschließend sind die auf den Datenblättern der ausgewählten NivP angegebenen Lagekoordinaten im amtlichen Koordinatensystem (DHDN90/GK4) mit dem Programm *CRSLoge* in Koordinaten des Bezugssystems WGS84 umgerechnet worden. Die ebenen, konformen Gebrauchskordinaten mit Rechtswert und Hochwert wurden also in Flächennormalenkoordinaten mit Breite und Länge transformiert. Die erhaltenen Größen konnten dann in ein Navigationsgerät eingespeichert und so die Punkte grob angefahren werden. Zur genauen Lokalisation kam die Anmessskizze der NivP-Beschreibung zu Hilfe. Anhand der topographischen Karten wurde die kürzeste Route geplant.

Diese Vorgehensweise der vorläufigen Punktselektierung stellte sich im Nachhinein als sehr hilfreich dar. Viel Zeit und Kosten blieben erspart. Die endgültige Entscheidung, ob der Punkt geeignet ist, wurde natürlich erst vor Ort getroffen.

CRSLoge wurde von Herrn Dr. Georg Lothar, Professor an der Hochschule für angewandte Wissenschaften München, geschaffen und zur Verfügung gestellt. Mit dem Programm können Helmert- und Affintransformationen, Datumstransformationen sowie Umformungen zwischen den verschiedenen Koordinatenarten durchgeführt werden.

4.2 Durchführung der Messungen

Nachdem die Messausrüstung zusammengestellt und die Vorplanungen abgeschlossen waren, konnte sich auf den Weg gemacht werden, um mit den Messungen zu beginnen. Es war bereits Mitte Oktober und es herrschte eine unsichere Wetterlage in Hinsicht auf Wintereinbruch in den höheren Lagen. Aus diesem Grund wurde als erstes Ziel das Sudelfeld am Alpenrand – Gemeinde Flintsbach am Inn im Landkreis Rosenheim – ins Visier genommen. Dort angekommen, stellte sich schnell heraus, dass das Auffinden geeigneter NivP nicht ganz so einfach wird, wie zunächst angenommen. Auf dem Luftbild kann die Lage nicht so gut eingeschätzt werden, wie es der Realität entspricht. Ebenso können sich z. B. durch Baumaßnahmen Änderungen gegenüber dem Zustand auf dem Luftbild ergeben haben. Ein anderer Aspekt war die Zugänglichkeit bzw. die Vermarkung der Punkte.

Da ich alleine unterwegs war, mussten in Felsabschnitten oder Mauern festgelegte NivP, die sich zum Teil höher als einen Meter über der Oberfläche befanden, unbeachtet bleiben. Ein letztes Hindernis konnte sein, dass der HFP im freien Gelände bis zu 10 Zentimeter vom Erdboden bedeckt war. Die aus der Anmessskizze entnommenen Längen wurden mit Schrittmaß abgelaufen und so die Punkte nach etwas längerer Suche dennoch aufgedeckt.

Bei erfolgreicher Ermittlung eines Punktes konnte dann schließlich mit der Durchführung der Messung gestartet werden. Dazu wurde als erstes die höchste Stelle der Metall-Marke mit einem wasserfesten Marker gekennzeichnet.



Abbildung 4.2: Kennzeichnung der höchsten Stelle der Punkt-Marke (hier Stehbolzen)

Anschließend wurde das Stativ mit aufgeschraubtem Dreifuß fest in den Boden eingetreten, mit dem optischen Lot exakt über der markierten Stelle zentriert und anhand der Dosenlibelle horizontalisiert. Nun konnte der Adapter in den Dreifuß geklemmt und die Antenne mit aufgeschraubtem Geräteträgerzapfen auf den Adapter gesteckt werden. Nicht zu vergessen war die Ausrichtung der Antenne nach Norden (siehe Abschnitt 2.3). Durch das Verbinden von Antenne und Empfänger mit dem Antennenkabel wurde der Aufbau vervollständigt. Bevor dann mit Messhaken und Additionskonstante die Antennenhöhe bestimmt wurde – wie unter 2.4 erläutert – ist noch einmal der Stand des Stativs – durch das Kontrollieren der Dosenlibelle und der Zentrierung über dem Punkt – überprüft worden.

Bei exzentrischen Messungen wurde der Aufbau der Instrumente und die Bestimmung der Antennenhöhe analog zu Abschnitt 2.5 durchgeführt.

Letzter und wichtigster Schritt war dann die GNSS-Messung. Nach Eingabe der Punktnummer und der ermittelten Antennenhöhe in den Empfänger erfolgte zuerst eine dreifache RTK-Messung – Real Time Kinematik (Echtzeitmessung) – mit jeweils zehn Epochen. Zur Ermittlung einer präzisen Position in Echtzeit wurde der Empfänger über mobiles Internet (Ntrip) oder Mobilfunk (GSM) mit SAPOS-HEPS⁶ (Hochpräziser Echtzeit Positionierungs-Service) verbunden. Dies ist ein Service des Satellitenpositionierungsdienstes der deutschen Landesvermessung (SAPOS), über den Korrekturdaten im Format RTCM 3.1 bezogen wurden und – nach dem DGPS-Verfahren – eine hochgenaue Punktbestimmung mit Anschluss an das amtliche System ETRS89 der Realisierung DREF91 ermöglicht wurde. Nicht zu vergessen waren die Antennenkalibrierungen für Rover- und Referenzantennen. Der Empfänger wurde im LDBV mit den passenden Datensätzen vorkonfiguriert. Die Kosten für die SAPOS-HEPS-Nutzung wurden vom LDBV übernommen.

Im Anschluss an die RTK-Messung wurde der HFP 20 Minuten lang statisch aufgenommen. Dazu sind wiederum Punktnummer und Antennenhöhe eingegeben und dann die Aufzeichnung gestartet worden. Die Konfiguration des Receivers gab ein zehn Sekunden-Intervall vor, das heißt alle zehn Sekunden wurde eine Messung im Bezugssystem WGS84 abgespeichert. Die Vorgabe für die Elevation – Winkel zwischen Horizontalebene und Satellit, bezogen auf die Antenne – ab der die empfangenen Signale verarbeitet werden, betrug null Grad. Zur Absicherung wurden die Daten mit dem Ring-Buffer zusätzlich abgespeichert. Nachdem die 20 Minuten abgelaufen waren, sind zur Kontrolle noch einmal der Stand des Stativs und die Antennenhöhe überprüft worden.

Bei beiden Messmethoden sind Signale von GPS- und GLONASS-Satelliten empfangen und verwertet worden.

Zur Genauigkeitssteigerung wurden die Punkte ein zweites Mal aufgesucht und mit vier Stunden Zeitunterschied zur ersten Messung mit demselben Ablauf aufgenommen, um eine andere Konstellation der Satelliten und damit andere Voraussetzungen zu schaffen.

⁶ <http://www.adv-online.de/AdV-Produkte/SAPOS/Veroeffentlichungen-SAPOS/binarywriterservlet?imgUid=b7b10eba-659a-c041-f840-1034072e13d6&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111>

Außerdem ist in jedem der drei Gebiete ein NivP vier Stunden lang statisch gemessen worden. Diese Messung wurde aber jeweils nur einmal durchgeführt. Von jedem Punkt sind zusätzlich Fotos und Wetterdaten erfasst und zusammen mit Punktnummer, Antennenhöhe und weiteren Informationen auf dem für diese Arbeit erstellten Messformular notiert worden. Die Formulare sind auf der beigegeführten DVD in Original und Maschinenschrift enthalten.

Der Vollständigkeit halber ist noch zu erwähnen, dass nach jedem Messtag die gewonnenen Daten gesichert wurden, um eventuellen Verlust zu vermeiden.

An sieben Tagen wurde wie folgt gemessen:

- Bergland (rot): 8 Punkte (2x 20 Minuten), 1 Punkt (1x 4 Stunden, weiß)
- Hügelland (blau): 9 Punkte (2x 20 Minuten), 1 Punkt (1x 4 Stunden, grün)
- Flachland (gelb): 9 Punkte (2x 20 Minuten), 1 Punkt (1x 4 Stunden, magenta)

Vor jeder der insgesamt 55 statischen Messungen wurde eine dreifache RTK-Messung mit je 10 Epochen durchgeführt.

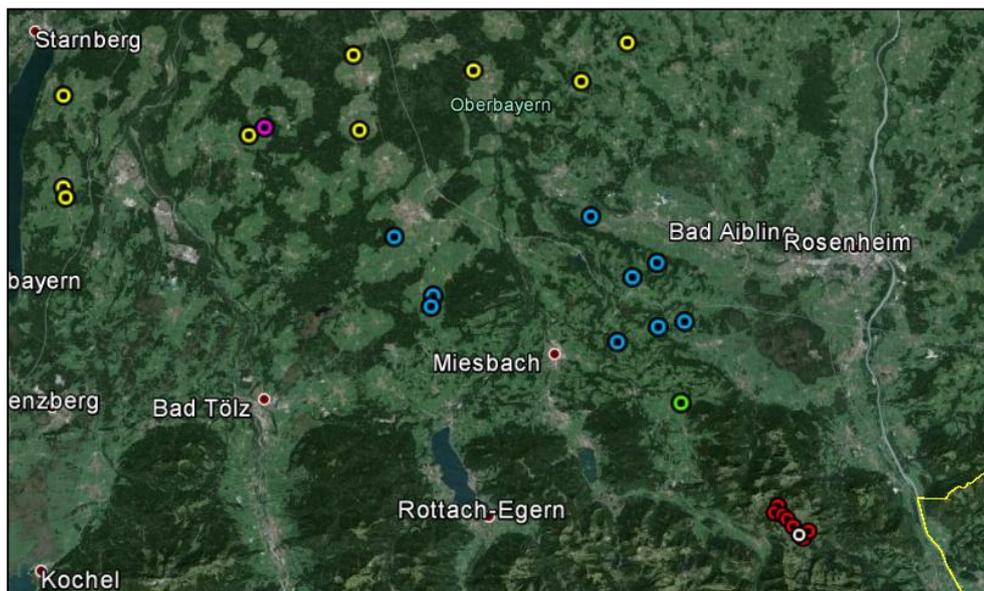


Abbildung 4.3: Darstellung der gemessenen Punkte in Google Earth

Die KML-Datei mit den gemessenen Punkten ist auf der beigegeführten DVD enthalten.

5 Verarbeitung der Daten

5.1 Auswerten der statischen Messungen

Aus den erhaltenen Rohdaten mussten nun Koordinaten und Höhen berechnet werden, wozu die Software *Leica Geo Office* (LGO) zum Einsatz kam. Nach dem Anlegen eines neuen Projekts konnten die Daten problemlos importiert werden. Als Bezugssystem wurde das WGS1984 und als Zeitzone die GPS-Zeit plus null Stunden gewählt. In diesem Format wurden auch die Rohdaten abgespeichert. Die GPS-Zeit stimmt bis auf wenige Sekunden mit der koordinierten Weltzeit (UTC, Universal Time Coordinated) zusammen. Für die mitteleuropäische Zeit (MEZ) – die für Deutschland gültige Zeitzone – wird zur UTC-Zeit eine Stunde, für die Sommerzeit (MESZ) zwei Stunden addiert. Da die Messungen aber vor und nach dem 27. Oktober 2013 – an diesem Tag wurde von Sommer- auf Normalzeit umgestellt – stattfanden, wurde die reguläre GPS-Zeit belassen, um nicht verwirrt zu werden. In LGO wird also die Zeit im Bezug zur mitteleuropäischen Zeitzone um eine bzw. zwei Stunden zu klein angezeigt. Dies hat natürlich keine Auswirkungen auf die weiteren Berechnungen.

Folgende Standardeinstellungen in LGO wurden belassen (außer Elevation):

Auswerteparameter	
Parameter	Ausgewählt
Elevationswinkel:	15°
Ephemeridentyp:	Broadcast
Lösungsart:	Automatisch
GNSS Typ:	Automatisch
Frequenz:	Automatisch
Fixiere Ambiguities bis zu:	80 km
Min. Dauer für Float Lösung (statisch):	5' 00"
Datenrate:	Alle verwenden
Troposphärenmodell:	Hopfield
Ionosphärenmodell:	Automatisch
Stochast. Modellierung verwenden:	Ja
Min. Distanz:	8 km
Ionosphärische Aktivität:	Automatisch

Abbildung 5.1: Auswerteparameter in LGO

Nun konnten die noch sehr ungenauen Koordinaten (Navigationslösung, Genauigkeit liegt im Meter-Bereich) aller gemessenen Punkte das erste Mal begutachtet werden.

Um aus den statisch ermittelten Rohdaten präzise Positionen zu erhalten, müssen – im Gegensatz zur RTK-Messung – die Korrekturdaten im Nachhinein angebracht werden. Daher kommt die Bezeichnung Postprocessing (PP). Solche Korrekturen stellt der SAPOS-GPPS-Dienst⁷ (Geodätischer Postprocessing Positionierungs-Service) bereit. Nach Eingabe von Datum, Dauer und Startzeit der Messung (GPS-Zeit), der Taktung (alle zehn Sekunden) und der ungefähren Position wird eine Virtuelle Referenzstation (VRS) berechnet und im Format RINEX 2.10 (Receiver Independent Exchange Format, Version 2.10) zum Download bereitgehalten. Eine VRS ist eine virtuelle, also physikalisch nicht vorhandene Referenzstation, die aus umliegenden, permanent messenden Referenzstationen, in der Nähe der zu bestimmenden Position berechnet wird. Durch Bildung von Basislinien zu dieser – von örtlichen Fehlereinflüssen korrigierten – VRS können die Punkte mit Anschluss an das amtliche System ETRS89 der Realisierung DREF91 präzise bestimmt werden. Für jede der 55 Messungen ist eine VRS bezogen und in LGO importiert worden. Die Korrekturdaten wurden vom LDBV über <https://sapos.bayern.de/> kostenlos zur Verfügung gestellt.

Des Weiteren müssen die für jede Antenne individuell ermittelten Kalibrierwerte (siehe Abschnitt 2.3) in LGO geladen und den einzelnen Messungen zugewiesen werden. Bei Nichtbeachtung dieser Werte können die erhaltenen Höhen im Dezimeter-Bereich vom gewünschten Ergebnis differieren. Dabei handelt es sich nicht nur um die verwendete Leica AT504 GG, sondern auch um die Antennentypen der virtuellen Referenzstationen. Nach Mitteilung des Typs und der Seriennummer der verwendeten Antennen wurden die Datensätze der Absolut-Kalibrierungen vom LDBV im Format ANTEX 1.2 (The Antenna Exchange Format, Version 1.2) zur Verfügung gestellt.

⁷ https://sapos.bayern.de/download.php?file=GPPS-Bayern_Handbuch.pdf

Nachdem nun alle Daten eingelesen waren, musste der Software nur noch kenntlich gemacht werden, welche Daten zu den Messungen, und welche zu den Referenzstationen gehören. Die Messung wurde dafür als Rover, die VRS als Referenz gekennzeichnet. Nach dem anschließenden Klick auf Berechnung sind die Koordinaten im Bezugssystem ETRS89/DREF91 mit ellipsoidischen Höhen – bezogen auf das GRS80-Ellipsoid – angezeigt worden.

In LGO konnten dann noch verschiedene Einstellungen gemacht werden, die unterschiedliche Ergebnisse zur Folge hatten.

Berechnet wurden Koordinaten und Höhen mit folgenden, verschiedenen Einstellungen:

- Elevation: 10° und 15°
Die empfangenen Signale von Satelliten mit einer Elevation kleiner als 15° werden nicht in die Berechnung miteinbezogen (bei einer Einstellung von 15°).
- Elevation 15°, ohne Virtuelle Referenzstationen (Navigationslösung)
Zur Verdeutlichung des Genauigkeitsverlustes
- Elevation 15°, ohne Antennenkalibrierungen
Zur Verdeutlichung des Genauigkeitsverlustes
- Berechnung von Normalhöhen mit dem Geoid-Modul 2007
Zum Vergleich mit den später ermittelten NHN-Höhen, die mit dem GCG2011 berechnet wurden. Das Geoid-Modul 2007 war in LGO hinterlegt und konnte so für die Berechnung genutzt werden.

Das Geoid-Modul 2007⁸ wurde vom Quasigeoidmodell GCG05 (German Combined Quasigeoid 2005, entwickelt vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) und dem Institut für Erdmessung (IfE)) abgeleitet und durch das damalige Landesamt für Vermessung und Geoinformation (LVG, jetzt LDBV) an das bayerische Höhenfestpunktfeld angepasst. Dieses Modell ist nur für Bayern gültig.

⁸ https://sapos.bayern.de/download.php?file=Geoid_Modul%202007.pdf

Die berechneten, geodätischen Koordinaten mit Breite, Länge und ellipsoidischer Höhe konnten dann über die Exportfunktion als Text-Datei abgespeichert werden. Zudem wurde die Standardabweichung der Höhe mit ausgegeben (aus LGO – entspricht der inneren Genauigkeit der GNSS-Messung, nicht etwa einer Abweichung von einer genaueren, anderweitig bestimmten Höhe). Für die verschiedenen Einstellungen wurden die Ergebnisse als Einzel- und als gemittelte Messung je Punkt exportiert (in LGO gewichtetes Mittel beider Messungen). Bei der Einzelmessung erhält man also zwei, bei der gewichteten Mittelung ein Ergebnis.

Um aus den Vier-Stunden-Messungen zwei Ergebnisse zu erhalten, wurden am Anfang und am Ende jeweils 20 Minuten abgegriffen (siehe Abbildung 5.2). Die Zeitdifferenz beträgt dabei 3,3 Stunden und ist ausreichend für eine wesentliche Veränderung der Satellitenkonstellation. Die beiden Abgriffe mussten einzeln erfolgen. Aufgrund dessen konnte in LGO kein gewichtetes Mittel, sondern nur die Einzelergebnisse berechnet und exportiert werden.

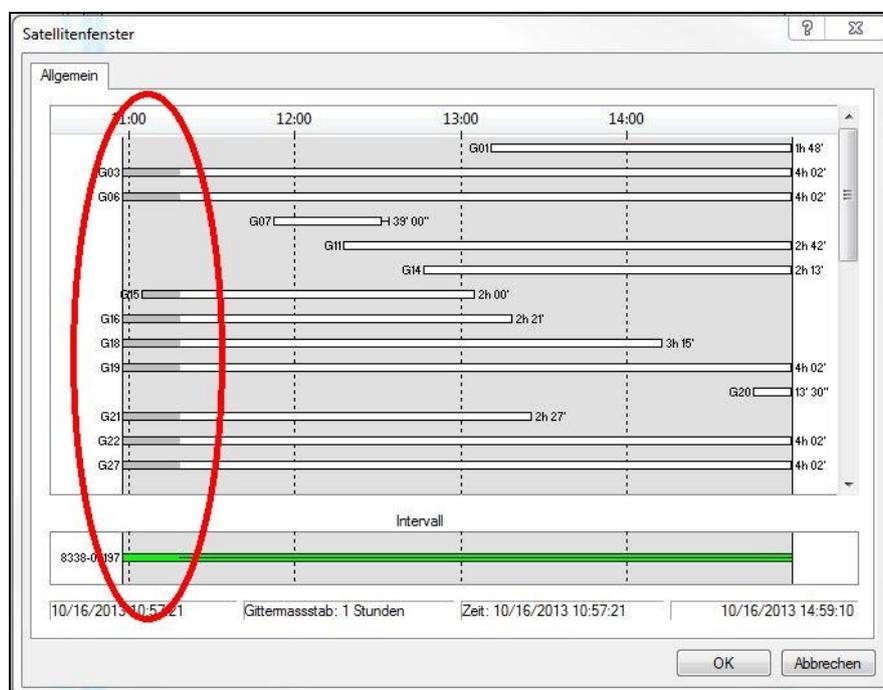


Abbildung 5.2: Abgriff der ersten 20 Minuten einer Vier-Stunden-Messung im Satellitenfenster von LGO

Genauigkeitsangaben⁹ für statische Messungen unter Verwendung von SAPOS-GPPS-Korrekturdaten:

Bei einer Messdauer von 20 Minuten:

- Lage: 1–2 Zentimeter
- Höhe: 2–3 Zentimeter

Bei einer Messdauer von 2x 45–60 Minuten mit einem Abstand von mindestens drei Stunden

- Lage: < 1 Zentimeter
- Höhe: < 2 Zentimeter

Die Satellitensignale werden auf ihrem Weg von der zu durchlaufenden Troposphäre beeinflusst. Dies hat auch Auswirkungen auf die Ergebnisse der Messung. In LGO wurde für die Berücksichtigung dieser entstehenden Abweichungen das Standard-Troposphärenmodell Hopfield verwendet, das aber je nach Wetterbedingungen von den realen Verhältnissen abweicht. Bei Messungen nach dem DGPS-Verfahren können die Abweichungen in der Höhe – bei Höhenunterschieden zwischen Rover und Referenzstation von mehr als 300 Meter – einige Zentimeter betragen. Zur Verringerung dieser Abweichungen kann aus den Messungen eine eigene Troposphärenberechnung durchgeführt werden. Hierfür werden aber Beobachtungen von mindestens 30 Minuten vorausgesetzt.⁹

Für die Punkte am Alpenrand wurde eine Berechnung der Troposphäre vollzogen. Da aber nur 20-minütige Beobachtungen vorhanden waren und die berechneten Höhen noch größere Abweichungen als vorher hatten, werden diese Ergebnisse nicht weiter untersucht.

Das Problem der Höhenunterschiede zwischen Rover und Referenz ist genauso bei RTK-Messungen vorhanden. Deshalb werden für Bereiche mit großen Höhenunterschieden zu den Referenzstationen zwei lange, statische Aufnahmen nach dem Postprocessing-Verfahren empfohlen (z.B. zweimal 45 Minuten).

⁹ https://sapos.bayern.de/download.php?file=GPPS-Bayern_Handbuch.pdf

5.2 Auswerten der RTK-Messungen

Die erhaltenen Daten aus den RTK-Messungen wurden wiederum – nach Anlegen eines neuen Projekts – in Leica Geo Office importiert. Auch die Einstellungen für das Bezugssystem und die Zeitzone waren die gleichen wie bei der Auswertung der statischen Messungen.

Da an den in Echtzeit bestimmten Positionen die Antennen- und Referenzdaten bereits angebracht waren, konnten nach wenigen Arbeitsschritten die Ergebnisse gesichtet und exportiert werden. Aus den mehrfachen Messungen je Punkt wurde wieder das gewichtete Mittel gebildet. Durch die Anbindung mit SAPOS-Heps an das amtliche System sind geodätische Koordinaten mit Länge, Breite und ellipsoidischer Höhe im Bezugssystem ETRS89/DREF91 erhalten worden. Die Standardabweichung der Höhe wurde wie in Abschnitt 5.1 in den Text-Dateien mit abgespeichert.

Genauigkeitsangaben¹⁰ für RTK-Messungen mit SAPOS-HEPS:

- Lage: 1–2 Zentimeter
- Höhe: 2–3 Zentimeter

5.3 Berechnung der Quasigeoidhöhen

Um die erhaltenen Höhen aus 5.1 und 5.2 mit den vorhandenen, genaueren bestimmten Normalhöhen vergleichen und analysieren zu können, müssen sie mit Hilfe des Quasigeoidmodells GCG2011 in das Höhenbezugssystem DHHN92 umgerechnet werden. Nach Abzug der für eine bestimmte Lage ermittelten Quasigeoidhöhe von der ellipsoidischen Höhe erhält man die physikalisch metrische Gebrauchshöhe im amtlichen System.

¹⁰ <http://www.adv-online.de/AdV-Produkte/SAPOS/Veroeffentlichungen-SAPOS/binarywriterservlet?imgUid=b7b10eba-659a-c041-f840-1034072e13d6&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111>

Zur Berechnung der Höhenanomalien wurde vom LDBV das GCG2011¹¹ und die Software *geoid* auf einer CD zur Verfügung gestellt, die vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie herausgegeben wurde.

Das GCG2011 besteht aus Gitterpunkten, die im regelmäßigen Abstand von ca. 1,8 Kilometer in der Länge und 1,5 Kilometer in der Breite über ganz Deutschland verteilt sind. Auf jeden dieser Punkte wurde die genaue Quasigeoidhöhe festgestellt. Die Bildung des Gesamtmodells erfolgte durch die Mittelung der beiden, vom BKG und IfE unabhängig berechneten Einzelmodelle.

Dem Geoidrechner vom BKG wurde dieses Modell hinterlegt. Nach Eingabe der aus LGO exportierten Punkte mit ellipsoidischer Höhe konnten die Quasigeoidhöhen und zugleich die Normalhöhen berechnet und in Textdateien abgespeichert werden. Die Ausgabe der Höhen erfolgte auf Millimeter. Höhenanomalien zwischen den Gitterpunkten wurden mit der bikubischen Spline-Interpolation bestimmt.

Standardabweichung für Quasigeoidhöhen, die mit dem GCG2011 berechnet wurden:

- Flachland: 1–2 Zentimeter
- Alpen: 3–4 Zentimeter
- Meeresbereich: 4–10 Zentimeter

Bearbeitete Text-Dateien mit Angabe von Punkt-Nummer, Breite, Länge, ellipsoidischer-, Quasigeoid- und Normal-Höhe und der Standardabweichung aus LGO sind auf der beigefügten DVD enthalten.

Ebenso beinhaltet die DVD die Rohdaten der Messungen, die Antennenkalibrierwerte und die Korrekturdaten von SAPOS-GPPS (VRS).

¹¹ <http://www.geodatenzentrum.de/docpdf/quasigeoid.pdf>

6 Analyse der Ergebnisse

6.1 Verfahrensweise und verwendete Formeln

In diesem Abschnitt werden die ermittelten Normalhöhen mit den vorhandenen, amtlichen und genaueren Normalhöhen verglichen und statistisch ausgewertet. Zur besseren Übersicht werden zunächst die verwendeten Abkürzungen und Formelzeichen und dann das Vorgehen stichpunktartig erläutert. Die Lagekoordinaten bleiben in dieser Arbeit unberücksichtigt.

Verwendete Abkürzungen und Formelzeichen:

<i>TK</i>	Blattnummer der Topographischen Karte im Maßstab 1:25.000
<i>Nr.</i>	laufende Nummer eines Punktes innerhalb der TK
<i>Messjahr</i>	Jahr, in dem der Punkt das letzte mal gemessen wurde
<i>DHHN92</i>	vorhandene, amtliche Normalhöhe
<i>h</i>	ellipsoidische Höhe
ζ	Quasigeoidhöhe
<i>H</i>	ermittelte Normalhöhe
ε	Abweichung von H zu DHHN92
σ	Standardabweichung von ε (mittlere quadratische Abweichung)
\bar{x}	Mittlere Abweichung (Mittelwert von ε)
$s_{\bar{x}}$	Standardabweichung von \bar{x}
<i>v</i>	Verbesserung von ε zu \bar{x}
<i>n</i>	Anzahl der Punkte bei jeweiliger Auswertung
<i>f</i>	Freiheitsgrad
μ	Erwartungswert
<i>P</i>	Wahrscheinlichkeit
α	Irrtumswahrscheinlichkeit
<i>t</i>	Quantil der t-Verteilung
<i>u</i>	Testgröße (für Ausreißertest nach Heck)
<i>d</i>	Differenz der Doppelmessung eines Punktes
s_E	Standardabweichung der Einzelmessung
s_{MD}	Standardabweichung des Mittelwerts einer Doppelmessung
<i>MD</i>	Mittelwert einer Doppelmessung
s_h	Standardabweichung der ellipsoidischen Höhe aus LGO

h_g	gewichtete, ellipsoidische Höhe
g	Gewicht

Nachfolgend wird die Vorgehensweise der statistischen Auswertung mit den verwendeten Formeln¹² der Reihe nach dargestellt. Die gegebenen DHHN92-Referenzhöhen werden dabei als fehlerfrei angenommen.

Berechnung der/des

- Normalhöhe H
$$H_i = h_i - \zeta_i \quad (1)$$

- Abweichung ε
$$\varepsilon_i = H_i - DHHN92_i \quad (2)$$

- Standardabweichung σ
$$\sigma = \sqrt{\frac{[\varepsilon_i \varepsilon_i]}{n}} \quad (3)$$

- Mittelwert \bar{x}
$$\bar{x} = \frac{[\varepsilon_i]}{n} \quad (4)$$

- Verbesserung v
$$v_i = \bar{x} - \varepsilon_i \quad (5)$$

- Standardabweichung des Mittelwerts

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{[v_i v_i]}{n * (n - 1)}} \quad (6)$$

Ermittlung eines Konfidenzintervalls (Vertrauensbereich), in dem sich mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit P bzw. einer vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit α das Ergebnis μ einer erneuten Messung – mit gleichen Voraussetzungen – erwarten lässt. Dazu wurden für α fünf und zehn Prozent gewählt. Es kann also mit 90- bzw. 95-prozentiger

¹² Lothar, Georg (2010): *Mathematik für Geodäten Teil 2, Statistik, Einführung in die mathematische Statistik*, Vorlesungsskript Hochschule München. Die entnommenen Formeln wurden mit den in dieser Ausarbeitung benutzten Bezeichnungen angepasst.

Wahrscheinlichkeit behauptet werden, dass der Erwartungswert in dem angegebenen Bereich liegt.

- Konfidenzintervall für die Wahrscheinlichkeit P

$$P(\bar{x} - t_{(p;f)} * s_{\bar{x}} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{(p;f)} * s_{\bar{x}}) = 1 - \alpha \quad (7)$$

mit
$$p = 1 - \frac{\alpha}{2} \quad (8)$$

und
$$f = n - 1 \quad (9)$$

Untersuchung der Messungen nach groben Fehlern – sogenannte Ausreißer – welche die oben berechneten Genauigkeitsangaben einer Messreihe signifikant verschlechtern. Der Test wurde mit dem Verfahren nach Heck durchgeführt.

- Berechnung der Testgröße u

$$u_i = \frac{|\varepsilon_i|}{\sqrt{\frac{[\varepsilon_i \varepsilon_i] - \varepsilon_i^2}{n-2}}} \quad (10)$$

- Berechnung der Wahrscheinlichkeit, mit der die Messung grob falsch ist

wenn
$$u_i > t_{(1-\alpha/2; n-2)} \quad (11)$$

dann
$$P(\text{Messung} \approx \text{Ausreißer}) = 1 - \alpha \quad (12)$$

Die Werte für t sind der Tabelle der t -Verteilung auf Seite 74 entnommen worden.

Die Beobachtungen der festgestellten Ausreißer wurden entfernt und die Messreihe erneut nach den Formeln (1) – (9) berechnet.

Folgende Messreihen wurden analysiert (mit Angabe der Berechnungen):

- Alpenrand, Hügel- und Flachland jeweils
 - RTK, (1) – (12)
 - PP: Elevation 10° und 15°, (1) – (12)
 - PP: Elevation 15°, ohne Antennenkalibrierung, (1) – (9)
 - PP: Elevation 15°, Navigationslösung, (1) – (9)
 - PP: Elevation 15°, Geoid-Modul 2007, (1) – (9)

- Alle Punkte zusammen:
 - RTK, (1) – (12)
 - PP: Elevation 15°, (1) – (12)
 - PP: Elevation 10°, (1) – (12)

Die ellipsoidischen Höhen der statischen Messungen sind aus zwei 20-Minuten-Beobachtungen ermittelt worden. Um gleiche Voraussetzungen für die oben genannten PP-Messreihen zu schaffen, wurden die beiden Abgriffe am Anfang und am Ende der Vier-Stunden-Messungen mit Gewichten gemittelt und für die Analyse genutzt.

- Berechnung der gewichteten, ellipsoidischen Höhe h_g aus den zwei Abgriffen der Vier-Stunden-Messungen

$$h_g = \frac{g_1 * h_1 + g_2 * h_2}{g_1 + g_2} \quad (13)$$

mit
$$g_{1/2} = \frac{1}{(s_{h_{1/2}})^2} \quad (14)$$

Die gemittelten Beobachtungen einer Messreihe wurden dann als gleichgenau behandelt.

Zusätzlich zu den bisher aufgeführten Analysen wurden noch die Standardabweichungen aus den Doppelmessungen berechnet. Die erhaltenen Größen daraus geben Auskunft, in welchem Maße zwei Einzelmessungen eines Punktes voneinander und die Mittelwerte von den Einzelmessungen – innerhalb einer Messreihe – abweichen. Sie haben keinen Bezug dazu, wie groß die Abweichung von der gegebenen DHHN92-Höhe ist.

- Standardabweichung der Einzelmessung s_E

$$s_E = \sqrt{\frac{[d_i d_i]}{2 * n}} \quad (15)$$

mit $d_i = \varepsilon_{1i} - \varepsilon_{2i}$ (16)

Für n wurde die Anzahl der Punktpaare eingesetzt.

- Standardabweichung für den Mittelwert der Doppelmessung s_{MD}

$$s_{MD} = \frac{s_E}{\sqrt{2}} \quad (17)$$

wobei $MD = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2}$ (18)

Die Analyse nach den Formeln (15) – (18) wurde – für jedes der drei Gebiete einzeln und für alle Punkte zusammen – mit den Ergebnissen der statischen Einzelmessungen (Elevation 15 Grad) durchgeführt. Für die Vier-Stunden-Messungen wurden die erhaltenen Höhen der beiden Abgriffe verwendet. In dieser Ausarbeitung werden aus der Analyse der Doppelmessungen nur die berechneten Standardabweichungen aufgeführt. Die Berechnungen können auf der beigefügten DVD nachvollzogen werden.

Bei Feststellung eines Ausreißers nach (10) – (12) wurde dieser auf mögliche Ursachen untersucht. Gründe für die größere Abweichung können sein:

- Abschattungen
- Veränderung der Punktvermarkung, z. B. durch Baumaßnahmen, landwirtschaftliche Arbeiten oder sonstige Einflüsse
- fehlerhafte Ermittlung der Antennenhöhe (wurde aber bei der Messung mindestens einmal nachkontrolliert)
- schlechte Verteilung der Satelliten (spiegelt sich in den DOP-Werten wider)

Hinsichtlich Abschattungen werden die bei jedem NivP erfassten Fotos betrachtet. Bei einigen Punkten wurden überlappende Aufnahmen gemacht und mit der Software *Image Composite Editor* (ICE) von Microsoft versucht, ein Panorama-Bild zu erstellen.

Über eine Veränderung der Punktvermarkung können nur Vermutungen geäußert werden.

Eine fehlerhafte Ermittlung der Antennenhöhe ist unwahrscheinlich, aber nicht unmöglich.

Bei einer schlechten Verteilung der Satelliten über der Antenne entstehen schleifende Schnitte und damit eine ungenauere Position. Zur Beurteilung der Konstellation kommen die DOP-Werte zugute, die dem LGO-Berechnungsprotokoll entnommen wurden. DOP steht für *Dilution Of Precision* und bedeutet Abnahme der Genauigkeit. Besonders interessant für diese Ausarbeitung sind der GDOP (Geometrical Dilution Of Precision), der die Qualität der Satellitenkonfiguration wiedergibt, und der VDOP (Vertical Dilution Of Precision), der ein Maß für die vertikale Positionsgenauigkeit ist. Je kleiner die DOP-Werte, desto besser die Verteilung und die Voraussetzungen für eine gute Messung. Der GDOP sollte möglichst kleiner als fünf bleiben, um brauchbare Ergebnisse zu erzielen.

Die Excel-Tabelle der Analyse, erfasste (Panorama-) Fotos, Datenblätter der NivP und LGO-Berechnungsprotokolle der statischen Messungen (Elevation 10 und 15 Grad, Abgriffe der Vier-Stunden-Messungen) sind auf der beigegeführten DVD enthalten. Die Berechnungen können damit nachvollzogen werden.

6.2 Alpenrand

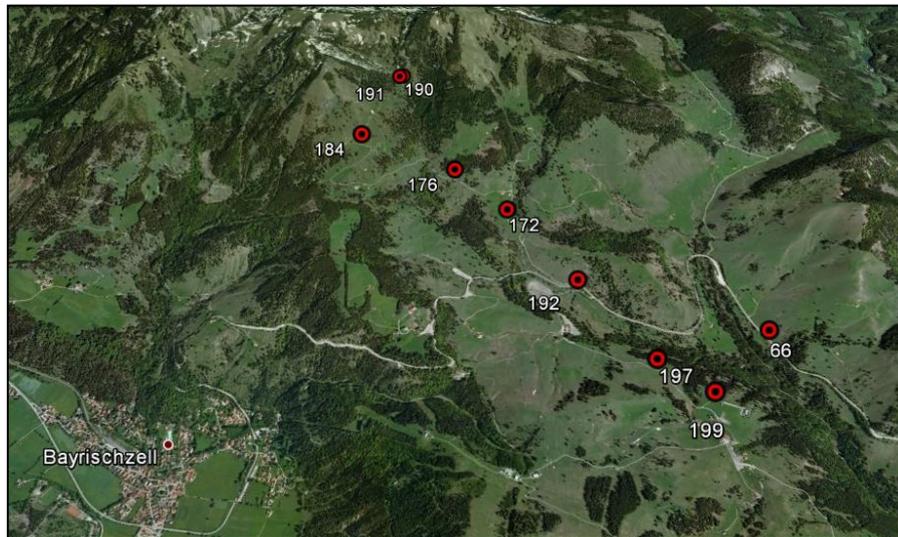


Abbildung 6.1: Punkte im Bergland (Google Earth)

○ RTK

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8338	66	2007	993,2249	1040,0507	46,8060	993,2447	0,0198
8338	172	2007	1132,0305	1178,8532	46,8090	1132,0442	0,0137
8338	176	2007	1205,5309	1252,3724	46,8020	1205,5704	0,0395
8338	184	2007	1344,9653	1391,7883	46,8080	1344,9803	0,0150
8338	190	2007	1449,7533	1496,5497	46,7730	1449,7767	0,0234
8338	191	2007	1450,4125	1497,1949	46,7740	1450,4209	0,0084
8338	192	2007	1044,2219	1091,0967	46,8270	1044,2697	0,0478
8338	197	2007	1053,5812	1100,4652	46,8480	1053,6172	0,0360
8338	199	2007	1070,1182	1116,9912	46,8520	1070,1392	0,0210

$$\sigma = \mathbf{0,0279}$$

$$P(0,0168 \leq \mu \leq 0,0332) = \mathbf{90\%}$$

$$\bar{x} = \mathbf{0,0250}$$

$$P(0,0148 \leq \mu \leq 0,0352) = \mathbf{95\%}$$

$$s_{\bar{x}} = \mathbf{0,0044}$$

Die Beobachtung bei NivP 8338-192 ist zu 85% ein Ausreißer ($u = 1,8408$).



Abbildung 6.2: Abschattung Punkt 8338-192

– Punktvermarkung: SB in Sockel von Viehsperre-Gitter (Ordnung 1, Stabilität b)

Der Punkt ist fest im Sockel neben dem Fahrbahnrand vermarkt. Seit der letzten Bestimmung im Jahr 2007 wurden wahrscheinlich keine Baumaßnahmen durchgeführt (Zustand der Straße). Grund für die größere Abweichung dürfte die hohe Abschattung nach Norden, Osten und Süd-Osten sein. Daher auch die größere Standardabweichung s_h gegenüber den anderen NivP der Messreihe.

- RTK (ohne Ausreißer 8338-192)

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8338	66	2007	993,2249	1040,0507	46,8060	993,2447	0,0198
8338	172	2007	1132,0305	1178,8532	46,8090	1132,0442	0,0137
8338	176	2007	1205,5309	1252,3724	46,8020	1205,5704	0,0395
8338	184	2007	1344,9653	1391,7883	46,8080	1344,9803	0,0150
8338	190	2007	1449,7533	1496,5497	46,7730	1449,7767	0,0234
8338	191	2007	1450,4125	1497,1949	46,7740	1450,4209	0,0084
8338	197	2007	1053,5812	1100,4652	46,8480	1053,6172	0,0360
8338	199	2007	1070,1182	1116,9912	46,8520	1070,1392	0,0210

$$\sigma = \mathbf{0,0243}$$

$$P(\mathbf{0,0149} \leq \mu \leq \mathbf{0,0293}) = \mathbf{90\%}$$

$$\bar{x} = \mathbf{0,0221}$$

$$P(\mathbf{0,0131} \leq \mu \leq \mathbf{0,0311}) = \mathbf{95\%}$$

$$s_{\bar{x}} = \mathbf{0,0038}$$

Zu 95% weicht die berechnete Normalhöhe bei neuen RTK-Messungen (mit gleichen Mess- und Berechnungsvorgängen) zwischen 1,31 und 3,11 Zentimeter von der amtlichen Höhe ab.

Durch die Elimination des Ausreißers konnten die Standardabweichung σ und die Konfidenzbereiche für eine bestimmte Wahrscheinlichkeit P verkleinert werden. Die Messungen wurden also „genauer“. Nach Berücksichtigung der Genauigkeitsangaben für RTK-Messungen (Abschnitt 5.2) und für das GCG2011 (Abschnitt 5.3) befinden sich alle Punkte innerhalb der Toleranz.

Auf diese Weise werden alle Messreihen der Reihe nach analysiert.

○ **PP: Elevation 15°**

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8338	66	2007	993,2249	1040,0448	46,8060	993,2388	0,0139
8338	172	2007	1132,0305	1178,8426	46,8090	1132,0336	0,0031
8338	176	2007	1205,5309	1252,3501	46,8020	1205,5481	0,0172
8338	184	2007	1344,9653	1391,7714	46,8080	1344,9634	-0,0019
8338	190	2007	1449,7533	1496,5377	46,7730	1449,7647	0,0114
8338	191	2007	1450,4125	1497,1911	46,7740	1450,4171	0,0046
8338	192	2007	1044,2219	1091,0753	46,8270	1044,2483	0,0264
8338	197	2007	1053,5812	1100,4418	46,8480	1053,5938	0,0126
8338	199	2007	1070,1182	1116,9832	46,8520	1070,1312	0,0130

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \mathbf{0,0137} \\
 \bar{x} &= \mathbf{0,0111} \\
 P(0,0059 \leq \mu \leq 0,0163) &= \mathbf{90\%} \\
 P(0,0047 \leq \mu \leq 0,0175) &= \mathbf{95\%} \\
 s_{\bar{x}} &= \mathbf{0,0028}
 \end{aligned}$$

NivP 8338-192 zu 90% ein Ausreißer ($u = 2,2299$, Ursachen siehe Abschnitt 6.2 – RTK).

○ **PP: Elevation 15° (ohne Ausreißer 8338-192)**

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8338	66	2007	993,2249	1040,0448	46,8060	993,2388	0,0139
8338	172	2007	1132,0305	1178,8426	46,8090	1132,0336	0,0031
8338	176	2007	1205,5309	1252,3501	46,8020	1205,5481	0,0172
8338	184	2007	1344,9653	1391,7714	46,8080	1344,9634	-0,0019
8338	190	2007	1449,7533	1496,5377	46,7730	1449,7647	0,0114
8338	191	2007	1450,4125	1497,1911	46,7740	1450,4171	0,0046
8338	197	2007	1053,5812	1100,4418	46,8480	1053,5938	0,0126
8338	199	2007	1070,1182	1116,9832	46,8520	1070,1312	0,0130

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \mathbf{0,0111} \\
 \bar{x} &= \mathbf{0,0092} \\
 P(0,0048 \leq \mu \leq 0,0136) &= \mathbf{90\%} \\
 P(0,0037 \leq \mu \leq 0,0147) &= \mathbf{95\%} \\
 s_{\bar{x}} &= \mathbf{0,0023}
 \end{aligned}$$

Im Bergland weichen die ermittelten Quasigeoidhöhen mehr ab als im Flachland (siehe Abschnitt 5.3). Auch die Bestimmung der ellipsoidischen Höhen mit GNSS-Messungen ist aufgrund der Höhenunterschiede zwischen Referenzstation und Rover in diesem Gebiet ungenauer. Unter Berücksichtigung genannter Tatsachen kann bei dieser und folgender Beobachtungsreihe behauptet werden, dass sie sehr gute Ergebnisse liefern und alle Punkte (inklusive Ausreißer) innerhalb der Toleranz nach den Abschnitten 5.1 und 5.3 liegen.

○ **PP: Elevation 10°**

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8338	66	2007	993,2249	1040,0442	46,8060	993,2382	0,0133
8338	172	2007	1132,0305	1178,8374	46,8090	1132,0284	-0,0021
8338	176	2007	1205,5309	1252,3487	46,8020	1205,5467	0,0158
8338	184	2007	1344,9653	1391,7702	46,8080	1344,9622	-0,0031
8338	190	2007	1449,7533	1496,5372	46,7730	1449,7642	0,0109
8338	191	2007	1450,4125	1497,1871	46,7740	1450,4131	0,0006
8338	192	2007	1044,2219	1091,0749	46,8270	1044,2479	0,0260
8338	197	2007	1053,5812	1100,4442	46,8480	1053,5962	0,0150
8338	199	2007	1070,1182	1116,9820	46,8520	1070,1300	0,0118

$$\sigma = \mathbf{0,0133}$$

$$P(\mathbf{0,0039} \leq \mu \leq \mathbf{0,0157}) = \mathbf{90\%}$$

$$\bar{x} = \mathbf{0,0098}$$

$$P(\mathbf{0,0024} \leq \mu \leq \mathbf{0,0172}) = \mathbf{95\%}$$

$$s_{\bar{x}} = \mathbf{0,0032}$$

NivP 8338-192 zu 85% ein Ausreißer ($u = 1,7107$, Ursachen siehe Abschnitt 6.2 – RTK).

○ **PP: Elevation 10° (ohne Ausreißer 8338-192)**

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8338	66	2007	993,2249	1040,0442	46,8060	993,2382	0,0133
8338	172	2007	1132,0305	1178,8374	46,8090	1132,0284	-0,0021
8338	176	2007	1205,5309	1252,3487	46,8020	1205,5467	0,0158
8338	184	2007	1344,9653	1391,7702	46,8080	1344,9622	-0,0031
8338	190	2007	1449,7533	1496,5372	46,7730	1449,7642	0,0109
8338	191	2007	1450,4125	1497,1871	46,7740	1450,4131	0,0006
8338	197	2007	1053,5812	1100,4442	46,8480	1053,5962	0,0150
8338	199	2007	1070,1182	1116,9820	46,8520	1070,1300	0,0118

$$\sigma = \mathbf{0,0107}$$

$$P(\mathbf{0,0025} \leq \mu \leq \mathbf{0,0131}) = \mathbf{90\%}$$

$$\bar{x} = \mathbf{0,0078}$$

$$P(\mathbf{0,0012} \leq \mu \leq \mathbf{0,0144}) = \mathbf{95\%}$$

$$s_{\bar{x}} = \mathbf{0,0028}$$

○ **PP: Elevation 15° / Geoid-Modul 2007**

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8338	66	2007	993,2249	1040,0447	46,8319	993,2128	-0,0121
8338	172	2007	1132,0305	1178,8427	46,8325	1132,0102	-0,0203
8338	176	2007	1205,5309	1252,3500	46,8264	1205,5236	-0,0073
8338	184	2007	1344,9653	1391,7714	46,8268	1344,9446	-0,0207
8338	190	2007	1449,7533	1496,5376	46,7896	1449,7480	-0,0053
8338	191	2007	1450,4125	1497,1911	46,7906	1450,4005	-0,0120
8338	192	2007	1044,2219	1091,0753	46,8492	1044,2261	0,0042
8338	197	2007	1053,5812	1100,4418	46,8711	1053,5707	-0,0105
8338	199	2007	1070,1182	1116,9832	46,8754	1070,1078	-0,0104

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \mathbf{0,0127} \\
 \bar{x} &= \mathbf{-0,0105} \\
 P(-0,0152 \leq \mu \leq -0,0058) &= \mathbf{90\%} \\
 P(-0,0163 \leq \mu \leq -0,0047) &= \mathbf{95\%} \\
 s_{\bar{x}} &= \mathbf{0,0025}
 \end{aligned}$$

○ **PP: Elevation 15° / ohne Antennenkalibrierung**

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8338	66	2007	993,2249	1039,9297	46,8060	993,1237	-0,1012
8338	172	2007	1132,0305	1178,7282	46,8090	1131,9192	-0,1113
8338	176	2007	1205,5309	1252,2358	46,8020	1205,4338	-0,0971
8338	184	2007	1344,9653	1391,6568	46,8080	1344,8488	-0,1165
8338	190	2007	1449,7533	1496,4234	46,7730	1449,6504	-0,1029
8338	191	2007	1450,4125	1497,0772	46,7740	1450,3032	-0,1093
8338	192	2007	1044,2219	1090,9606	46,8270	1044,1336	-0,0883
8338	197	2007	1053,5812	1100,3319	46,8480	1053,4839	-0,0973
8338	199	2007	1070,1182	1116,8689	46,8520	1070,0169	-0,1013

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \mathbf{0,1031} \\
 \bar{x} &= \mathbf{-0,1028} \\
 P(-0,1081 \leq \mu \leq -0,0975) &= \mathbf{90\%} \\
 P(-0,1093 \leq \mu \leq -0,0963) &= \mathbf{95\%} \\
 s_{\bar{x}} &= \mathbf{0,0028}
 \end{aligned}$$

Aus dieser Messreihe kann man sehr gut die Abweichung im Dezimeter-Bereich erkennen, wie in Abschnitt 5.1 beschrieben.

○ **PP: Elevation 15° / Navigationslösung (ohne VRS)**

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8338	66	2007	993,2249	1040,9198	46,8060	994,1138	0,8889
8338	172	2007	1132,0305	1180,2114	46,8090	1133,4024	1,3719
8338	176	2007	1205,5309	1252,7389	46,8020	1205,9369	0,4060
8338	184	2007	1344,9653	1393,4419	46,8080	1346,6339	1,6686
8338	190	2007	1449,7533	1498,4303	46,7730	1451,6573	1,9040
8338	191	2007	1450,4125	1499,7801	46,7740	1453,0061	2,5936
8338	192	2007	1044,2219	1094,2037	46,8270	1047,3767	3,1548
8338	197	2007	1053,5812	1097,8623	46,8480	1051,0143	-2,5669
8338	199	2007	1070,1182	1111,9981	46,8520	1065,1461	-4,9721

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \mathbf{2,5218} \\
 \bar{x} &= \mathbf{0,4943} \\
 P(-1,1315 \leq \mu \leq 2,1201) &= \mathbf{90\%} \\
 P(-1,5219 \leq \mu \leq 2,5105) &= \mathbf{95\%} \\
 s_{\bar{x}} &= \mathbf{0,8743}
 \end{aligned}$$

Die letzten beiden Analysen zeigen auf, wie die Genauigkeit ohne die jeweiligen Korrekturdaten abnimmt. Für bestimmte Zwecke mag die Navigationslösung ausreichend sein. Zur Bestimmung der genauen Lage und Höhe mit GNSS-Messungen kann jedoch auf das Anbringen der Antennen-Kalibrierwerte und die bezogenen Korrekturen einer Referenzstation nicht verzichtet werden.

Bei den Ergebnissen der Berechnung mit dem Geoid-Modul 2007 ist im Vergleich zur Elevation 15° (GCG2011) festzustellen, dass die Höhen H durchschnittlich ca. zwei Zentimeter kleiner sind. Es wurden also für die Punkte größere Quasigeoidhöhen ermittelt.

6.3 Hügelland

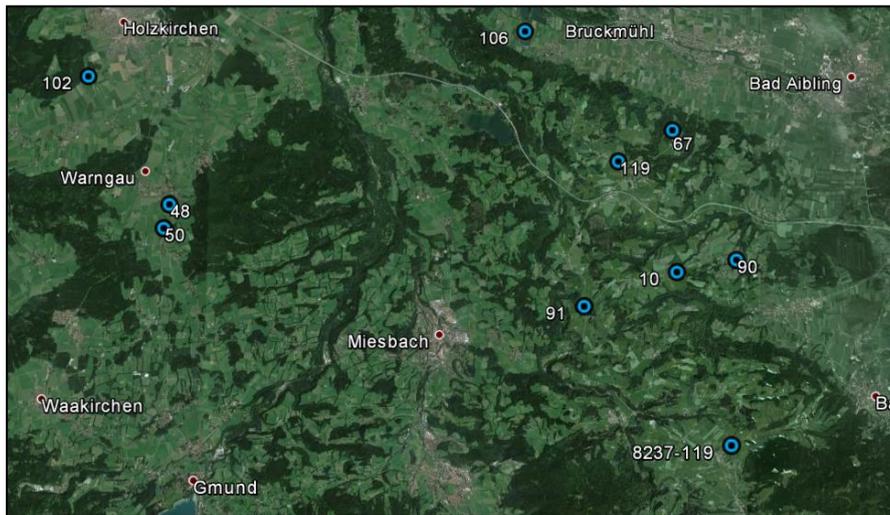


Abbildung 6.3: Punkte im Hügelland (Google Earth)

○ RTK

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8136	48	2009	743,6381	789,8301	46,1500	743,6801	0,0420
8136	50	2009	755,6012	801,8113	46,1840	755,6273	0,0261
8136	102	1996	698,1979	744,2448	46,0370	698,2078	0,0099
8137	10	1981	647,9183	693,8759	45,9350	647,9409	0,0226
8137	67	1996	606,0886	651,8069	45,6990	606,1079	0,0193
8137	90	1981	544,3523	590,2276	45,8550	544,3726	0,0203
8137	106	1996	531,6991	577,3970	45,6770	531,7200	0,0209
8137	119	1996	709,7612	755,5898	45,8040	709,7858	0,0246
8237	91	1981	683,9896	730,0711	46,0700	684,0011	0,0115
8237	119	1996	799,8640	846,1365	46,2750	799,8615	-0,0025

$\sigma =$ **0,0224**

$P(0,0127 \leq \mu \leq 0,0263) = 90\%$ $\bar{x} =$ **0,0195**

$P(0,0111 \leq \mu \leq 0,0279) = 95\%$ $s_{\bar{x}} =$ **0,0037**

NivP 8136-48 zu 90% ein Ausreißer ($u = 2,0822$).

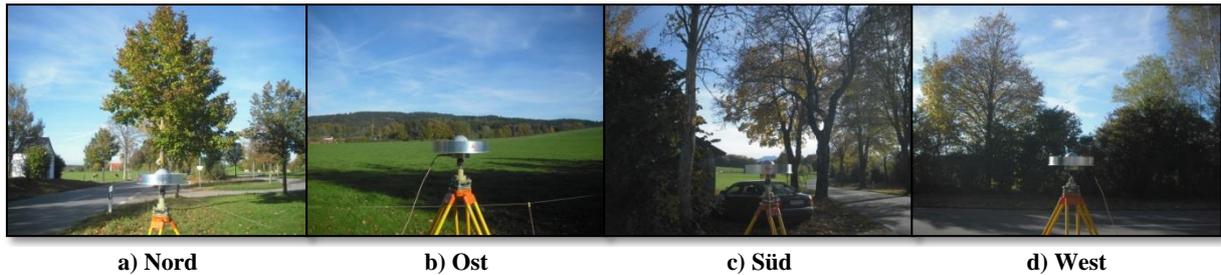


Abbildung 6.4: Abschattung Punkt 8136-48

– Punktvermarkung: PB, bodengleich neben Fahrbahnrand (Ordnung 1, Stabilität b)

Hier wird ersichtlich, dass wieder eine hohe Abschattung – vor allem in die wichtige Richtung nach Süden – vorliegt. In unseren Breiten befinden sich im Süden die meisten Satelliten. Es dürfte also auch hier die Abschattung der Grund für die erhöhte Abweichung sein. Eine Veränderung der Punktmarke ist eher unwahrscheinlich. Der Punkt wurde aus der Messreihe entfernt.

- RTK (ohne Ausreißer 8136-48)

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8136	50	2009	755,6012	801,8113	46,1840	755,6273	0,0261
8136	102	1996	698,1979	744,2448	46,0370	698,2078	0,0099
8137	10	1981	647,9183	693,8759	45,9350	647,9409	0,0226
8137	67	1996	606,0886	651,8069	45,6990	606,1079	0,0193
8137	90	1981	544,3523	590,2276	45,8550	544,3726	0,0203
8137	106	1996	531,6991	577,3970	45,6770	531,7200	0,0209
8137	119	1996	709,7612	755,5898	45,8040	709,7858	0,0246
8237	91	1981	683,9896	730,0711	46,0700	684,0011	0,0115
8237	119	1996	799,8640	846,1365	46,2750	799,8615	-0,0025

$$P(0,0114 \leq \mu \leq 0,0226) = 90\%$$

$$P(0,0100 \leq \mu \leq 0,0240) = 95\%$$

$$\sigma = 0,0190$$

$$\bar{x} = 0,0170$$

$$s_x = 0,0030$$

Die Punkte befinden sich nach 5.2 und 5.3 innerhalb der Toleranz.

○ **PP: Elevation 15°**

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8136	48	2009	743,6381	789,8042	46,1500	743,6542	0,0161
8136	50	2009	755,6012	801,7989	46,1840	755,6149	0,0137
8136	102	1996	698,1979	744,2643	46,0370	698,2273	0,0294
8137	10	1981	647,9183	693,8600	45,9350	647,9250	0,0067
8137	67	1996	606,0886	651,8070	45,6990	606,1080	0,0194
8137	90	1981	544,3523	590,2224	45,8550	544,3674	0,0151
8137	106	1996	531,6991	577,3887	45,6770	531,7117	0,0126
8137	119	1996	709,7612	755,5735	45,8040	709,7695	0,0083
8237	91	1981	683,9896	730,0596	46,0700	683,9896	0,0000
8237	119	1996	799,8640	846,1128	46,2750	799,8378	-0,0262

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \mathbf{0,0170} \\
 \bar{x} &= \mathbf{0,0095} \\
 s_{\bar{x}} &= \mathbf{0,0047} \\
 \mathbf{P(0,0009 \leq \mu \leq 0,0181) = 90\%} \\
 \mathbf{P(-0,0011 \leq \mu \leq 0,0201) = 95\%}
 \end{aligned}$$

NivP 8136-102 ($u = 1,8547$) zu 85% und 8237-119 ($u = 1,5842$) zu 80% ein Ausreißer.

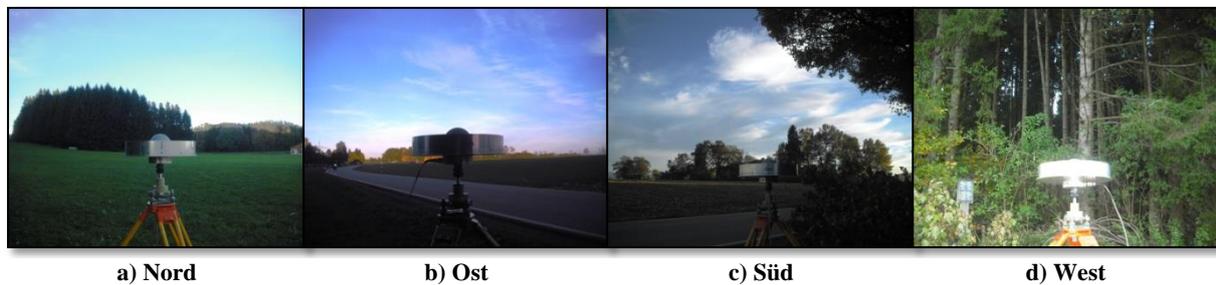


Abbildung 6.5: Abschattung Punkt 8136-102

- Punktvermarkung: SN, auf der Einfassung eines Wasserleitungsschachtes
- Ordnung 2, Stabilität b
- GDOP: 1,2–4,3 / VDOP: 1,2–2,9

Ursachen: – Hohe Abschattung nach West bis Süd-West

- Im Gegensatz zu den anderen NivP schlechtere DOP-Werte, die durch die Abschattung resultieren
- Veränderung der Punktmarke unwahrscheinlich

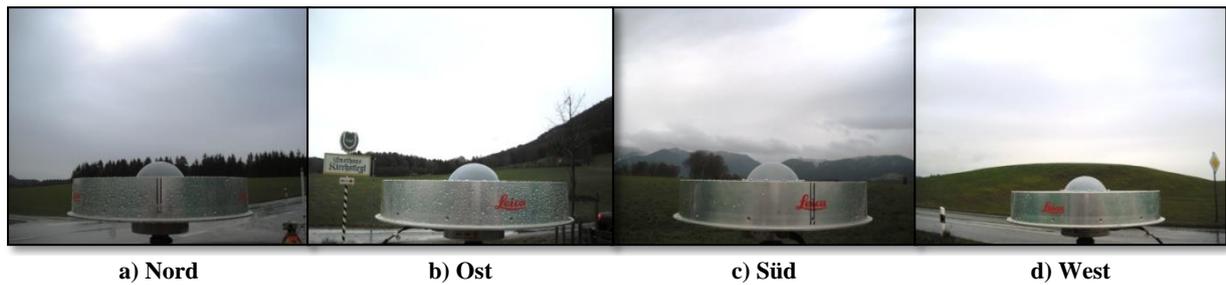


Abbildung 6.6: Abschattung Punkt 8237-119

- Punktvermarkung: PB, etwas unter der Oberfläche neben Fahrbahnrand auf Wiese
- Ordnung 2, Stabilität b
- GDOP: 1,6–2,6 / VDOP: 1,0–1,9

Ursachen: – keine hohe Abschattung, sehr gute DOP-Werte

- Abweichung ist hier eher auf eine Veränderung der Punktmarke zurückzuführen
- Auffällig ist, dass diese Abweichung als einzige deutlich im Minus-Bereich liegt. Es ist also gut möglich, dass die Vermarkung durch das Überfahren mit landwirtschaftlichen- oder Baumaschinen nach unten gedrückt wurde.

- PP: Elevation 15° (ohne Ausreißer 8136-102 und 8237-119)

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8136	48	2009	743,6381	789,8042	46,1500	743,6542	0,0161
8136	50	2009	755,6012	801,7989	46,1840	755,6149	0,0137
8137	10	1981	647,9183	693,8600	45,9350	647,9250	0,0067
8137	67	1996	606,0886	651,8070	45,6990	606,1080	0,0194
8137	90	1981	544,3523	590,2224	45,8550	544,3674	0,0151
8137	106	1996	531,6991	577,3887	45,6770	531,7117	0,0126
8137	119	1996	709,7612	755,5735	45,8040	709,7695	0,0083
8237	91	1981	683,9896	730,0596	46,0700	683,9896	0,0000

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \mathbf{0,0129} \\
 \mathbf{P(0,0074 \leq \mu \leq 0,0156) = 90\%} & \quad \bar{x} = \mathbf{0,0115} \\
 \mathbf{P(0,0063 \leq \mu \leq 0,0167) = 95\%} & \quad s_{\bar{x}} = \mathbf{0,0022}
 \end{aligned}$$

Nach dem Entfernen der Ausreißer erhält man auch hier sehr gute Ergebnisse. Die Abweichungen (inklusive Ausreißer) befinden sich nach 5.1 und 5.3 innerhalb der Toleranz.

○ **PP: Elevation 10°**

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8136	48	2009	743,6381	789,8044	46,1500	743,6544	0,0163
8136	50	2009	755,6012	801,7974	46,1840	755,6134	0,0122
8136	102	1996	698,1979	744,2615	46,0370	698,2245	0,0266
8137	10	1981	647,9183	693,8602	45,9350	647,9252	0,0069
8137	67	1996	606,0886	651,8067	45,6990	606,1077	0,0191
8137	90	1981	544,3523	590,2230	45,8550	544,3680	0,0157
8137	106	1996	531,6991	577,3907	45,6770	531,7137	0,0146
8137	119	1996	709,7612	755,5723	45,8040	709,7683	0,0071
8237	91	1981	683,9896	730,0594	46,0700	683,9894	-0,0002
8237	119	1996	799,8640	846,1068	46,2750	799,8318	-0,0322

$$\sigma = \mathbf{0,0176}$$

$$P(-0,0007 \leq \mu \leq 0,0179) = \mathbf{90\%}$$

$$\bar{x} = \mathbf{0,0086}$$

$$P(-0,0029 \leq \mu \leq 0,0201) = \mathbf{95\%}$$

$$s_{\bar{x}} = \mathbf{0,0051}$$

NivP 8136-102 ($u = 1,5442$) zu 80% und 8237-119 ($u = 2,0142$) zu 90% ein Ausreißer (Ursachen siehe 6.3 – PP: Elevation 15°).

○ **PP: Elevation 10° (ohne Ausreißer 8136-102 und 8237-119)**

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8136	48	2009	743,6381	789,8044	46,1500	743,6544	0,0163
8136	50	2009	755,6012	801,7974	46,1840	755,6134	0,0122
8137	10	1981	647,9183	693,8602	45,9350	647,9252	0,0069
8137	67	1996	606,0886	651,8067	45,6990	606,1077	0,0191
8137	90	1981	544,3523	590,2230	45,8550	544,3680	0,0157
8137	106	1996	531,6991	577,3907	45,6770	531,7137	0,0146
8137	119	1996	709,7612	755,5723	45,8040	709,7683	0,0071
8237	91	1981	683,9896	730,0594	46,0700	683,9894	-0,0002

$$\sigma = \mathbf{0,0129}$$

$$P(0,0072 \leq \mu \leq 0,0158) = \mathbf{90\%}$$

$$\bar{x} = \mathbf{0,0115}$$

$$P(0,0062 \leq \mu \leq 0,0168) = \mathbf{95\%}$$

$$s_{\bar{x}} = \mathbf{0,0023}$$

○ **PP: Elevation 15° / Geoid-Modul 2007**

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8136	48	2009	743,6381	789,8043	46,1526	743,6517	0,0136
8136	50	2009	755,6012	801,7989	46,1860	755,6129	0,0117
8136	102	1996	698,1979	744,2643	46,0434	698,2209	0,0230
8137	10	1981	647,9183	693,8600	45,9392	647,9208	0,0025
8137	67	1996	606,0886	651,8070	45,7060	606,1010	0,0124
8137	90	1981	544,3523	590,2224	45,8632	544,3592	0,0069
8137	106	1996	531,6991	577,3888	45,6849	531,7039	0,0048
8137	119	1996	709,7612	755,5736	45,8075	709,7661	0,0049
8237	91	1981	683,9896	730,0596	46,0698	683,9898	0,0002
8237	119	1996	799,8640	846,1128	46,2650	799,8478	-0,0162

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \mathbf{0,0117} \\
 \bar{x} &= \mathbf{0,0064} \\
 P(\mathbf{0,0004} \leq \mu \leq \mathbf{0,0124}) &= \mathbf{90\%} \\
 P(\mathbf{-0,0010} \leq \mu \leq \mathbf{0,0138}) &= \mathbf{95\%} \\
 s_{\bar{x}} &= \mathbf{0,0033}
 \end{aligned}$$

Wie schon am Alpenrand sind auch hier die Beträge der Abweichungen ε im Vergleich zu Elevation 15° kleiner, jedoch in einem kleineren Ausmaß.

○ **PP: Elevation 15° / ohne Antennenkalibrierung**

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8136	48	2009	743,6381	789,7285	46,1500	743,5785	-0,0596
8136	50	2009	755,6012	801,7220	46,1840	755,5380	-0,0632
8136	102	1996	698,1979	744,1833	46,0370	698,1463	-0,0516
8137	10	1981	647,9183	693,7455	45,9350	647,8105	-0,1078
8137	67	1996	606,0886	651,6922	45,6990	605,9932	-0,0954
8137	90	1981	544,3523	590,1073	45,8550	544,2523	-0,1000
8137	106	1996	531,6991	577,2737	45,6770	531,5967	-0,1024
8137	119	1996	709,7612	755,4595	45,8040	709,6555	-0,1057
8237	91	1981	683,9896	729,9521	46,0700	683,8821	-0,1075
8237	119	1996	799,8640	845,9958	46,2750	799,7208	-0,1432

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \mathbf{0,0973} \\
 \bar{x} &= \mathbf{-0,0936} \\
 P(\mathbf{-0,1097} \leq \mu \leq \mathbf{-0,0775}) &= \mathbf{90\%} \\
 P(\mathbf{-0,1135} \leq \mu \leq \mathbf{-0,0737}) &= \mathbf{95\%} \\
 s_{\bar{x}} &= \mathbf{0,0088}
 \end{aligned}$$

○ **PP: Elevation 15° / Navigationslösung (ohne VRS)**

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8136	48	2009	743,6381	783,2839	46,1500	737,1339	-6,5042
8136	50	2009	755,6012	795,1164	46,1840	748,9324	-6,6688
8136	102	1996	698,1979	738,3205	46,0370	692,2835	-5,9144
8137	10	1981	647,9183	690,5738	45,9350	644,6388	-3,2795
8137	67	1996	606,0886	647,9679	45,6990	602,2689	-3,8197
8137	90	1981	544,3523	589,3301	45,8550	543,4751	-0,8772
8137	106	1996	531,6991	572,7695	45,6770	527,0925	-4,6066
8137	119	1996	709,7612	753,1592	45,8040	707,3552	-2,4060
8237	91	1981	683,9896	730,0831	46,0700	684,0131	0,0235
8237	119	1996	799,8640	842,4294	46,2750	796,1544	-3,7096

$$\sigma = 4,3433$$

$$P(-5,0874 \leq \mu \leq -2,4652) = 90\%$$

$$\bar{x} = -3,7763$$

$$P(-5,3943 \leq \mu \leq -2,1583) = 95\%$$

$$s_{\bar{x}} = 0,7153$$

6.4 Flachland

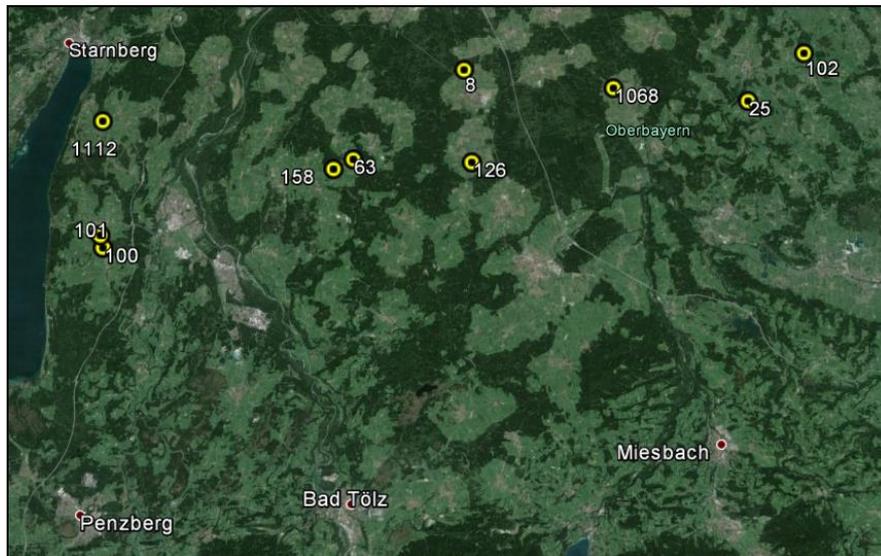


Abbildung 6.7: Punkte im Flachland (Google Earth)

○ RTK

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8034	1112	1983	630,8322	676,9970	46,1550	630,8420	0,0098
8035	8	2009	609,7375	655,5176	45,7620	609,7556	0,0181
8035	63	1996	709,9743	755,9712	45,9860	709,9852	0,0109
8035	126	2009	652,5914	698,4811	45,8710	652,6101	0,0187
8035	158	1996	680,8277	726,8429	46,0080	680,8349	0,0072
8036	1068	1983	602,1944	647,8524	45,6150	602,2374	0,0430
8037	25	1996	577,5855	623,0701	45,4670	577,6031	0,0176
8037	102	1996	566,7244	612,0905	45,3580	566,7325	0,0081
8134	100	1996	664,7465	710,9937	46,2440	664,7497	0,0032
8134	101	1996	685,2448	731,4972	46,2350	685,2622	0,0174

$$\sigma = \mathbf{0,0187}$$

$$P(0,0090 \leq \mu \leq 0,0218) = \mathbf{90\%}$$

$$\bar{x} = \mathbf{0,0154}$$

$$P(0,0075 \leq \mu \leq 0,0233) = \mathbf{95\%}$$

$$s_{\bar{x}} = \mathbf{0,0035}$$

NivP 8036-1068 zu 98% ein Ausreißer ($u = 3,0103$).



Abbildung 6.8: Abschattung und Vermarkung Punkt 8036-1068

- Punktvermarkung: PB, zwischen Bahngleis und Feldweg, 30 Zentimeter über Weg
- Ordnung 3, Stabilität b
- GDOP: 1,5–2,4 / VDOP: 1,0–1,6

- Ursachen:
- keine Abschattung und sehr gute DOP-Werte (kommt nicht in Frage!)
 - Durch vorbeifahrende Züge bzw. Erneuerungsmaßnahmen am Gleis kann der Punkt verändert worden sein.
 - Die Vermarkung befindet sich 30 Zentimeter über und direkt neben dem Feldweg. Hier ist leicht möglich bzw. wahrscheinlich, dass Landwirte z. B. beim Wenden mit Zugfahrzeugen die Marke berühren und verändern.
 - Die Höhe des Punktes wurde 1983 das letzte mal bestimmt.

- RTK (ohne Ausreißer 8036-1068)

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8034	1112	1983	630,8322	676,9970	46,1550	630,8420	0,0098
8035	8	2009	609,7375	655,5176	45,7620	609,7556	0,0181
8035	63	1996	709,9743	755,9712	45,9860	709,9852	0,0109
8035	126	2009	652,5914	698,4811	45,8710	652,6101	0,0187
8035	158	1996	680,8277	726,8429	46,0080	680,8349	0,0072
8037	25	1996	577,5855	623,0701	45,4670	577,6031	0,0176
8037	102	1996	566,7244	612,0905	45,3580	566,7325	0,0081
8134	100	1996	664,7465	710,9937	46,2440	664,7497	0,0032
8134	101	1996	685,2448	731,4972	46,2350	685,2622	0,0174

$$\begin{aligned}
 \sigma &= & \mathbf{0,0135} \\
 P(0,0087 \leq \mu \leq 0,0159) &= & \mathbf{90\%} \\
 \bar{x} &= & \mathbf{0,0123} \\
 P(0,0079 \leq \mu \leq 0,0167) &= & \mathbf{95\%} \\
 s_{\bar{x}} &= & \mathbf{0,0019}
 \end{aligned}$$

○ **PP: Elevation 15°**

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8034	1112	1983	630,8322	676,9840	46,1550	630,8290	-0,0032
8035	8	2009	609,7375	655,5187	45,7620	609,7567	0,0192
8035	63	1996	709,9743	755,9679	45,9860	709,9819	0,0076
8035	126	2009	652,5914	698,4785	45,8710	652,6075	0,0161
8035	158	1996	680,8277	726,8214	46,0080	680,8134	-0,0143
8036	1068	1983	602,1944	647,8292	45,6150	602,2142	0,0198
8037	25	1996	577,5855	623,0720	45,4670	577,6050	0,0195
8037	102	1996	566,7244	612,0848	45,3580	566,7268	0,0024
8134	100	1996	664,7465	710,9848	46,2440	664,7408	-0,0057
8134	101	1996	685,2448	731,4829	46,2350	685,2479	0,0031

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \mathbf{0,0131} \\
 \bar{x} &= \mathbf{0,0065} \\
 P(-0,0005 \leq \mu \leq 0,0135) &= \mathbf{90\%} \\
 P(-0,0021 \leq \mu \leq 0,0151) &= \mathbf{95\%} \\
 s_{\bar{x}} &= \mathbf{0,0038}
 \end{aligned}$$

NivP 8036-1068 zu 80% ein Ausreißer ($u = 1,5365$, Ursachen siehe 6.4 – RTK).

○ **PP: Elevation 15° (ohne Ausreißer 8036-1068)**

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8034	1112	1983	630,8322	676,9840	46,1550	630,8290	-0,0032
8035	8	2009	609,7375	655,5187	45,7620	609,7567	0,0192
8035	63	1996	709,9743	755,9679	45,9860	709,9819	0,0076
8035	126	2009	652,5914	698,4785	45,8710	652,6075	0,0161
8035	158	1996	680,8277	726,8214	46,0080	680,8134	-0,0143
8037	25	1996	577,5855	623,0720	45,4670	577,6050	0,0195
8037	102	1996	566,7244	612,0848	45,3580	566,7268	0,0024
8134	100	1996	664,7465	710,9848	46,2440	664,7408	-0,0057
8134	101	1996	685,2448	731,4829	46,2350	685,2479	0,0031

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \mathbf{0,0121} \\
 \bar{x} &= \mathbf{0,0050} \\
 P(-0,0023 \leq \mu \leq 0,0123) &= \mathbf{90\%} \\
 P(-0,0040 \leq \mu \leq 0,0140) &= \mathbf{95\%} \\
 s_{\bar{x}} &= \mathbf{0,0039}
 \end{aligned}$$

○ **PP: Elevation 10°**

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8034	1112	1983	630,8322	676,9822	46,1550	630,8272	-0,0050
8035	8	2009	609,7375	655,5190	45,7620	609,7570	0,0195
8035	63	1996	709,9743	755,9703	45,9860	709,9843	0,0100
8035	126	2009	652,5914	698,4783	45,8710	652,6073	0,0159
8035	158	1996	680,8277	726,8211	46,0080	680,8131	-0,0146
8036	1068	1983	602,1944	647,8310	45,6150	602,2160	0,0216
8037	25	1996	577,5855	623,0727	45,4670	577,6057	0,0202
8037	102	1996	566,7244	612,0839	45,3580	566,7259	0,0015
8134	100	1996	664,7465	710,9850	46,2440	664,7410	-0,0055
8134	101	1996	685,2448	731,4812	46,2350	685,2462	0,0014

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \mathbf{0,0137} \\
 \bar{x} &= \mathbf{0,0065} \\
 P(-0,0009 \leq \mu \leq 0,0139) &= \mathbf{90\%} \\
 P(-0,0026 \leq \mu \leq 0,0156) &= \mathbf{95\%} \\
 s_{\bar{x}} &= \mathbf{0,0040}
 \end{aligned}$$

NivP 8036-1068 zu 85% ein Ausreißer ($u = 1,6249$, Ursachen siehe 6.4 – RTK).

○ **PP: Elevation 10° (ohne Ausreißer 8036-1068)**

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8034	1112	1983	630,8322	676,9822	46,1550	630,8272	-0,0050
8035	8	2009	609,7375	655,5190	45,7620	609,7570	0,0195
8035	63	1996	709,9743	755,9703	45,9860	709,9843	0,0100
8035	126	2009	652,5914	698,4783	45,8710	652,6073	0,0159
8035	158	1996	680,8277	726,8211	46,0080	680,8131	-0,0146
8037	25	1996	577,5855	623,0727	45,4670	577,6057	0,0202
8037	102	1996	566,7244	612,0839	45,3580	566,7259	0,0015
8134	100	1996	664,7465	710,9850	46,2440	664,7410	-0,0055
8134	101	1996	685,2448	731,4812	46,2350	685,2462	0,0014

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \mathbf{0,0125} \\
 \bar{x} &= \mathbf{0,0048} \\
 P(-0,0028 \leq \mu \leq 0,0124) &= \mathbf{90\%} \\
 P(-0,0046 \leq \mu \leq 0,0142) &= \mathbf{95\%} \\
 s_{\bar{x}} &= \mathbf{0,0041}
 \end{aligned}$$

Die Beobachtungen der Messreihen RTK, Postprocessing der Elevation 10° und 15° befinden sich alle innerhalb der Toleranz nach 5.1–5.3.

○ **PP: Elevation 15° / Geoid-Modul 2007**

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8034	1112	1983	630,8322	676,9839	46,1520	630,8319	-0,0003
8035	8	2009	609,7375	655,5187	45,7697	609,7490	0,0115
8035	63	1996	709,9743	755,9679	45,9885	709,9794	0,0051
8035	126	2009	652,5914	698,4785	45,8790	652,5995	0,0081
8035	158	1996	680,8277	726,8214	46,0131	680,8083	-0,0194
8036	1068	1983	602,1944	647,8292	45,6325	602,1967	0,0023
8037	25	1996	577,5855	623,0720	45,4812	577,5908	0,0053
8037	102	1996	566,7244	612,0848	45,3751	566,7097	-0,0147
8134	100	1996	664,7465	710,9848	46,2608	664,7240	-0,0225
8134	101	1996	685,2448	731,4829	46,2498	685,2331	-0,0117

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \mathbf{0,0122} \\
 \bar{x} &= \mathbf{-0,0036} \\
 P(-0,0107 \leq \mu \leq 0,0035) &= \mathbf{90\%} \\
 P(-0,0124 \leq \mu \leq 0,0052) &= \mathbf{95\%} \\
 s_{\bar{x}} &= \mathbf{0,0039}
 \end{aligned}$$

○ **PP: Elevation 15° / ohne Antennenkalibrierung**

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8034	1112	1983	630,8322	676,8694	46,1550	630,7144	-0,1178
8035	8	2009	609,7375	655,4186	45,7620	609,6566	-0,0809
8035	63	1996	709,9743	755,8937	45,9860	709,9077	-0,0666
8035	126	2009	652,5914	698,4005	45,8710	652,5295	-0,0619
8035	158	1996	680,8277	726,7447	46,0080	680,7367	-0,0910
8036	1068	1983	602,1944	647,7225	45,6150	602,1075	-0,0869
8037	25	1996	577,5855	622,9574	45,4670	577,4904	-0,0951
8037	102	1996	566,7244	611,9702	45,3580	566,6122	-0,1122
8134	100	1996	664,7465	710,8695	46,2440	664,6255	-0,1210
8134	101	1996	685,2448	731,3879	46,2350	685,1529	-0,0919

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \mathbf{0,0945} \\
 \bar{x} &= \mathbf{-0,0925} \\
 P(-0,1041 \leq \mu \leq -0,0809) &= \mathbf{90\%} \\
 P(-0,1069 \leq \mu \leq -0,0781) &= \mathbf{95\%} \\
 s_{\bar{x}} &= \mathbf{0,0063}
 \end{aligned}$$

○ **PP: Elevation 15° / Navigationslösung (ohne VRS)**

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8034	1112	1983	630,8322	671,1787	46,1550	625,0237	-5,8085
8035	8	2009	609,7375	655,8123	45,7620	610,0503	0,3128
8035	63	1996	709,9743	749,1820	45,9860	703,1960	-6,7783
8035	126	2009	652,5914	699,1856	45,8710	653,3146	0,7232
8035	158	1996	680,8277	720,1476	46,0080	674,1396	-6,6881
8036	1068	1983	602,1944	647,5036	45,6150	601,8886	-0,3058
8037	25	1996	577,5855	621,9453	45,4670	576,4783	-1,1072
8037	102	1996	566,7244	611,7723	45,3580	566,4143	-0,3101
8134	100	1996	664,7465	707,8724	46,2440	661,6284	-3,1181
8134	101	1996	685,2448	728,4945	46,2350	682,2595	-2,9853

$$\begin{aligned} & \mathbf{P(-4,3036 \leq \mu \leq -0,9094) = 90\%} \\ & \mathbf{P(-4,7009 \leq \mu \leq -0,5121) = 95\%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \mathbf{3,8090} \\ \bar{x} &= \mathbf{-2,6065} \\ s_{\bar{x}} &= \mathbf{0,9258} \end{aligned}$$

6.5 Alle Punkte

Aus den folgenden drei Messreihen wurden die Beobachtungen der Ausreißer bereits entfernt. Die Genauigkeitsangaben mit Ausreißer können auf der beigefügten DVD nachvollzogen werden.

- **RTK** (ohne Ausreißer)

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8338	66	2007	993,2249	1040,0507	46,8060	993,2447	0,0198
8338	172	2007	1132,0305	1178,8532	46,8090	1132,0442	0,0137
8338	184	2007	1344,9653	1391,7883	46,8080	1344,9803	0,0150
8338	190	2007	1449,7533	1496,5497	46,7730	1449,7767	0,0234
8338	191	2007	1450,4125	1497,1949	46,7740	1450,4209	0,0084
8338	197	2007	1053,5812	1100,4652	46,8480	1053,6172	0,0360
8338	199	2007	1070,1182	1116,9912	46,8520	1070,1392	0,0210
8136	50	2009	755,6012	801,8113	46,1840	755,6273	0,0261
8136	102	1996	698,1979	744,2448	46,0370	698,2078	0,0099
8137	10	1981	647,9183	693,8759	45,9350	647,9409	0,0226
8137	67	1996	606,0886	651,8069	45,6990	606,1079	0,0193
8137	90	1981	544,3523	590,2276	45,8550	544,3726	0,0203
8137	106	1996	531,6991	577,3970	45,6770	531,7200	0,0209
8137	119	1996	709,7612	755,5898	45,8040	709,7858	0,0246
8237	91	1981	683,9896	730,0711	46,0700	684,0011	0,0115
8237	119	1996	799,8640	846,1365	46,2750	799,8615	-0,0025
8034	1112	1983	630,8322	676,9970	46,1550	630,8420	0,0098
8035	8	2009	609,7375	655,5176	45,7620	609,7556	0,0181
8035	63	1996	709,9743	755,9712	45,9860	709,9852	0,0109
8035	126	2009	652,5914	698,4811	45,8710	652,6101	0,0187
8035	158	1996	680,8277	726,8429	46,0080	680,8349	0,0072
8037	25	1996	577,5855	623,0701	45,4670	577,6031	0,0176
8037	102	1996	566,7244	612,0905	45,3580	566,7325	0,0081
8134	100	1996	664,7465	710,9937	46,2440	664,7497	0,0032
8134	101	1996	685,2448	731,4972	46,2350	685,2622	0,0174

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \mathbf{0,0179} \\
 \bar{x} &= \mathbf{0,0160} \\
 P(0,0132 \leq \mu \leq 0,0188) &= \mathbf{90\%} \\
 P(0,0126 \leq \mu \leq 0,0194) &= \mathbf{95\%} \\
 s_{\bar{x}} &= \mathbf{0,0016}
 \end{aligned}$$

○ **PP: Elevation 15°** (ohne Ausreißer)

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8338	66	2007	993,2249	1040,0448	46,8060	993,2388	0,0139
8338	172	2007	1132,0305	1178,8426	46,8090	1132,0336	0,0031
8338	176	2007	1205,5309	1252,3501	46,8020	1205,5481	0,0172
8338	184	2007	1344,9653	1391,7714	46,8080	1344,9634	-0,0019
8338	190	2007	1449,7533	1496,5377	46,7730	1449,7647	0,0114
8338	191	2007	1450,4125	1497,1911	46,7740	1450,4171	0,0046
8338	197	2007	1053,5812	1100,4418	46,8480	1053,5938	0,0126
8338	199	2007	1070,1182	1116,9832	46,8520	1070,1312	0,0130
8136	48	2009	743,6381	789,8042	46,1500	743,6542	0,0161
8136	50	2009	755,6012	801,7989	46,1840	755,6149	0,0137
8137	10	1981	647,9183	693,8600	45,9350	647,9250	0,0067
8137	67	1996	606,0886	651,8070	45,6990	606,1080	0,0194
8137	90	1981	544,3523	590,2224	45,8550	544,3674	0,0151
8137	106	1996	531,6991	577,3887	45,6770	531,7117	0,0126
8137	119	1996	709,7612	755,5735	45,8040	709,7695	0,0083
8237	91	1981	683,9896	730,0596	46,0700	683,9896	0,0000
8034	1112	1983	630,8322	676,9840	46,1550	630,8290	-0,0032
8035	8	2009	609,7375	655,5187	45,7620	609,7567	0,0192
8035	63	1996	709,9743	755,9679	45,9860	709,9819	0,0076
8035	126	2009	652,5914	698,4785	45,8710	652,6075	0,0161
8035	158	1996	680,8277	726,8214	46,0080	680,8134	-0,0143
8036	1068	1983	602,1944	647,8292	45,6150	602,2142	0,0198
8037	25	1996	577,5855	623,0720	45,4670	577,6050	0,0195
8037	102	1996	566,7244	612,0848	45,3580	566,7268	0,0024
8134	100	1996	664,7465	710,9848	46,2440	664,7408	-0,0057
8134	101	1996	685,2448	731,4829	46,2350	685,2479	0,0031

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \mathbf{0,0124} \\
 \bar{x} &= \mathbf{0,0089} \\
 P(0,0059 \leq \mu \leq 0,0119) &= \mathbf{90\%} \\
 P(0,0053 \leq \mu \leq 0,0125) &= \mathbf{95\%} \\
 s_{\bar{x}} &= \mathbf{0,0017}
 \end{aligned}$$

○ **PP: Elevation 10°** (ohne Ausreißer)

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8338	66	2007	993,2249	1040,0442	46,8060	993,2382	0,0133
8338	172	2007	1132,0305	1178,8374	46,8090	1132,0284	-0,0021
8338	176	2007	1205,5309	1252,3487	46,8020	1205,5467	0,0158
8338	184	2007	1344,9653	1391,7702	46,8080	1344,9622	-0,0031
8338	190	2007	1449,7533	1496,5372	46,7730	1449,7642	0,0109
8338	191	2007	1450,4125	1497,1871	46,7740	1450,4131	0,0006
8338	197	2007	1053,5812	1100,4442	46,8480	1053,5962	0,0150
8338	199	2007	1070,1182	1116,9820	46,8520	1070,1300	0,0118
8136	48	2009	743,6381	789,8044	46,1500	743,6544	0,0163
8136	50	2009	755,6012	801,7974	46,1840	755,6134	0,0122
8137	10	1981	647,9183	693,8602	45,9350	647,9252	0,0069
8137	67	1996	606,0886	651,8067	45,6990	606,1077	0,0191
8137	90	1981	544,3523	590,2230	45,8550	544,3680	0,0157
8137	106	1996	531,6991	577,3907	45,6770	531,7137	0,0146
8137	119	1996	709,7612	755,5723	45,8040	709,7683	0,0071
8237	91	1981	683,9896	730,0594	46,0700	683,9894	-0,0002
8034	1112	1983	630,8322	676,9822	46,1550	630,8272	-0,0050
8035	8	2009	609,7375	655,5190	45,7620	609,7570	0,0195
8035	63	1996	709,9743	755,9703	45,9860	709,9843	0,0100
8035	126	2009	652,5914	698,4783	45,8710	652,6073	0,0159
8035	158	1996	680,8277	726,8211	46,0080	680,8131	-0,0146
8036	1068	1983	602,1944	647,8310	45,6150	602,2160	0,0216
8037	25	1996	577,5855	623,0727	45,4670	577,6057	0,0202
8037	102	1996	566,7244	612,0839	45,3580	566,7259	0,0015
8134	100	1996	664,7465	710,9850	46,2440	664,7410	-0,0055
8134	101	1996	685,2448	731,4812	46,2350	685,2462	0,0014

$$\begin{array}{ll}
 \sigma = & \mathbf{0,0126} \\
 P(0,0052 \leq \mu \leq 0,0116) = & \mathbf{90\%} \\
 \bar{x} = & \mathbf{0,0084} \\
 P(0,0045 \leq \mu \leq 0,0123) = & \mathbf{95\%} \\
 s_{\bar{x}} = & \mathbf{0,0019}
 \end{array}$$

6.6 Standardabweichungen aus Doppelmessungen

- **Alpenrand / Elevation 15°** **ohne Ausreißer 8338-192**

$$s_E = 0,0165$$

$$s_{MD} = 0,0116$$

$$s_E = 0,0099$$

$$s_{MD} = 0,0070$$

- **Hügelland / Elevation 15°**

$$s_E = 0,0100$$

$$s_{MD} = 0,0070$$

- **Flachland / Elevation 15°**

$$s_E = 0,0074$$

$$s_{MD} = 0,0052$$

- **Alle Punkte / Elevation 15°** **ohne Ausreißer 8338-192**

$$s_E = 0,0117$$

$$s_{MD} = 0,0083$$

$$s_E = 0,0091$$

$$s_{MD} = 0,0065$$

An den berechneten Größen der Messreihen „Alpenrand“ und „Alle Punkte“ ist sehr gut zu erkennen, wie die Genauigkeit nach Entfernen des Ausreißers zunimmt. Außerdem ist festzustellen, dass die Abweichungen vom Bergland zum Flachland hin abnehmen. Gründe dafür können die höheren Abschattungen durch die Hügel und Berge, und – wie in Abschnitt 5.1 erläutert – die großen Höhenunterschiede zwischen Rover und Referenzstation sein.

Die Berechnungen der Doppelmessungen können auf der beigelegten DVD nachvollzogen werden.

6.7 Vergleich der Analysen

Für den Vergleich der einzelnen Analysen werden die Ergebnisse ohne den Beobachtungen der Ausreißer verwendet.

○ Elevation 15° und 10°

Alpenrand:	15°:	$P(0,0037 \leq \mu \leq 0,0147) = 95\%$	$\sigma = 0,0111$
	10°:	$P(0,0012 \leq \mu \leq 0,0144) = 95\%$	$\sigma = 0,0107$
Hügelland:	15°:	$P(0,0063 \leq \mu \leq 0,0167) = 95\%$	$\sigma = 0,0129$
	10°:	$P(0,0062 \leq \mu \leq 0,0168) = 95\%$	$\sigma = 0,0129$
Flachland:	15°:	$P(-0,0040 \leq \mu \leq 0,0140) = 95\%$	$\sigma = 0,0121$
	10°:	$P(-0,0046 \leq \mu \leq 0,0142) = 95\%$	$\sigma = 0,0125$
Alle Punkte:	15°:	$P(0,0053 \leq \mu \leq 0,0125) = 95\%$	$\sigma = 0,0124$
	10°:	$P(0,0045 \leq \mu \leq 0,0123) = 95\%$	$\sigma = 0,0126$

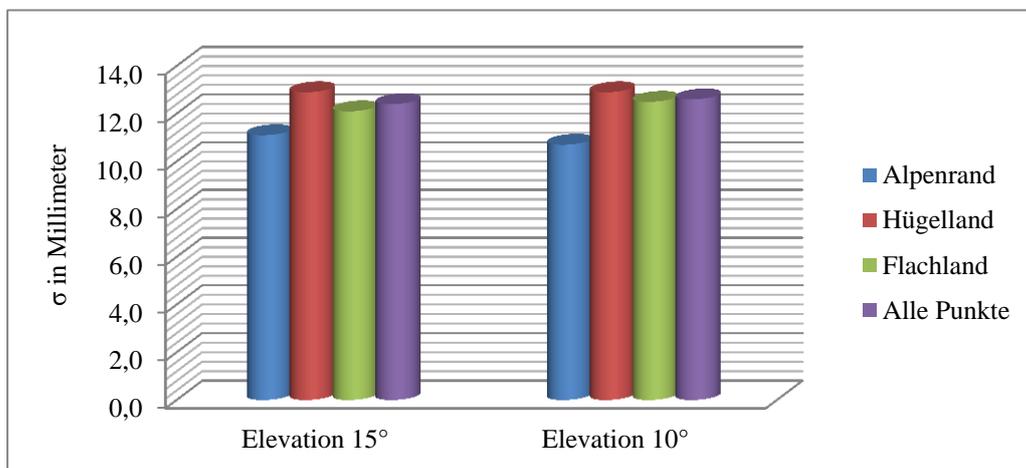


Diagramm 6.1: Standardabweichung σ der einzelnen Messreihen für die Elevation 10° und 15°

Das Diagramm 6.1 und die obige Auflistung zeigen sehr deutlich, dass zwischen den Auswertungen der Elevation 15° und 10° kein – signifikanter – Unterschied besteht.

Die Genauigkeiten unter den verschiedenen Gebieten aber weichen voneinander ab. Auffällig ist, dass die Standardabweichung am Alpenrand am kleinsten ist, obwohl dort – durch mehr Abschattung, große Höhenunterschiede zwischen Rover und Referenzstation (Abschnitt 5.1) und ein ungenaueres Quasigeoidmodell (Abschnitt 5.3) – die größten Abweichungen erwartet wurden. Es muss natürlich auch berücksichtigt werden, dass am Alpenrand und im Hügelland nach Entfernen der Ausreißer nur noch acht, im Flachland dagegen neun Punkte in die Berechnung mit einfließen.

○ **RTK und Elevation 15°**

Alpenrand:	RTK:	$P(0,0131 \leq \mu \leq 0,0311) = 95\%$	$\sigma = 0,0243$
	15°:	$P(0,0037 \leq \mu \leq 0,0147) = 95\%$	$\sigma = 0,0111$
Hügelland:	RTK:	$P(0,0100 \leq \mu \leq 0,0240) = 95\%$	$\sigma = 0,0190$
	15°:	$P(0,0063 \leq \mu \leq 0,0167) = 95\%$	$\sigma = 0,0129$
Flachland:	RTK:	$P(0,0079 \leq \mu \leq 0,0167) = 95\%$	$\sigma = 0,0135$
	15°:	$P(-0,0040 \leq \mu \leq 0,0140) = 95\%$	$\sigma = 0,0121$
Alle Punkte:	RTK:	$P(0,0126 \leq \mu \leq 0,0194) = 95\%$	$\sigma = 0,0179$
	15°:	$P(0,0053 \leq \mu \leq 0,0125) = 95\%$	$\sigma = 0,0124$

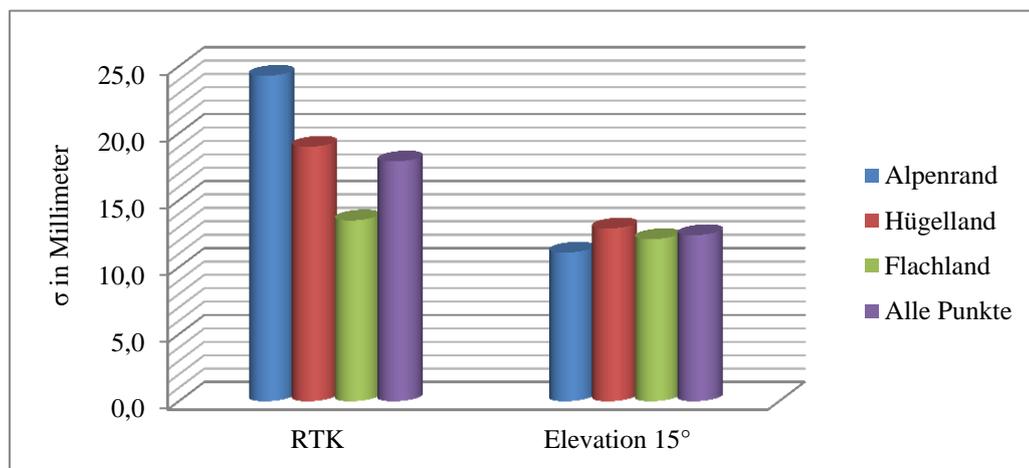


Diagramm 6.2: Standardabweichung σ der einzelnen Messreihen für RTK und die Elevation 15°

Aus Diagramm 6.2 kann eine wesentliche Genauigkeitssteigerung bei den RTK-Messungen vom Alpenrand zum Flachland hin festgestellt werden. Auch die Verbesserung der Postprocessing-Ergebnisse im Gegensatz zu RTK wird hier verdeutlicht. Gründe dafür sind die längeren Beobachtungszeiten und genauere Bahndaten der Satelliten, die in die nachträgliche Berechnung mit einbezogen werden. Bei RTK-Messungen stehen nur Broadcast-Ephemeriden zur Verfügung. Dies sind vorausberechnete Bahndaten, die von den tatsächlichen Umlaufbahnen abweichen.

○ **Vergleich der Vier-Stunden-Messungen mit den Abgriffen (Elevation 15°)**

– Vier-Stunden-Messung

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8035	63	1996	709,9743	755,9709	45,9860	709,9849	0,0106
8237	119	1996	799,8640	846,1107	46,2750	799,8357	-0,0283
8338	197	2007	1053,5812	1100,4466	46,8480	1053,5986	0,0174

– Abgriffe am Anfang und am Ende zu je 20 Minuten

TK	Nr.	Messjahr	DHHN92[m]	h [m]	ζ [m]	H [m]	ε [m]
8035	63	1996	709,9743	755,9688	45,9860	709,9828	0,0085
8035	63	1996	709,9743	755,9675	45,9860	709,9815	0,0072
gewichtetes Mittel				755,9679	45,9860	709,9819	0,0076
8237	119	1996	799,8640	846,1075	46,2750	799,8325	-0,0315
8237	119	1996	799,8640	846,1198	46,2750	799,8448	-0,0192
gewichtetes Mittel				846,1128	46,2750	799,8378	-0,0262
8338	197	2007	1053,5812	1100,4389	46,8480	1053,5909	0,0097
8338	197	2007	1053,5812	1100,4428	46,8480	1053,5948	0,0136
gewichtetes Mittel				1100,4418	46,8480	1053,5938	0,0126

Aus den Vier-Stunden-Messungen resultieren höhere Abweichungen als aus den gemittelten Höhen der beiden Abgriffe. Eigentlich würde man es umgekehrt erwarten. Gründe für diese Ergebnisse können hier nicht festgestellt werden. Es müssten mehrere Punkte untersucht werden, um dazu Aussagen machen zu können.

7 Berechnung einer 3D-Szene

Zur Darstellung des Quasigeoidmodells GCG2011 unter der Erdoberfläche wurde mit der Software *ArcScene* von Esri eine 3D-Szene berechnet. Dazu wurden zuerst die Gitterpunkte des GCG2011 importiert und von ETRS89 in das amtliche Bezugssystem DHDN90/GK4 transformiert. Anschließend konnte eine Delaunay-Triangulation durchgeführt werden, woraus eine Oberfläche mit Dreiecksvermaschung entstand. Um die Höhenschichten des Modells kenntlich zu machen, wurden diese im 20 Zentimeter-Intervall mit verschiedenen Farben und Konturlinien versehen.

Zur Darstellung der Erdoberfläche wurde das DGM25 (Digitales Geländemodell mit einer Rasterweite von 25 Metern) von Oberbayern und die zugehörigen DOP200 (Digitales Orthophoto mit einer Bodenpixelgröße von zwei Metern) genutzt. Die Daten wurden vom LDBV zur Verfügung gestellt.¹³

Aus den DGM25-Stützpunkten, deren Koordinaten im Bezugssystem DHDN90/GK4 und Höhen im Höhensystem DHHN92 vorlagen, konnte wieder eine Dreiecksvermaschung berechnet und durch den gleichen Raumbezug problemlos über dem Quasigeoidmodell angezeigt werden. Auf diese TIN-Oberfläche (Triangulated Irregular Network) wurden dann die digitalen Orthophotos und die gemessenen NivP gelegt. Die Höhnfestpunkte mussten zuvor von ETRS89 nach DHDN90/GK4 transformiert werden.

Das GCG2011 erschien nun als Ebene unter der Erdoberfläche, da die geringe Höhenänderung auf die große, räumliche Ausdehnung des Gesamtmodells nicht ersichtlich wird. Zur besseren Kenntlichmachung wurden die Höhen des GCG2011 um den Faktor 2000 überhöht. Damit nun auch die Erdoberfläche wieder über der Höhenbezugsfläche liegt, wurde diese um 94.500 Meter nach oben versetzt. Das Modell ist maßstäblich nicht korrekt. Es soll aber auch nur der Veranschaulichung dienen.

Aufgrund der riesigen Datenmengen (DGM25 allein über 28 Mio. Datensätze) wurde das Quasigeoid- und das Oberflächenmodell auf die drei Gebiete der gemessenen NivP zugeschnitten und in einzelnen Szenen abgespeichert.

¹³ *Geobasisdaten* © Bayerische Vermessungsverwaltung 2014

Ergebnis der 3D-Szene für den Alpenrand:

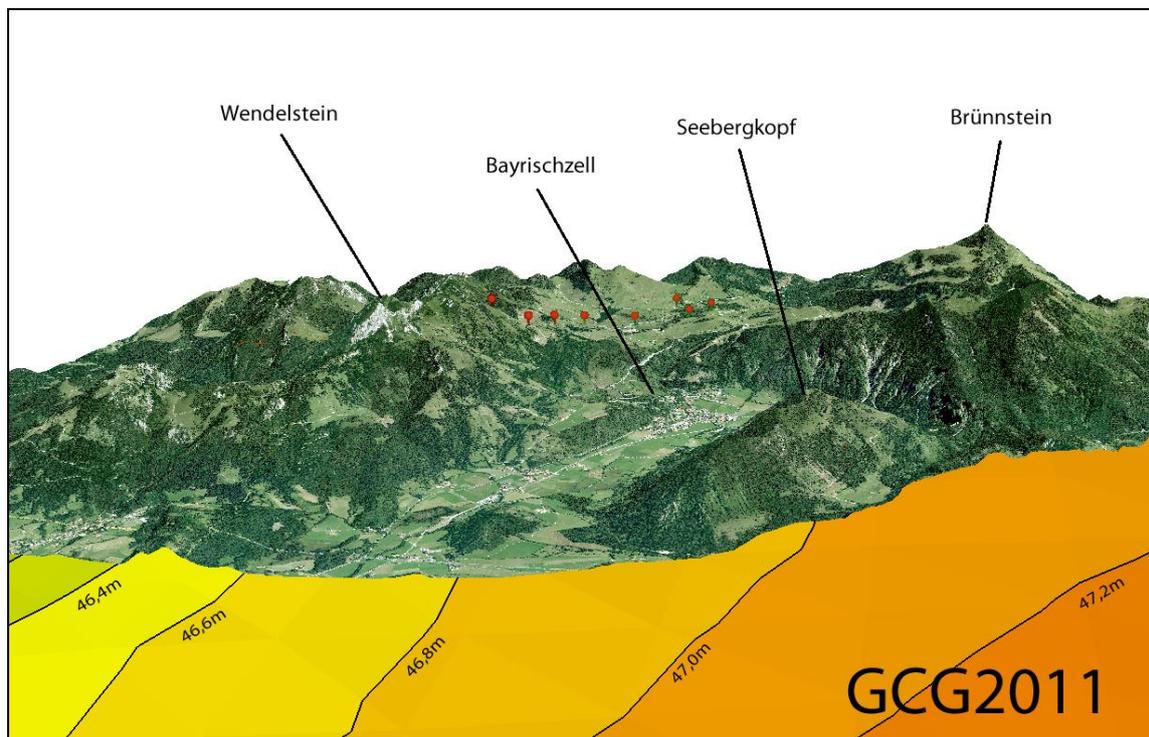


Abbildung 7.1: 3D-Szene des Gebiets Alpenrand

Die Abbildung 1.2 entstammt ebenfalls der Berechnung mit ArcScene.

Die SXD-Dateien der einzelnen Modelle sind auf der beigefügten DVD enthalten (Voraussetzung: Esri ArcScene).

8 Zusammenfassung

8.1 Fazit

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Höhen von Punkten im Flachland mittels RTK-Messungen mit einer Abweichung kleiner als zwei Zentimeter bestimmt werden konnten (ohne Ausreißer). Im Hügel- und Bergland sind die Abweichungen höher, jedoch im Rahmen der Genauigkeitsangaben nach 5.2 und 5.3. In solchen Gebieten werden aber wegen der größeren Zuverlässigkeit statische Messungen nach dem Postprocessing-Verfahren empfohlen.

Die Ermittlung der Punkthöhe durch statische Messungen erfolgte in allen Gebieten mit Abweichungen kleiner als zwei Zentimeter (ohne Ausreißer). Alle Ergebnisse befinden sich innerhalb der Genauigkeitsangaben nach 5.1 und 5.3. Der höhere Arbeitsaufwand zahlt sich also aus.

Nachgewiesen wurden auch die Genauigkeitsverluste, die bei Vernachlässigung der Antennenkalibrierwerte entstehen. Hierbei können die erhaltenen Höhen bis in den Dezimeter-Bereich fehlerhaft sein.

Mit dem Geoid-Modul 2007 wurde im Vergleich zum GCG2011 auf fast allen Punkten eine kleinere Normalhöhe H und auch ein kleinerer Betrag der Abweichung ε berechnet. Ein Grund dafür könnte sein, dass das Geoid-Modul 2007 vom GCG05 abgeleitet und an das Bayer. HHN angepasst wurde (siehe Abschnitt 5.1). Die tatsächlichen Ursachen können in dieser Arbeit nicht untersucht werden und sind auch nicht Teil der Aufgabe. Die Berechnung sollte nur zum Vergleich dienen.

Bei fast allen Messungen war ausreichend Sicht zum Horizont vorhanden, die für eine präzise Punktbestimmung mit GNSS-Messungen Voraussetzung ist. Beim Messaufbau wurde auf eine exakte Zentrierung der Antenne auf die gekennzeichnete Stelle der Punktmarke und auf die gewissenhafte Ermittlung der Antennenhöhe geachtet. Weiterhin konnten Fehler bei der Eingabe der Antennenhöhe in den Receiver oder durch Zuweisung falscher Korrekturdaten bei der Auswertung in LGO gemacht werden. Die Liste möglicher Fehlerquellen ließe sich

noch erweitern. Durch mehrfaches Kontrollieren wurde versucht, für die zu beeinflussenden Größen die bestmögliche Lösung zu erreichen.

Insgesamt sind sehr gute Ergebnisse erzielt worden, die so nicht erwartet wurden.

Für mich persönlich sind nicht nur die erhaltenen Größen von besonderer Bedeutung, sondern auch die Erkenntnisse und Erfahrungen, die ich bei diesen Arbeiten gewinnen konnte. Beispiele sind die Auseinandersetzung mit dem ARP und der Antennenkalibrierung, dass eine Chokering-Antenne nach Norden ausgerichtet werden muss und wie das amtliche Höhenbezugssystem aufgebaut und realisiert ist. Weiterhin habe ich mich mit LGO beschäftigt, beherrsche nach 52 Wiederholungen das Zentrieren über einem Punkt und vieles mehr.

Eine sehr wichtige Erkenntnis ist natürlich das Einschätzen von zu erreichenden Genauigkeiten in Abhängigkeit von Gebiet, Umfeld und Messmethode. Hinzu kommen die vielen weiteren Faktoren, die eine entscheidende Rolle zur Präzisionssteigerung beitragen.

Es war eine sehr interessante Arbeit und ich hoffe, dass ich meine gesammelten Erfahrungen in Zukunft unterbringen kann.

8.2 Ausblick

Durch die vielen Möglichkeiten der Nutzung von GNSS-Daten und der immer kostengünstigeren Bereitstellung von Empfangsgeräten – z.B. das Smartphone – werden die Nutzer in Zukunft eher zu- als abnehmen. Sei es beim Navigieren, beim Aufzeichnen der gelaufenen Route mit zurückgelegter Weglänge und überwundenen Höhenmetern, beim Überwachen von Geldtransportern oder eben bei der präzisen Landesvermessung. Für die verschiedensten Aufgaben können die Signale der Satelliten aus über 20.000 Kilometern Höhe genutzt werden.

Nicht nur die Nutzer, sondern auch die Anzahl der GNSS-Satelliten im All nimmt zu. Für das europäische System Galileo werden in den nächsten Jahren weitere Trabanten in ihre Umlaufbahnen gebracht. Bei Erreichen der vollen Operationsfähigkeit von Galileo kann die Höhe und die Lage von Punkten vielleicht noch genauer bestimmt werden.

8.3 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen, die mich bei dieser Bachelorarbeit betreut und unterstützt haben, recht herzlich bedanken. Für die vielen Fragen meinerseits, bei der Vorbereitung der Instrumente und Unterlagen, für die Bereitstellung von Daten und vieles mehr, stand stets ein kompetenter Ansprechpartner zur Seite.

Ein herzliches Vergelt's Gott gilt

- meinen Betreuern Herrn Georg Lothar von der Hochschule München und Herrn Manfred Klette vom Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung – Referat Geodätischer Raumbezug.
- folgenden Personen vom Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung – Referat Geodätischer Raumbezug:
 - Herr Franz Lindenthal
 - Herr Anton Hirschauer
 - Herr Martin Freitag
 - Herr Thomas Peter
 - Herr Stefan Breunig
- folgenden Personen von der Hochschule für angewandte Wissenschaften München – Fakultät für Geoinformation:
 - Herrn Jens Czaja
 - Herrn Manfred Wurzer
 - Frau Petra Wurzer

9 Literatur- und Internetadressenverzeichnis

Literatur

- Bayer. Staatsministerium der Finanzen (1974): *Vorschriften für den Aufbau und die Erhaltung des Nivellementpunktfeldes in Bayern, (Bayer. NivP-Erlass)*, im Verlag des Bayerischen Landesvermessungsamts, München 1975.
- Hübner, Wolfgang (2011): *Satellitenpositionierung 1*, Vorlesungsskript Hochschule München im Wintersemester 2011/2012
- Hübner, Wolfgang (2012): *Satellitenpositionierung 2*, Vorlesungsskript Hochschule München im Sommersemester 2012
- Lothar, Georg (2010): *Mathematik für Geodäten Teil 2, Statistik, Einführung in die mathematische Statistik*, Vorlesungsskript Hochschule München.

Internet

- AdV: Produktdefinition SAPOS
<http://www.adv-online.de/AdV-Produkte/SAPOS/Veroeffentlichungen-SAPOS/binarywriterservlet?imgUid=b7b10eba-659a-c041-f840-1034072e13d6&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111>
[19.03.2014]
- BKG: Quasigeoid der Bundesrepublik Deutschland, GCG2011
<http://www.geodatenzentrum.de/docpdf/quasigeoid.pdf>
[23.03.2014]
- CROPOS: Leica GPS1200, User Manual
http://www.cropos.hr/files/documents/manuals/leica_gps1200_user_en.pdf
[13.03.2014]
- LDBV: Das Quasigeoid-Modell für das bayerische Höhenfestpunktfeld
https://sapos.bayern.de/download.php?file=Geoid_Modul%202007.pdf
[22.03.2014]

- Leica Geosystems: Leica AT504 (GG) Choke Ring Antenna
http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-AT504-GG-Choke-RingAntenna_4601.htm
[13.03.2014]
- Leica Geosystems: NA2002-NA3000 Digitalnivellier Gebrauchsanweisung
http://www.leica-geosystems.de/de/Support-ServiceDownloads_8346.htm?cid=1168
[13.03.2014]
- SAPOS Bayern: GPPS-Bayern-Handbuch
https://sapos.bayern.de/download.php?file=GPPS-Bayern_Handbuch.pdf
[21.03.2014]
- TU Dresden: Berücksichtigung von Antennenkorrekturen bei GNSS-Anwendungen
http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_forst_geo_und_hydrowissenschaften/fachrichtung_geowissenschaften/gi/gg/veroeffentlichungen/DVW-Merkblatt_Nr1_2011.pdf
[14.03.2014]

10 Anhang

10.1	Abbildungsverzeichnis.....	71
10.2	Tabellenverzeichnis	72
10.3	Diagrammverzeichnis	73
10.4	Verwendete Software.....	73
10.5	Tabelle der t-Verteilung nach „Student“	74
10.6	Abkürzungsverzeichnis.....	75
10.7	Inhaltsübersicht der beigefügten DVD	77

10.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: „Signalempfang“ einer GNSS-Antenne	1
Abb. 1.2: Zusammenhang von ellipsoidischer- und Normal-Höhe	3
Abb. 2.1: Leica Antenne AT504 GG	4
Abb. 2.2: Leica Receiver GX1230 GG mit Modem	4
Abb. 2.3: Leica Nivellier Wild NA3000	5
Abb. 2.4: Stative mit Aufbau	5
Abb. 2.5: Leica Nivellierlatte mit Spinne	6
Abb. 2.6: Klappspaten, Feldbuchrahmen, Kompass	6
Abb. 2.7: Antennenhöhe und ARP	7
Abb. 2.8: Instrumentenhöhe des Nivellier	9
Abb. 2.9: Abstand zwischen Instrumentenhöhe und ARP	9
Abb. 3.1: Vermarkung mit Landeshöhenbolzen	16
Abb. 3.2: Vermarkung mit Stehbolzen.....	16
Abb. 3.3: Vermarkung mit Stehniete	16
Abb. 3.4: Vermarkung mit Pfeilerbolzen	17
Abb. 3.5: Vermarkung mit Pfeilerniete	17
Abb. 4.1: Blattschnitte der TK25 im Bayern Atlas	19
Abb. 4.2: Kennzeichnung der höchsten Stelle der Punkt-Marke (hier Stehbolzen)	21
Abb. 4.3: Darstellung der gemessenen Punkte in Google Earth	23
Abb. 5.1: Auswerteparameter in LGO	24
Abb. 5.2: Abgriff der ersten 20 Minuten einer Vier-Stunden-Messung im Satelliten- fenster von LGO	27
Abb. 6.1: Punkte im Bergland (Google Earth)	37
Abb. 6.2: Abschattung Punkt 8338-192	38
Abb. 6.3: Punkte im Hügelland (Google Earth)	43
Abb. 6.4: Abschattung Punkt 8136-48	44
Abb. 6.5: Abschattung Punkt 8136-102	45
Abb. 6.6: Abschattung Punkt 8237-119	46
Abb. 6.7: Punkte im Flachland (Google Earth)	50
Abb. 6.8: Abschattung und Vermarkung Punkt 8036-1068	51
Abb. 7.1: 3D-Szene des Gebiets Alpenrand	65

10.2 Tabellenverzeichnis

Übersicht der Analysetabellen

Alpenrand

• RTK.....	37
• RTK (ohne Ausreißer).....	38
• PP: Elevation 15°	39
• PP: Elevation 15° (ohne Ausreißer)	39
• PP: Elevation 10°	40
• PP: Elevation 10° (ohne Ausreißer)	40
• PP: Elevation 15° / Geoid-Modul 2007.....	41
• PP: Elevation 15° / ohne Antennenkalibrierung	41
• PP: Elevation 15° / Navigationslösung (ohne VRS)	42

Hügelland

• RTK.....	43
• RTK (ohne Ausreißer).....	44
• PP: Elevation 15°	45
• PP: Elevation 15° (ohne Ausreißer)	46
• PP: Elevation 10°	47
• PP: Elevation 10° (ohne Ausreißer)	47
• PP: Elevation 15° / Geoid-Modul 2007.....	48
• PP: Elevation 15° / ohne Antennenkalibrierung	48
• PP: Elevation 15° / Navigationslösung (ohne VRS)	49

Flachland

• RTK.....	50
• RTK (ohne Ausreißer).....	51
• PP: Elevation 15°	52
• PP: Elevation 15° (ohne Ausreißer)	52
• PP: Elevation 10°	53

- PP: Elevation 10° (ohne Ausreißer) 53
- PP: Elevation 15° / Geoid-Modul 2007 54
- PP: Elevation 15° / ohne Antennenkalibrierung 54
- PP: Elevation 15° / Navigationslösung (ohne VRS) 55

Alle Punkte

- RTK (ohne Ausreißer) 56
- PP: Elevation 15° (ohne Ausreißer) 57
- PP: Elevation 10° (ohne Ausreißer) 58

Vier-Stunden-Messungen

- Ergebnisse aus vier Stunden 62
- Ergebnisse aus den 2x 20 Minuten-Abgriffen 62

10.3 Diagrammverzeichnis

- Diagramm 6.1: Standardabweichung σ der einzelnen Messreihen für die Elevation
10° und 15° 60
- Diagramm 6.2: Standardabweichung σ der einzelnen Messreihen für RTK und
die Elevation 15° 61

10.4 Verwendete Software

- CRSLoge, Version 3.3.3
- Esri ArcScene, Version 10.1 (ArcGIS 10.1 SP1 for Desktop)
- geoid, Version 1.03
- LEICA Geo Office, Version 8.2.0.0
- Microsoft Image Composite Editor, Version 1.4.4.0

10.5 Tabelle der t-Verteilung nach „Student“

Die Quantile der t-Verteilung wurden mit Excel berechnet.

f	P	0,900	0,925	0,950	0,975	0,9875	0,990	0,995	0,999	0,9995
1		3,0777	4,1653	6,3137	12,7062	25,4519	31,8210	63,6559	318,288	636,577
2		1,8856	2,2819	2,9200	4,3027	6,2054	6,9645	9,9250	22,3285	31,5998
3		1,6377	1,9243	2,3534	3,1824	4,1765	4,5407	5,8408	10,2143	12,9244
4		1,5332	1,7782	2,1318	2,7765	3,4954	3,7469	4,6041	7,1729	8,6101
5		1,4759	1,6994	2,0150	2,5706	3,1634	3,3649	4,0321	5,8935	6,8685
6		1,4398	1,6502	1,9432	2,4469	2,9687	3,1427	3,7074	5,2075	5,9587
7		1,4149	1,6166	1,8946	2,3646	2,8412	2,9979	3,4995	4,7853	5,4081
8		1,3968	1,5922	1,8595	2,3060	2,7515	2,8965	3,3554	4,5008	5,0414
9		1,3830	1,5737	1,8331	2,2622	2,6850	2,8214	3,2498	4,2969	4,7809
10		1,3722	1,5592	1,8125	2,2281	2,6338	2,7638	3,1693	4,1437	4,5868
12		1,3562	1,5380	1,7823	2,1788	2,5600	2,6810	3,0545	3,9296	4,3178
14		1,3450	1,5231	1,7613	2,1448	2,5096	2,6245	2,9768	3,7874	4,1403
16		1,3368	1,5121	1,7459	2,1199	2,4729	2,5835	2,9208	3,6861	4,0149
18		1,3304	1,5037	1,7341	2,1009	2,4450	2,5524	2,8784	3,6105	3,9217
20		1,3253	1,4970	1,7247	2,0860	2,4231	2,5280	2,8453	3,5518	3,8496
24		1,3178	1,4871	1,7109	2,0639	2,3909	2,4922	2,7969	3,4668	3,7454
25		1,3163	1,4852	1,7081	2,0595	2,3846	2,4851	2,7874	3,4502	3,7251
27		1,3137	1,4817	1,7033	2,0518	2,3734	2,4727	2,7707	3,4210	3,6896
28		1,3125	1,4801	1,7011	2,0484	2,3685	2,4671	2,7633	3,4082	3,6739
30		1,3104	1,4774	1,6973	2,0423	2,3596	2,4573	2,7500	3,3852	3,6460
35		1,3062	1,4718	1,6896	2,0301	2,3420	2,4377	2,7238	3,3400	3,5911
40		1,3031	1,4677	1,6839	2,0211	2,3289	2,4233	2,7045	3,3069	3,5510
45		1,3007	1,4645	1,6794	2,0141	2,3189	2,4121	2,6896	3,2815	3,5203

10.6 Abkürzungsverzeichnis

ADBV	Amt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung
AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland
ARP	Antennenreferenzpunkt
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
DGM25	Digitales Geländemodell mit einer Gitterweite von 25 Metern
DGPS	Differential Global Positioning System
DHDN90	Deutsches Hauptdreiecksnetz 1990
DHHN12	Deutsches Haupthöhennetz 1912
DHHN92	Deutsches Haupthöhennetz 1992
DOP200	Digitales Orthophoto mit einer Bodenpixelgröße von zwei Metern
DREF91	Deutsches Referenznetz 1991
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
GCG2011	German Combined Quasigeoid 2011
GDOP	Geometrical Dilution of Precision
GK4	Gauß-Krüger Koordinaten, bezogen auf den 4. Meridianstreifen
GLONASS	Globalnaja nawigazionnaja sputnikowaja sistema (globales Satellitennavigationssystem Russlands)
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPPS	Geodätischer Postprocessing Positionierungsservice (SAPOS)
GPS	Global Positioning System
GRS80	Geodetic Reference System 1980
GSM	Global System for Mobile Communications
HEPS	Hochpräziser Echtzeit Positionierungsservice (SAPOS)
HFP	Höhenfestpunkt
IfE	Institut für Erdmessung der Leibniz Universität Hannover
IGS	International GNSS Service
LB	Landeshöhenbolzen
LDBV	Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung
LGO	Leica Geo Office

MESZ	Mitteleuropäische Sommerzeit
MEZ	Mitteleuropäische Zeit
NAVSTAR GPS	Navigation System with Timing And Ranging - Global Positioning System
Niv	Nivellement
NivP	Nivellementpunkt
NivP(1)	Nivellementpunkt 1. Ordnung (auch 2., 3. Und 4. Ordnung)
Ntrip	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
PB	Pfeilerbolzen
PN	Pfeilerniete
PP	Postprocessing
PZO	Phasenzentrumsoffset
PZV	Phasenzentrumsvariationen
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Services
RTK	Real Time Kinematik (Echtzeitmessung)
SAPOS	Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung
SB	Stehbolzen
SN	Stehniete
TIN	Triangulated Irregular Network (Dreiecksvermaschte Oberfläche)
TK25	Topographische Karte im Maßstab 1:25.000
UTC	Universal Time Coordinated (Koordinierte Weltzeit)
VDOP	Vertical Dilution of Precision
VRS	Virtuelle Referenzstation
WGS84	World Geodetic System 1984

10.7 Inhaltsübersicht der beigefügten DVD

- **Analyse**
 - Auswertung der Messreihen (5 Tabellenblätter für Alpenrand, Hügelland, Flachland, Gesamt und 4-Stunden-Messungen)
- **ArcScene**
 - **ArcScene_Dateien**
Dateien, die zur Darstellung der 3D-Szenen benötigt werden
 - **DOP200**
Digitale Orthophotos
 - SXD-Dateien zur Darstellung der 3D-Szenen (Voraussetzung: ArcScene)
- **Auswertergebnisse**
 - Bearbeitete Text-Dateien mit den Ergebnissen aus LGO und geoid. Angabe von Punktnummer, Breite, Länge, ellipsoidischer Höhe, Quasigeoidhöhe, berechneter Normalhöhe und Standardabweichung s_h
- **Bachelorarbeit**
 - Bachelorarbeit als Word- und PDF-Datei
- **Datenblaetter_NivP**
 - Datenblätter der gemessenen Nivellementpunkte (geordnet nach Gebiet, mit Punktnummer als Dateiname)
- **Eidesstattliche_Erklaerung**
 - Eidesstattliche Erklärung als PDF-Datei
- **Fotos**
 - **Einzeln**
Fotos zur Dokumentation der Abschattung (geordnet nach Gebiet und Punktnummer, vereinzelt mit Fotos der Vermarkung)
 - **Panorama**
Panoramafotos zur Dokumentation der Abschattung (geordnet nach Gebiet, mit Punktnummer als Dateiname)

- **Google Earth**
 - KML-Datei mit den gemessenen Punkten
 - Legende zur Darstellung in Google Earth

- **Kurzfassung_Internet**
 - Kurzfassung für das Internet als Word-Datei
 - **Fotos**
Fotos zur Repräsentation im Internet

- **LGO_Berechnungsprotokolle**
 - Protokolle aus LGO für die Elevation 10°, 15° und für die beiden Abgriffe

- **Messformulare**
 - Erfassung von Daten bei den Messungen (Datum, Antennenhöhe, ...), in Original und Maschinenschrift

- **Rohdaten**
 - **Antennenkalibrierungen**
Kalibrierwerte der verwendeten Antennen
 - **DBX**
Rohdaten der GNSS-Messungen
 - **VRS**
Korrekturdaten von SAPOS-GPPS (geordnet nach Gebiet und Punktnummer, zweifach für Doppelmessung)

- **Zusammenfassung**
 - Autorenreferat als PDF-Datei

11 Eidesstattliche Erklärung

Erklärung

gemäß § 15 Abs. 5 APO in Zusammenhang mit § 35 Abs. 7 RaPO

Name: Traurig
Vorname: Josef
Geburtsdatum: 06.01.1984
Studiengang: Geoinformatik und Satellitenpositionierung
Studiengruppe: G7
Matrikel-Nr.: 02546910
Wintersemester: 2013/2014
Betreuer: Prof. Dr. Georg Lothar

Hiermit erkläre ich, dass ich die Bachelorarbeit selbständig verfasst, noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benutzt, sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

München, den 10.04.2014
Ort, Datum


Unterschrift