



Gernot Kainz, BSc.

GNSS-Positionsbestimmung

**Anhand von Rohdaten aus einem mobilen Endgerät im
Rahmen der Forstinventur im Wald**

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Geomatics Science

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Ass.Prof. Dipl.-Ing (FH) Dr.techn. Johannes Scholz

Institut für Geodäsie

Graz, Januar 2020

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

AFFIDAVIT

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.

Datum / Date

Unterschrift / Signature

ABSTRACT

The Position estimation via Satellites is a normal procedure these days. But the quality of the solution of the position depends on several factors. On the one hand the used receiver respectively the used antenna as well as the processing of the raw data is essential for the calculated position, on the other hand the terrain and direct surrounding of the location of the point. For the useful application MOTI, which was developed from FH Bern and is currently used for stocktaking tree population, should a position estimation via GNSS be implemented. The position estimation in the forest is, because of the difficult surroundings and concomitant impacts to the signal, only with losses in accuracy realizable. Is furthermore a low cost receiver used, like it is integrated into smartphones and tablets, more losses into accuracy have to take into account. A stocktaking of the tree population with a smartphone application implies both difficult conditions.

As of recently some smartphones, at least Android version 7.0, allows the direct use of GNSS raw data from its receiver. This implements the possibilities to calculate a own solution for position estimating and for the use of external software. In this master thesis a own solution for calculating the position via raw data is realized. Furthermore the raw data will be evaluated with RTKLIB. Additional a relative position estimation with a second high end receiver, which will be used outside the forest, will be tested. All solutions, including the own processed, will be compared. So that the calculated solution can be applied to mobile terminal equipment, an application on Android version 8.0 (Oreo) is realised. In this application the position as well as quality parameters will be shown. As a matter of course the calculated positions will be exported for further use.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Positionsbestimmung mittels Satelliten ist in der heutigen Zeit eine gängige Praxis. Die Qualität der Positionslösung hängt jedoch sehr stark von mehreren Faktoren ab. Einerseits ist der verwendete Receiver beziehungsweise die verwendete Antenne ausschlaggebend, sowie die Prozessierung der gemessenen Rohdaten, andererseits spielt die Lage und direkte Umgebung des Empfängers eine große Rolle. Für die bestehende Applikation MOTI, welche von der Fachhochschule Bern entwickelt wurde und zur Inventur von Baumbeständen verwendet wird, soll nun eine Positionsbestimmung mittels GNSS implementiert werden. Die Positionsbestimmung im Wald ist aufgrund der erschwerten Umgebungsbedingung und der dadurch einhergehenden Signaleinflüsse nur mit Abschlägen in der Genauigkeit realisierbar. Wird weiters ein Low-Cost-Empfänger, wie er in Smartphones beziehungsweise in Tablets integriert ist, verwendet, sind weitere Einbußen in der Genauigkeit hinzunehmen. Die Inventur von Baumbeständen mittels Smartphone Applikation bringt beide erschwerten Bedingungen mit sich.

Seit kurzem ermöglichen einige Endgeräte, ab der Android Version 7.0, den direkt Zugriff auf die Rohdaten des Empfängers. Dies bringt die Möglichkeit mit sich, eine eigene Lösung zur Positionsbestimmung zu berechnen sowie Auswertesoftware zu benutzen. Im Rahmen dieser Masterarbeit wird eine eigene Lösung zur Positionsbestimmung mittels Rohdaten realisiert. Hinzukommend werden die Rohdaten mit der lizenzfreien Software RTKLIB ausgewertet. Weiters wird eine relative Positionsbestimmung durchgeführt. Hierfür wird eine High-Cost Antenne als Referenzstation außerhalb des Waldes verwendet. Diese Lösungen, inklusive der Lösung des Endgerätes, werden anschließend untereinander verglichen.

Damit die berechnete Lösung auf einem mobilen Endgerät verwendet werden kann, wird eine Applikation auf Basis von Android 8.0 (Oreo) umgesetzt. In dieser werden die Position sowie diverse Qualitätsparameter ersichtlich sein. Selbstverständlich werden die berechneten Positionen exportiert, um diese weiterverwenden zu können.

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich bei der erfolgreichen Umsetzung der Masterarbeit unterstützt haben. Zuerst gebührt mein Dank Herrn Ass.Prof. Dipl.-Ing (FH) Dr.techn. Johannes Scholz, für seine Geduld, Begutachtung sowie konstruktiven Kritiken im Laufe der Entstehung dieser Masterarbeit. Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Christian Rosset, Dozent für Waldbau und forstliche Planung der Fachhochschule Bern sowie bei Herrn Stefan Flückiger, Forstmeister der Burgergemeinde Bern bedanken. Durch Ihr Interesse an einer möglichen verbesserten Positionslösung im bewaldeten Gebiet, sowie der Bereitstellung eines mobilen Endgerätes wurde diese Arbeit erst möglich gemacht.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Gerald Fuxjäger, für das Ausleihen der Messgeräte, sowie bei Fam. Sammer, für die Möglichkeit die Testmessungen auf ihrem Grund und Boden durchführen zu dürfen.

Ein großer Dank gebührt meinen Studienkollegen. Insbesondere möchte ich mich bei Mathias, Max, Stefan und Uroš für den tollen Zusammenhalt und Unterstützung während des Studiums bedanken. Des Weiteren möchte ich mich noch bei Christoph und Patrick bedanken, welche mir bei Fragen zur Programmierung stets weiterhelfen konnten.

Zu guter Letzt möchte ich noch einen großen Dank an meine Familie aussprechen. Zum Einen an meine Eltern, welche immer Zeit finden wenn es um ihre Enkel geht. Zum Anderen an meine Söhne Gerwin und Erik sowie meiner Lebensgefährtin Katrin, für die Unterstützung.

INHALTSVERZEICHNIS

Abkürzungsverzeichnis	xv
1 Einleitung und Motivation	1
1.1 MOTI	3
1.2 Umriss der Arbeit	3
1.3 State of the Art	4
1.3.1 GPS im Wald	4
1.3.2 Mobile Endgeräte und Rohdatenprozessierung mit Android	4
2 Grundlagen zur Satellitengestützten Positionsbestimmung	5
2.1 Ausgleich nach kleinsten Quadrate	7
3 GNSS Rohdaten auf Android Geräten	11
3.1 Empfangen der Rohdaten	11
3.2 Android Location API	12
3.3 Navigation Message	15
4 Positionsbestimmung mittels Rohdaten	17
4.1 Satellitenposition	17
4.1.1 Berechnung der Satellitenposition	20
4.1.2 Satellitenposition im ECEF	22
4.2 Einfluss der Atmosphäre auf das Signal	23
4.2.1 Berechnen von Elevation und Azimuth zum Satelliten	24
4.2.2 Ionosphäreneinfluss	24
4.2.3 Troposphäreneinfluss	27
4.3 Berechnen der Receiverposition	28
5 Software Implementierung	31
5.1 JAVA Implementierung mittels Android Studio	31
5.2 Softwarestruktur	32
5.2.1 MainActivity	33
5.2.2 DataHandler	35
5.2.3 GpsSat	36
5.2.4 ReceiverCoordinates	36
5.2.5 CalcEpoch	36
5.2.6 ActivityQuality	38
5.3 Design	40

5.3.1	MainActivity	41
5.3.2	ActivityQuality	43
6	Herstellung von Referenzpunkten	47
6.1	Testgebiet	47
6.2	Transformation	49
6.3	Vermarkung der Referenzpunkte	51
7	Ergebnisse und Interpretation der Messungen	57
7.1	Messergebnisse am Straßenreferenzpunkt	58
7.2	Messergebnisse am Referenzpunkt im Wald	68
7.3	Ergebnisse der DGPS-Messung	79
7.4	Interpretation zu den unterschiedlichen Positionslösungen . .	81
7.5	Ausblick	82
	Bibliography	85
	Anhang	87
A	Festpunkte ETRS89 & MGI	87
A.1	ETRS89	87
A.2	MGI	92
B	Protokoll der Transformation	97
C	Berechnungsprotokoll	100
D	Software	108

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

1.1	Ablauf zur Beantwortung der Forschungsfrage.	2
2.1	Bogenschnitt in der Ebene.	5
2.2	Zweidimensionale pseudorange Positionierung Quelle: (Hofmann-Wellenhof et al., 2008).	6
3.1	Allgemeine Darstellung einer GNSS Antenne in mobilen End- geräten, Quelle: (European GNSS Agency et al., 2017).	12
4.1	Keplerorbit.	18
4.2	Orbitansicht in der Bahnebene.	19
4.3	Schiefe und vertikale Verzögerung.	25
5.1	Main Activity in der Entwicklungsumgebung und am mobilen Endgerät.	42
5.2	QualityActivity beim Start der Applikation und bei laufenden Betrieb.	45
6.1	Großraumlage des Testgebietes.	48
6.2	Kleinraumlage des Testgebietes.	49
6.3	Lage der Festpunkte.	51
6.4	Referenzpunkt im Wald.	53
6.5	Stabilisierung des Referenzpunktes.	54
6.6	Referenzpunkt für DGPS Messung.	55
7.1	Darstellung des Messergebnisses inklusive statistischer Werte.	58
7.2	Messverteilung der Applikation am Straßenreferenzpunkt (ID 2 & ID 3).	61
7.3	Messverteilung der Applikation am Straßenreferenzpunkt (ID 4 & ID 7).	62
7.4	Messverteilung der Built-in Lösung am Straßenreferenzpunkt (ID 9 & ID 10).	63
7.5	Messverteilung der Built-in Lösung am Straßenreferenzpunkt (ID 11 & ID 12).	64
7.6	Häufigkeiten der einzelnen Messwerte der Applikation am Re- ferenzpunkt der Straße.	66
7.7	Häufigkeiten der einzelnen Messwerte der Built-in Lösung am Referenzpunkt der Straße.	67

7.8	Messverteilung der Applikation am Referenzpunkt im Wald (ID 14 & ID 19).	71
7.9	Messverteilung der Applikation am Referenzpunkt im Wald (ID 21 & ID 22).	72
7.10	Messverteilung der Built-in Lösung am Referenzpunkt im Wald (ID 23 & ID 24).	74
7.11	Messverteilung der Built-in Lösung am Referenzpunkt im Wald (ID 25 & ID 26).	75
7.12	Häufigkeiten der einzelnen Messwerte der Applikation am Referenzpunkt im Wald.	77
7.13	Häufigkeiten der einzelnen Messwerte der Built-in Lösung am Referenzpunkt im Wald.	78
7.14	Messergebnisse DGPS-Messung.	80

TABELLENVERZEICHNIS

3.1	Android Klasse GnsClock und dazugehörige Rohdaten . . .	13
3.2	Android Klasse GnsMeasurements und dazugehörige Rohdaten	14
4.1	Meteorologische Parameter für den Einfluss der Troposphäre	28
6.1	Festpunkte im MGI und ETRS89	50
6.2	Referenzpunkte im ETRS89	52
7.1	Ergebnisse der Messungen am Straßenreferenzpunkt	59
7.2	Mittelwerte der statistischen Kennzahlen am Straßenreferenzpunkt	59
7.3	Ergebnisse der Messungen am Referenzpunkt im Wald	69
7.4	Mittelwerte der statistischen Kennzahlen am Referenzpunkt im Wald	69
7.5	Ergebnis der DGPS-Messung	80
7.6	Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden am Referenzpunkt im Wald	81

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

- AEE** Average Euclidean Error
- AGC** Automatic Gain Control
- API** Application Programming Interface
- BEV** Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
- BMN** Bundesmeldenetz
- CDDIS** Crustal Dynamics Data Information System
- CE** Central Error
- C/N₀** Carrier-to-noise density
- DGPS** Differential Global Positioning System
- ECEF** Earth Centered Earth Fixed
- ESA** European Space Agency
- ETRS89** Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989
- FH Bern** Fachhochschule Bern
- FTP** File Transfer Protocol
- GPS** Global Positioning System
- GNSS** Global Navigation Satellite System
- IPP** Ionospheric Pierce Point
- KG** Katastralgemeinde
- MGI** Militärgeographisches Institut
- MOTI** Mobile Timber Cruise
- NASA** National Aeronautics and Space Administration
- PVT** Position Value Time
- RINEX** Receiver Independent Exchange Format

RMSE Root Mean Square Error

RTK Real Time Kinematics

SBAS Satellite-Based Augmentation System

SPP Single Point Position

TU Graz Technische Universität Graz

WGS World Geodetic System

KAPITEL 1

EINLEITUNG UND MOTIVATION

Die mobile Applikation Mobile Timber Cruise (MOTI), ist eine Android-Applikation welche von der Fachhochschule Bern (FH Bern) entwickelt wurde. Mit dieser Applikation ist es möglich eine stichprobenartige Inventur des Waldbestandes durchzuführen. Die FH Bern ist mit der Frage an die Technische Universität Graz (TU Graz) herangetreten, ob es möglich wäre, eine Positionsbestimmung mittels Global Navigation Satellite System (GNSS) zu implementieren. Die Zuordnung einer Position zur Stichprobe ist dadurch möglich. Dies ist notwendig um in einer erneuten Inventur die selbe Position wieder zu finden und eine erneute Aufnahme durchführen zu können. Ein Vergleich der Daten an selben Positionen in unterschiedlichen Epochen gewährt Rückschlüsse auf die Entwicklung des Waldes und stellt somit für Forstwirte ein wichtiges Instrument dar.

Seit Android 7.0 ist der Zugriff auf die Rohdaten des Empfängers in mobilen Endgeräten, falls diese dies auch hardwaretechnisch unterstützen, möglich. Aufgrund dieser Möglichkeit kann eine eigene Single Point Position (SPP) Lösung gerechnet werden. Somit ist eine Abhängigkeit der internen Smartphone-Lösung nicht mehr gegeben. Um die bestmögliche Positionslösung in MOTI zu integrieren, ist eine Untersuchung notwendig, welche die selbst gerechnete Position aus Rohdaten, gegenüber der Smartphone internen Lösung, vor allem im Wald untereinander vergleicht. Auch eine differentielle Positionsbestimmung soll untersucht werden. Hierfür wird ein zweiter hochklassiger GNSS-Rover als Basisstation verwendet. Das Flowchart in Abbildung 1.1 soll dies verdeutlichen.

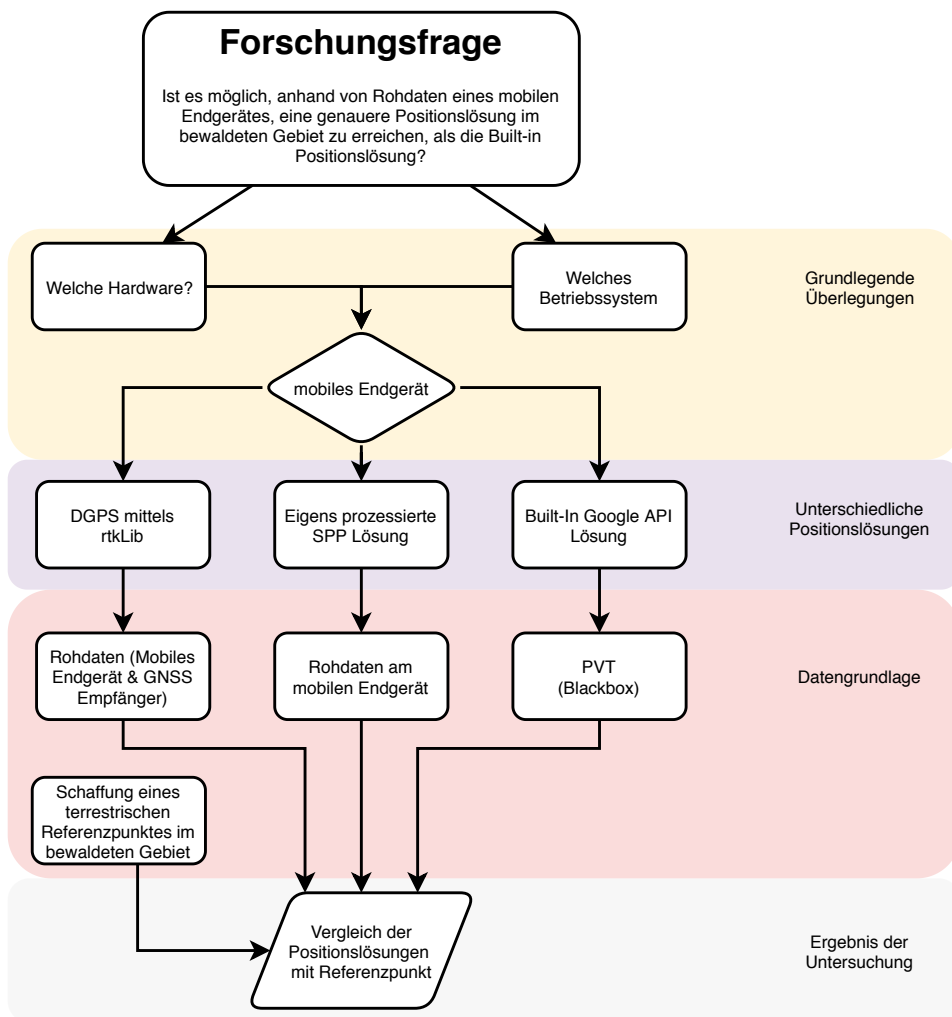


Abbildung 1.1: Ablauf zur Beantwortung der Forschungsfrage.

Da die Positionslösung auch Informationen zur Qualität der berechneten Position beinhalten soll und der Endverbraucher, auch ohne spezielle Fachkenntnis in Geodäsie, die Daten verstehen und korrekt interpretieren soll, ist eine anschauliche Aufbereitung der Daten und visuelle Präsentation dieser notwendig.

Die Arbeit mit GNSS Rohdaten ist ein sehr aktuelles Thema. Des Weiteren stellt die Aussicht auf eine Implementierung der Lösung in die bestehende Applikation und somit ein aktives Arbeiten mit der erreichten Lösung eine große Motivation für mich dar.

1.1 MOTI

MOTI ist eine Applikation welche von der FH Bern entwickelt wurde. Diese Android-Applikation ermöglicht es, mit Hilfe des Smartphones oder Tablets, eine einfache und bequeme Erfassung wesentlicher Merkmale des Waldzustandes durchzuführen. Mit der eingebauten Kamera werden mittels photogrammetrischer Methoden Merkmale wie Grundfläche, Stammzahl, Baumhöhe, und der Vorrat als Einzelmessung ermittelt. Durch die Applikation wird eine Entscheidungsgrundlage direkt vor Ort zur Verfügung gestellt. Durch die Möglichkeit Stichproben aufzunehmen bietet die Applikation eine weitere Methode für die Datenaufnahmen von Forstinventuren.

1.2 UMRISS DER ARBEIT

Im ersten Kapitel wird auf die wissenschaftliche Fragestellung eingegangen, sowie ein kurzer Überblick zum derzeitigen Stand der Dinge gegeben. Weiter wird ausgeführt, warum es wichtig ist, eine Positionsbestimmung in die mobile Applikation MOTI zu integrieren. Im zweiten Kapitel werden die Grundlagen der satellitengestützten Positionsbestimmung erläutert. In Kapitel drei wird auf die Rohdaten der Android Geräte eingegangen. Hier werden die Klassen erläutert und jene Methoden und Klassen näher erläutert, welche für die Implementierung verwendet wurden. Kapitel vier widmet sich der generellen Methode zur Positionsbestimmung mittels Rohdaten. In diesem umfangreichen Kapitel wird die Art und Weise der Positionsbestimmung inklusive Formeln beschrieben. Des Weiteren wird in diesem Kapitel der Einfluss der Atmosphäre thematisiert. In Kapitel fünf wird die Implementierung der Formeln und Überlegungen in die Software beschrieben. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei auf der Umsetzung in Java. Das Kapitel gliedert sich zum einen in die Struktur der Software und zum anderen in die optische Umsetzung, dem Design. Kapitel sechs beschreibt die Herstellung der Referenzpunkte im Testgebiet. Die Schaffung dieser Punkte ist notwendig, um die Ergebnisse im bewaldeten Gebiet hinsichtlich Ihrer Qualität bewerten zu können. In Kapitel sieben werden die Ergebnisse der Messungen präsentiert. Es werden drei verschiedene Lösungen miteinander verglichen. Zum einen die eigens berechnete Lösung anhand der Rohdaten, des weiteren die built-in Lösung des mobilen Endgerätes sowie eine Differential Global Positioning System (DGPS) Lösung. Des Weiteren widmet sich dieses Kapitel der Interpretation der Ergebnisse. Die einzelnen Lösungen werden analysiert und diskutiert sowie ein Ausblick auf weitere Möglichkeiten zur Positionsbestimmung besprochen.

1.3 STATE OF THE ART

Es gibt bereits Untersuchungen von “low-cost“ GNSS beziehungsweise Global Positioning System (GPS) Empfängern im Waldgebiet. Des weiteren wurden auch bereits Rohdaten aus mobilen Endgeräten prozessiert. Jedoch fehlt bis dato die Verbindung dieser beiden Untersuchungen.

1.3.1 *GPS im Wald*

In einer älteren Veröffentlichung (Rodríguez-Pérez et al., 2007) wird gezeigt, dass erkennbare Qualitätsunterschiede zwischen den low-cost Receivern vorliegen. Des weiteren kann nachgewiesen werden, dass der Bedeckungsgrad des Waldes einen Einfluss auf das Ergebnis hat.

Eine Untersuchung über eine kostengünstige GPS-Positionslösung für Anwendungen im Wald (Danskin et al., 2009) zeigt, dass das Ergebnis ebenfalls sehr stark von der Hangneigung und der Bedeckung des Waldes abhängt.

In einer weiteren Studie über die Präzision von GPS-Messungen im Wald (Drosos et al., 2012), werden zwei Garmin Empfänger in der Umgebung des Waldes zueinander verglichen. Hier konnte ein signifikanter Unterschied zwischen dem qualitativ hochwertigeren Gerät und dem low-cost Empfänger nachgewiesen werden.

Wie schon bei den zuvor erwähnten Artikeln wird bei geringem Bedeckungsgrad im Wald eine präzisere Positionslösung berechnet. Ein ähnliches Ergebnis war aus der Studie (Tetsuhiko et al., 2003) zu entnehmen. In dieser Studie wurde für präzisere Anwendungen auf die DGPS Methode verwiesen.

1.3.2 *Mobile Endgeräte und Rohdatenprozessierung mit Android*

Mittlerweile sind auch einige Genauigkeitsuntersuchungen von mobilen Endgeräten durchgeführt worden. In einer Studie (Lee et al., 2014) wird der Root Mean Square Error (RMSE), Central Error (CE) und der Average Euclidean Error (AEE) verschiedener beliebter Endgeräte verglichen. In einer weiterführenden Studie aus dem Jahr 2016, (Lee et al., 2016), wurden erneut Mobiltelefone und Tablets mit der selben Methode untersucht.

In einem Artikel (Benville et al., 2016), veröffentlicht auf www.gpsworld.com, wird gezeigt, dass durch Rohdaten-Messungen eine Genauigkeit im Meterbereich möglich ist. Hierfür muss jedoch die Trägerphasenmessung herangezogen werden. Diese wird nicht bei allen mobilen Endgeräten unterstützt.

KAPITEL 2

GRUNDLAGEN ZUR SATELLITENGESTÜTZTEN POSITIONSBESTIMMUNG

Das Grundprinzip der Positionsbestimmung mittels Satelliten ist die Streckenmessung. Um dieses Prinzip zu verdeutlichen, wird zuerst der einfache Fall in der Ebene betrachtet. Die Bestimmung eines Neupunktes in der Ebene mittels Streckenbeobachtungen ist in der Geodäsie unter dem Begriff "Bogenschnitt" bekannt. Hierbei werden von bekannten Punkten aus Distanzen zu einem Neupunkt beobachtet. Durch diese Distanzen entstehen zwei Kreise, welche sich schneiden. Im Regelfall ergibt dies immer zwei mögliche Neupunkte. In der Ebene ist deshalb die Konfiguration der Beobachtungen aufzuzeichnen.

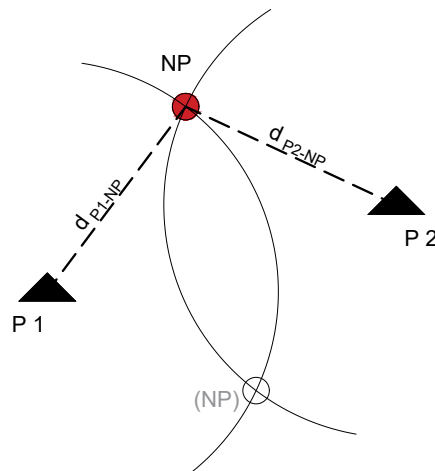


Abbildung 2.1: Bogenschnitt in der Ebene.

Wird eine Position im Raum bestimmt sind zumindest drei Kugelschalen notwendig, welche zum Schnitt gebracht werden. Dies ergibt ein Gleichungssystem von drei Beobachtungen und drei unbekannte Koordinaten. Im Fall der Positionsbestimmung mittels Global Navigation Satellite System (GNSS) wird jedoch die Distanz nicht direkt beobachtet. Diese wird

durch die Signallaufzeit vom Satelliten zum Empfänger gerechnet. Dies bedeutet es kommt der Uhrenfehler als eine weitere unbekannte Größe hinzu. In der Literatur (Hofmann-Wellenhof et al., 2008) ist dies umfangreich beschrieben. Hierbei ist jedoch nur der Empfängeruhrenfehler zu berücksichtigen, da die Satellitenuhren zumeist als Wasserstoff-Maser-Uhren ausgeführt sind und als bekannt vorauszusetzen sind. Der bekannte Satellitenuhrenfehler wird als Uhrenpolynom mit der “Navigation Message“ übermittelt. Die Gleichung für die Beobachtung der Pseudorange kann wie folgt beschrieben werden

$$R_r^s(t) = \varrho_r^s(t) + c\Delta\delta_r^s(t). \quad (2.1)$$

mit

$$\varrho_r^s(t) = \sqrt{(X^s(t) - X_r)^2 + (Y^s(t) - Y_r)^2 + (Z^s(t) - Z_r)^2} \quad (2.2)$$

Wobei in δ_r^s die Fehler zusammengefasst sind. Den größten Anteil hiervon geht auf den Uhrenfehler zurück. Weitere Fehler wie relativistische Effekte, Wind-up Effekte und ähnliche, sind in der Größenordnung für die Positionsbestimmung mittels Code und Antennenqualität nicht relevant und werden nicht berücksichtigt. Die Variable c steht für die Lichtgeschwindigkeit. Vereinfacht kann das Prinzip im zweidimensionalen wie folgt dargestellt werden.

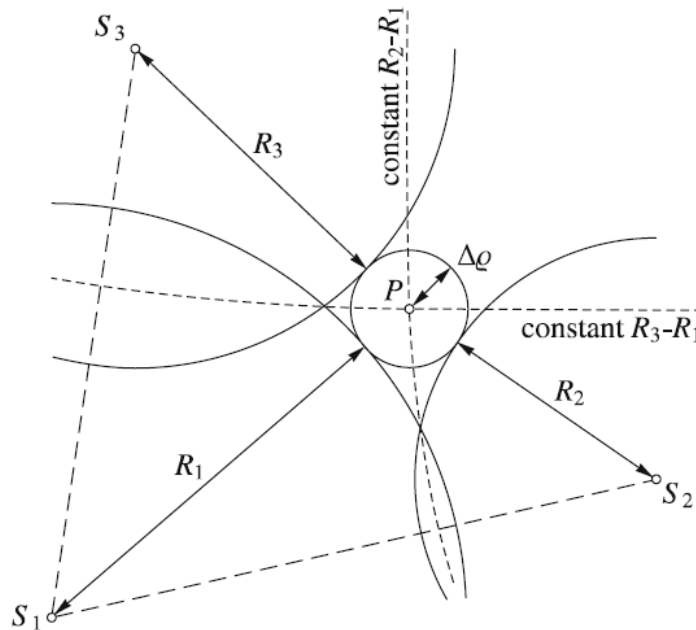


Abbildung 2.2: Zweidimensionale pseudorange Positionierung (Hofmann-Wellenhof et al., 2008).

Die Basiskonfiguration ist folgendermaßen definiert. Die Anzahl der unbekannt Parameter muss gleich groß oder kleiner sein als jene der Beobachtungen (Hofmann-Wellenhof et al., 2008). Diese Bedingung ist ausreichend, um ein unbekanntes Gleichungssystem zu lösen, bedeutet jedoch nicht, dass es zwingend eine Lösung ergibt. Aus Gleichung 2.1 ist ersichtlich, dass drei Koordinaten für den Receiverstandpunkt sowie ein Parameter für den Uhrenfehler für jede Epoche zu bestimmen sind. Die Grundbedingung für die Lösung der Gleichung einer statischen Positionsbestimmung kann somit wie folgt mathematisch beschrieben werden

$$n_t \geq \frac{3}{n_s - 1}. \quad (2.3)$$

Hierbei beschreibt n_t die Anzahl der Epochen und n_s die Anzahl an Satelliten. Da zu jeder Epoche eine Lösung gerechnet werden soll, entspricht die Anzahl an Epochen $1n_t$. Dies bedeutet, dass für jede Epoche zumindest vier Beobachtungen ($4n_s$) vorliegen müssen. Diese Grundbedingung wurde später auch in die Software als Bedingung implementiert.

2.1 AUSGLEICH NACH KLEINSTEN QUADRATE

In der Literatur (Niemeier, 2008) wird die Ausgleichung mittels “Methode der kleinsten Quadrate“ auch “Fehlerquadratmethode“ oder “Schätzung nach L2-Norm“, als jene Methode beschrieben, welche am häufigsten für Ausgleichungsaufgaben in der Naturwissenschaft und Technik verwendet wird. Für diese Methode muss ein linearer Zusammenhang gegeben sein. Die einfache Form für gleich genaue Beobachtungen lässt sich wie folgt beschreiben

$$\hat{x} = (A^T A)^{-1} A^T l. \quad (2.4)$$

wobei A als Designmatrix oder auch Koeffizientenmatrix bezeichnet wird und l als Beobachtungsvektor. Der Vektor \hat{x} wird als Lösungsvektor für die gesuchten Parameter bezeichnet. In diesem konkreten Fall für die drei Koordinaten und den Uhrenfehler.

Die Beobachtungsgleichung 2.1 beschreibt jedoch eine nicht lineare Gleichung, da die gesuchten Parameter nur in quadratischer Form vorkommen. Die Beobachtungsgleichung wird mittels Reihenentwicklung nach Taylor

$$f(X^0 + x) = f(X^0) + \left(\frac{\partial f}{\partial X} \right)_{X=X^0} \cdot x + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial X^2} \right)_{X=X^0} \cdot x^2 + \dots \quad (2.5)$$

linearisiert. Diese Linearisierung wird nach dem ersten Glied abgebrochen. Die partiellen Ableitungen der Beobachtungsgleichung nach den gesuchten Parametern kann nun wie folgt beschrieben werden (Niemeier, 2008)

$$a_{ij} = \left(\frac{\partial f_i}{\partial X_j} \right)_{X^0}. \quad (2.6)$$

Aus der Gleichung 2.6 ist ersichtlich, dass ein Näherungswert X_0 benötigt wird, um die Reihe zu entwickeln. Weiters ist zu beachten, dass für die Beobachtungen l ebenfalls eine Zerlegung in

$$l = L - L_0 = dl \quad (2.7)$$

notwendig ist. Hier sind ebenfalls Näherungswerte für die Beobachtungen zu verwenden. Diese werden an den Entwicklungsstellen von X^0 bestimmt.

In der Implementierung wurde für die erste Iteration als Näherungswerte für die Receiverposition der Erdmittelpunkt gewählt und für c aufgrund numerischer Instabilität der Wert 1. Nach der ersten Schätzung werden die ermittelten Schätzwerte, also die Receiverkoordinaten und der Receiveruhrenfehler, als nächster Näherungswert herangezogen, um die notwendigen Iterationen gering zu halten. Die partiellen Ableitungen aus 2.6 sind wiederum direkt in der Koeffizientenmatrix

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1u} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2u} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nu} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

zu finden. Für den konkreten Fall von vier Beobachtungen zu einer Epoche kann durch die partielle Ableitung der Gleichung 2.1 die Matrix

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{X_{(t)}^1 - X_r}{\varrho_r^1} & -\frac{Y_{(t)}^1 - Y_r}{\varrho_r^1} & -\frac{Z_{(t)}^1 - Z_r}{\varrho_r^1} & c \\ -\frac{X_{(t)}^2 - X_r}{\varrho_r^2} & -\frac{Y_{(t)}^2 - Y_r}{\varrho_r^2} & -\frac{Z_{(t)}^2 - Z_r}{\varrho_r^2} & c \\ -\frac{X_{(t)}^3 - X_r}{\varrho_r^3} & -\frac{Y_{(t)}^3 - Y_r}{\varrho_r^3} & -\frac{Z_{(t)}^3 - Z_r}{\varrho_r^3} & c \\ -\frac{X_{(t)}^4 - X_r}{\varrho_r^4} & -\frac{Y_{(t)}^4 - Y_r}{\varrho_r^4} & -\frac{Z_{(t)}^4 - Z_r}{\varrho_r^4} & c \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

beschrieben werden (Hofmann-Wellenhof et al., 2008).

Die Gleichung 2.4 beschreibt die Ausgleichung für gleich genaue Beobachtungen. Wird jedoch davon ausgegangen das nicht alle getätigten Beobachtungen gleich genau sind, muss eine Gewichtsmatrix P dem System hinzugefügt werden. Man spricht nun von einem Gauß-Markov-Modell. Für unkorrelierten Beobachtungen hat P eine Diagonalstruktur.

Ein erheblicher Einfluss auf die Qualität stellt die Carrier-to-noise density (C/N_0) dar. Dieses beschreibt die Qualität des ankommenden Signals. Je kleiner der Wert, desto schwächer das Signal. Diese Werte werden als Gewichte in die Matrix

$$P = \begin{bmatrix} (C/N_0)^{s1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (C/N_0)^{s2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (C/N_0)^{s3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (C/N_0)^{s4} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

eingeführt. Der Lösungsvektor \hat{x} im Gauß-Markov-Modell kann wie folgt formuliert werden

$$\hat{x} = (A^T P A)^{-1} A^T P l. \quad (2.11)$$

Für eine detaillierte Beschreibung der Ausgleichsrechnung ist im Buch (Niemeier, 2008) oder auch (Hofmann-Wellenhof et al., 2008) nachzulesen.

KAPITEL 3

GNSS ROHDATEN AUF ANDROID GERÄTEN

Seit der Android Version 7.0 ist es möglich, Rohdaten auf mobilen Endgeräten zu Empfangen und zu Verarbeiten. Dies erfordert aber auch eine entsprechende Hardware. Einige Geräte ab dem Jahr 2016 und später bieten die Möglichkeit eines Rohdatenzugriffs. Eine Liste fast aller möglichen Geräte ist unter <https://developer.android.com> zu finden. Des Weiteren bietet das Unternehmen Google eine Applikation namens “GNSS Logger APK“ an, welche frei zum Download zur Verfügung steht. Mit dieser Applikation ist es möglich, die Rohdaten zu loggen und als Textfile zu exportieren. Mit diesem Tool wurden auch in weiterer Folge erste Rohdaten aufgezeichnet und im Postprozessing weiterverarbeitet.

3.1 EMPFANGEN DER ROHDATEN

Im mobilen Endgerät sind Software basierte Receiver implementiert. Diese bestehen aus einer low-cost Hardware, dem sogenannten Frontend und einer passenden Software. Diese Receiver wandeln das analoge Satellitensignal in ein digitales Signal um. Als Ergebnis erhält man dadurch die Rohdaten der Messungen, in digitaler Form, welche für die Auswertung und Berechnung verwendet werden können. Die Rohdaten werden des Weiteren an den Position Value Time (PVT)-Block weitergegeben. In diesem Block werden auch externe Sensoren wie Beschleunigungssensoren oder Daten von Mobilfunknetzen verwendet, um die PVT des mobilen Endgerätes zu berechnen. Im Nachfolgenden ist dieser Ablauf in der Abbildung 3.1 ersichtlich, welcher dem Whitepaper (European GNSS Agency et al., 2017) entnommen wurde.

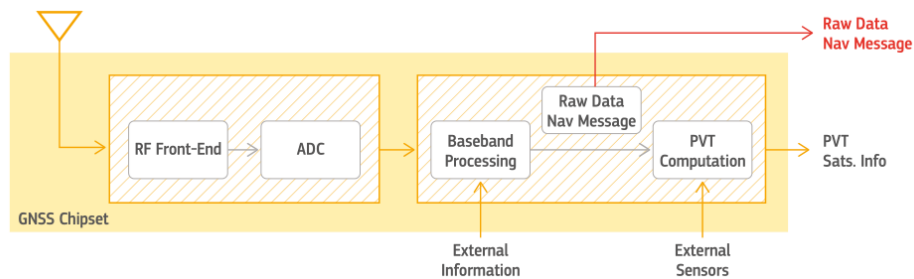


Abbildung 3.1: Allgemeine Darstellung einer GNSS Antenne in mobilen Endgeräten (European GNSS Agency et al., 2017).

Der GNSS-Chip des Smartphone oder Tablett agiert als Blackbox und man erhält nur die PVT als fertige Lösung. Diese Lösung wird auch als Smartphone interne Lösung bezeichnet. Wie in Abbildung 3.1 ersichtlich ist, ist ein Zugriff auf die Rohdaten nun möglich und kann mit der internen Lösung des Smartphones verglichen werden. Dies wurde in weiterer Folge auch durchgeführt.

3.2 ANDROID LOCATION API

Das neue Application Programming Interface (API) bietet mit `android.location` die Möglichkeit, direkt auf die Rohdaten zuzugreifen. Dies erfolgt wiederum über drei unterschiedliche Klassen. Folgende Klassen sind in der API implementiert:

- GNSS Clock
 - Receiver time
 - Clock bias
- GNSS Measurement
 - Received Satellite Time
 - Code
 - Carrier phase
- GNSS Navigation Message
 - Navigation Message bits
 - Navigation Message status

Von den drei zur Verfügung stehenden Klassen wurde die GNSS Navigation Message nicht verwendet, da bis jetzt nur wenige Hersteller diese Rohdaten unterstützen. Stattdessen wird die Navigation Message als Broadcast Ephemeris File im Receiver Independent Exchange Format (RINEX) vom Archiv der National Aeronautics and Space Administration (NASA) bezogen. Dies wird im Kapitel 3.3 ausführlich beschrieben. Aus diesem Grund findet sich auch keine Auflistung der verfügbaren Navigation Message - Rohdaten in den nachfolgenden Tabellen.

Nicht jedes Smartphone bietet sämtliche zur Verfügung stehenden Rohdaten an. In der Liste, welche unter <https://developer.android.com> angeführt ist, gibt es einen Überblick über die Daten welche vom jeweiligen Gerät zur Verfügung gestellt werden. Da nur wenige Endgeräte die Navigation Message sowie Trägerphasenmessung unterstützen wurde auf beide Implementierungen verzichtet, da die Applikation möglichst vielen Anwendern zur Verfügung stehen soll.

In Tabelle 3.1 ist die Klasse GnssClock mit den dazugehörigen Rohdaten angeführt.

Tabelle 3.1: Android Klasse GnssClock und dazugehörige Rohdaten

Methode	Beschreibung
BiasNanos	Uhrenfehler
BiasUncertaintyNanos	Unsicherheit des Uhrenfehlers (1-Sigma)
DriftNanosPerSecond	Uhrendrift
DriftUncertaintyNanosPerSecond	Unsicherheit des Uhrendrifts
ElapsedRealtimeNanos	Verstrichene Zeit seit Systemstart
ElapsedRealtimeUncertaintyNanos	Eine Schätzung der relativen Präzision zum Zeitstempel von "ElapsedRealtimeNanos" (68% Konfidenz)
TimeNanos	Global Navigation Satellite System (GNSS) Receiver interner Uhrenwert
TimeUncertaintyNanos	Unsicherheit der Uhr (1-Sigma)
FullBiasNanos	Differenz zwischen Uhr der Hardware (TimeNanos) und der tatsächlichen Global Positioning System (GPS) Zeit
HardwareClockDiscontinuityCount	Anzahl der Unterbrechungen der Uhr
LeapSecond	Zur Uhr gehörige Schaltsekunde

Neben der Klasse GncsClock wurde auch die Klasse GncsMeasurement verwendet. In Tabelle 3.2 sind die dazugehörigen Rohdaten angeführt.

Tabelle 3.2: Android Klasse GncsMeasurements und dazugehörige Rohdaten

Methode	Beschreibung
AccumulatedDeltaRangeMeters	Kummulierte Range (Phasendurchgänge)
AccumulatedDeltaRangeState	Status von AccumulatedDeltaRangeMeters. Ein Indikator ob ein Reset oder Cycle Slip vorliegt.
AccumulatedDeltaRangeUncertaintyMeters	Unsicherheit von AccumulatedDeltaRangeMeters (1-Sigma)
AutomaticGainControlLevelDb	Automatic Gain Control (AGC) Variabler Verstärker für das eingehende Signal
CarrierFrequencyHz	Frequenz des Signals
Cn0DbHz	Signal-Rausch-Verhältnis
CodeType	Type des GNSS-Codes
ConstellationType	Typ des GNSS-Systems (GPS, Galileo,...)
MultipathIndicator	Indikator für das Vorliegen eines "Multipath event"
PseudoRangeRateMetersPerSecond	Pseudorange zum aktuellen Zeitpunkt
PseudorangeRateUncertaintyMetersPerSecond	Unsicherheit der Pseudorange (1-Sigma) in $\frac{m}{s}$
ReceivedSvTimeNanos	Aussendezeitpunkt des GNSS Signals
ReceivedSvTimeUncertaintyNanos	Unsicherheit für den Aussendezeitpunkt (1-Sigma)
SnrInDb	Signal-to-noise ratio
State	Status des Satelliten
Svid	Kennung (ID) des Satelliten
TimeOffsetNanos	Zeitversatz der Messung

Es wurden nicht alle verfügbaren Rohdaten zur Positionsbestimmung verwendet. Dies hängt ganz vom jeweiligen Anwendungsgebiet ab. Jene Rohdaten, welche verwendet wurden, um die Positionsbestimmung durchzuführen, werden im Kapitel 5 beschrieben.

3.3 NAVIGATION MESSAGE

Jeder Satellit erhält über die Bodenstationen die Navigationsdaten. Diese beinhalten sämtliche notwendigen Parameter, um die Position des Satelliten zum jeweiligen Empfangszeitpunkt zu berechnen. Neben den Parametern für die Position, den Keplerparametern, und das Uhrenpolynom zur Berechnung des Uhrenfehlers, enthält die Navigation Message auch Informationen zur Ionosphäre sowie den Zustand des Satelliten und einige weitere Parameter. Wie bereits in Kapitel 3.2 beschrieben, wird die Navigation Message nicht über die Rohdaten entschlüsselt, sondern als komprimiertes Paket direkt vom Server der NASA bezogen. Hierfür wurde eine Routine für den Download und das Einlesen der Navigation Message implementiert. Die Navigation Message wurde in der RINEX Version 2.0 verwendet. Weiterführende Informationen zur Navigation Message sind auf der Crustal Dynamics Data Information System (CDDIS)-Seite im Internet unter: <https://cddis.nasa.gov/> sowie unter <https://www.ngs.noaa.gov/CORS/RINEX-2.txt> zu finden.

KAPITEL 4

POSITIONSBESTIMMUNG MITTELS ROHDATEN

Um eine Position mittels Satelliten berechnen zu können, müssen zwei grundlegende Schritte durchgeführt werden. Zum Einen muss die Position der beobachteten Satelliten zum Empfangszeitpunkt berechnet werden. Zum Anderen ist die Laufzeit und die Pseudorange zu berechnen. Die Satellitenpositionen werden mithilfe der Navigation Message berechnet und die Laufzeit errechnet sich aus den Rohdaten, welche mit dem mobilen Endgerät empfangen werden.

4.1 SATELLITENPOSITION

Die Berechnung der Satellitenposition wurde nach dem Buch der European Space Agency (ESA) (Sanz Subirana et al., 2013) durchgeführt. Für die Gleichungen wird dieselbe Notation wie im Buch verwendet, um ein Nachschlagen der Formeln zu erleichtern. Die wichtigsten Berechnungsschritte werden in diesem Kapitel erläutert.

Die Bewegungsgleichung zweier Körper relativ zu einander, kann nach Newton als homogene Differentialgleichung zweiter Ordnung angesetzt werden, sofern nur die Anziehungskräfte dieser beiden Körper betrachtet wird.

$$\ddot{\mathbf{r}} + \frac{G(m_1 + m_2)}{r^3} \mathbf{r} = 0 \quad (4.1)$$

Wobei \mathbf{r} den relativen Positionsvektor beschreibt und G die Gravitationskonstante. Aufgrund der extrem großen Unterschiede zwischen der Erdmasse m_1 und der Masse des Satelliten m_2 kann die Masse des Satelliten vernachlässigt werden und die Gleichung vereinfacht sich zu

$$\ddot{\mathbf{r}} + \frac{GM_E}{r^3} \mathbf{r} = 0. \quad (4.2)$$

Hierbei beschreibt M_E die Masse der Erde.

Um die Position des Satelliten zu Erhalten, muss diese Gleichung zweimal integriert werden. Da die Gleichung 4.2 eine Veränderung der Beschleunigung im dreidimensionalen Raum beschreibt, ergibt eine zweifache Integration sechs unbekannte Parameter

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{r}(a, e, i, \Omega, \omega, T_0). \quad (4.3)$$

Diese Parameter werden Keplerparameter genannt und beschreiben die Position des Satelliten in seiner Bahn. Die folgenden Grafiken veranschaulichen dies. In Abbildung 4.1 ist eine 3-D Ansicht des Satellitenorbits ersichtlich. Abbildung 4.2 zeigt eine Skizze der Bahnebene auf welcher sich der Satellit bewegt.

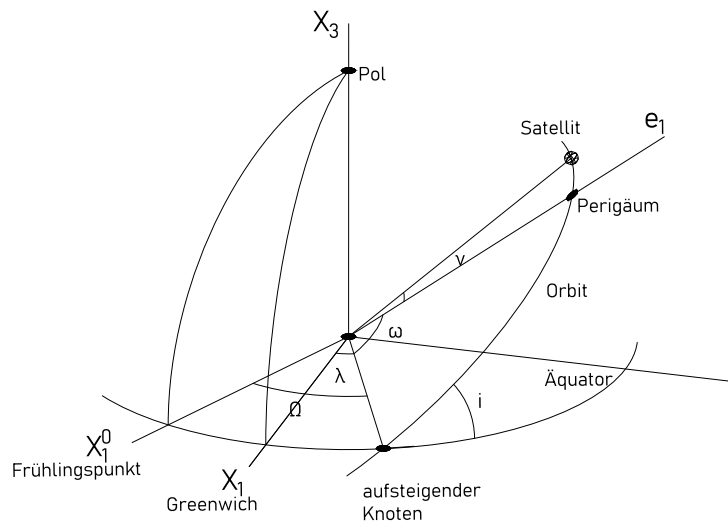


Abbildung 4.1: Keplerorbit.

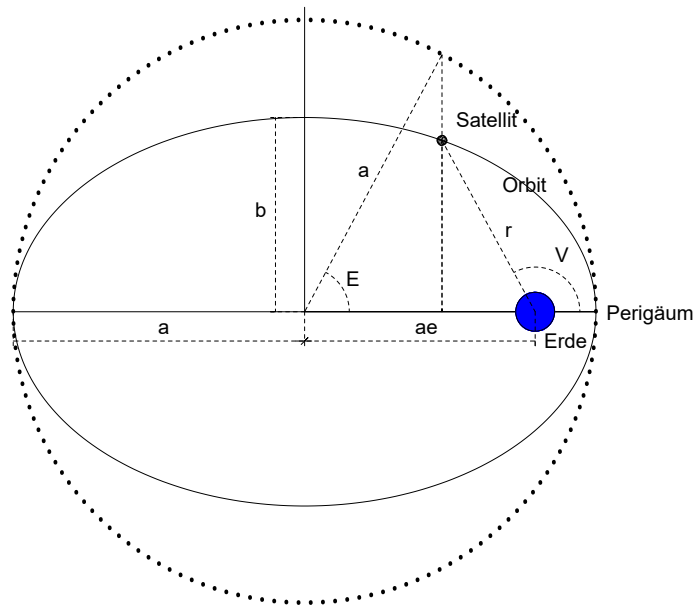


Abbildung 4.2: Orbitansicht in der Bahnebene.

Die nachfolgende Auflistung der Keplerparameter ermöglicht ein besseres Verstehen der Grafiken.

- Ω , die Rektaszension des aufsteigenden Bahnknotens. Dieser Winkel legt die Schnittlinie zwischen Äquatorebene und Bahnebene des Satelliten fest und ist definiert als Winkel zwischen Frühlingspunkt und aufsteigendem Knoten der Bahnebene.
- i , die Inklination der Bahnebene. Die Inklination ist definiert als Winkel zwischen Bahnebene und Äquatorebene.

Mit Ω und i ist die Lage der Bahnebene vollständig beschrieben.

- a , die große Halbachse der Bahnebene.
- e , die erste numerische Exzentrizität der Bahnebene.
- ω , legt die Richtung der großen Halbachse fest und ist definiert als Winkel zwischen dem aufsteigenden Bahnknoten und dem Perigäum. Dieser wird auch als Argument des Perigäums bezeichnet.

Die Parameter a , e und ω legen die Form des Orbits fest.

- T_0 beschreibt den Zeitpunkt der Passage des Satelliten durch das Perigäum.

Mittels T_0 ist es möglich, zu jedem Zeitpunkt t die Position des Satelliten in der Bahn zu bestimmen. Hierfür muss die Wahre Anomalie $V(t)$ berechnet werden.

Es sind drei Anomalien definiert. Die Wahre Anomalie

$$V(t) = 2 \cdot \operatorname{atan} \left[\sqrt{\frac{1+E}{1-E}} \tan E(t)/2 \right] \quad (4.4)$$

wird durch den geozentrischen Winkel zwischen Perigäum und der Richtung zum Satelliten beschrieben. Die Exzentrische Anomalie

$$E(t) = M(t) + E \sin E(t) \quad (4.5)$$

wird beschrieben durch einen Winkel im Zentrum der Ellipse zwischen Perigäum und einem fiktiven Punkt. Dieser fiktive Punkt entsteht durch einen Strahl, welcher orthogonal auf die große Halbachse a steht und durch den Satelliten hindurch und auf einen Kreis mit dem Radius a trifft (siehe Abb. 4.2).

Die Mittlere Anomalie

$$M(t) = n(t - T_0) \quad (4.6)$$

ist eine mathematisch abstrakte Größe zur mittleren Winkelgeschwindigkeit

$$n = \frac{2\pi}{P} = \sqrt{\frac{GM_E}{a^3}}. \quad (4.7)$$

4.1.1 Berechnung der Satellitenposition

Die folgenden Formeln erläutern den mathematischen Vorgang und sind aus dem ESA Buch (Sanz Subirana et al., 2013) entnommen.

Um die Satellitenposition zu bestimmen, muss zuerst der Empfangszeitpunkt der GNSS-Zeit des Satelliten bestimmt werden. Diese kann aus den Rohdaten der Klasse "GnssMeasurements" abgefragt werden.

$$t_{Tx} = \text{ReceivedSvTime} + \text{TimeOffsetNanos}. \quad (4.8)$$

Danach kann der Zeitpunkt der Satellitenposition t_k bestimmt werden. Hierfür wird die Referenzepoche der Ephemeriden t_{oe} benötigt. Diese findet sich im Navigation-File

$$t_k = t_{Tx} - t_{oe}. \quad (4.9)$$

Mit dem korrekten Zeitpunkt t_k ist es nun möglich, die Position des Satelliten zu bestimmen. Hierfür muss zuerst die Mittlere Anomalie

$$M_k = M_0 + \left(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{a^3}} + \Delta n \right). \quad (4.10)$$

berechnet werden. Da der Wert für Δn mit dem Navigation File gesendet wird, wurde dieser verwendet.

Im Anschluss kann die Exzentrische Anomalie E_k berechnet werden. Dies erfolgt iterativ mittels Gleichung 4.11. Als Startwert für die Iteration wird $E_k = M_k$ gesetzt.

$$M_k = E_k - e \cdot \sin E_k. \quad (4.11)$$

Es ist zu beachten, dass mittels berechneter Exzentrischer Anomalie E_k der Uhrenfehler bestimmt werden kann und somit ein neuer Wert für t_k . Dies wiederum ermöglicht ein erneutes Rechnen sämtlicher Anomalien, welche für die Berechnung der Satellitenkoordinaten verwendet werden sollten.

Korrektur von t_k

Um t_k zu korrigieren, wird das Uhrenpolynom des Uhrenfehlers sowie der relativistische Einfluss benötigt. Im ersten Berechnungsschritt wird das Polynom zweiten Grades des Uhrenfehlers aufgestellt

$$\tilde{\delta t}^{sat} = a_0 + a_1(t_k - t_0) + a_2(t_k - t_0)^2. \quad (4.12)$$

Die Werte a_0 , a_1 und a_2 werden mit den Broadcast Daten im RINEX - File mitgeliefert. Danach ist es möglich, einen Korrekturwert

$$\Delta t = \tilde{\delta t}^{sat} + \delta^{rel} \quad (4.13)$$

zu bestimmen. Der Wert für δ^{rel} muss berücksichtigt werden, da ein kreisförmiger Orbit angenommen wird. Der Korrekturwert δ^{rel} errechnet sich demnach wie folgt

$$\delta^{rel} = -\frac{2}{c^2} \sqrt{\mu a} \cdot (e \cdot \sin E) \quad (4.14)$$

mit $\mu = GM_E$. Wobei GM_E der universellen Gravitationskonstante der Erde entspricht und c der Lichtgeschwindigkeit. Im Anschluss kann ein korrigierter Aussendezeitpunkt

$$t_{k(korr)} = t_{Tx} - \Delta t \quad (4.15)$$

berechnet werden. Dieser wird für sämtliche weiteren Berechnungen verwendet und für eine bessere Lesbarkeit nur als t_k bezeichnet.

4.1.2 Satellitenposition im ECEF

Mit dem korrigierten Wert des Aussendezeitpunkts t_k , können nun erneut die Mittlere Anomalie sowie die Exzentrische Anomalie, Gleichungen 4.10 und 4.11, berechnet werden. Anschließend ist es möglich, die Wahre Anomalie

$$V_k = \arctan\left(\frac{\sqrt{1-e^2}\sin E_k}{\cos E_k - e}\right) \quad (4.16)$$

zu berechnen.

Mithilfe der Wahren Anomalie V_k sowie dem Argument des Perigäums ω und den Korrekturwerten der Breite c_{uc} und c_{us} kann das Argument der Breite

$$u_k = \omega + V_k + c_{uc} \cdot \cos 2(\omega + V_k) + c_{us} \cdot \sin 2(\omega + V_k) \quad (4.17)$$

berechnet werden. Die Korrekturwerte c_{uc} und c_{us} finden sich wiederum in den Ephemeriedaten der RINEX Datei.

Nun wird die Distanz r_k mit Berücksichtigung der Korrekturwerte c_{rs} und c_{rc} berechnet.

$$r_k = a(1 - e \cdot \cos E_k) + c_{rc} \cdot \cos 2(\omega + V_k) + c_{rs} \cdot \sin 2(\omega + V_k). \quad (4.18)$$

Des Weiteren wird die Inklination i_k berechnet. Diese berechnet sich aus dem Startwert der Inklination i_0 zur Referenzepeche t_0 den Korrekturen c_{ic} , c_{is} , den Werten von ω und V_k sowie der Inklinationsrate \dot{i} .

$$i_k = i_0 + \dot{i}t_k + c_{ic} \cdot \cos 2(\omega + V_k) + c_{is} \cdot \sin 2(\omega + V_k). \quad (4.19)$$

Als letzter Parameter, welcher gebraucht wird, um die Koordinaten zu berechnen, wird die Länge des Aufsteigenden Knotens λ_k berechnet. Dieser berechnet sich aus der Rektaszension des Aufsteigenden Knotens und den Korrekturen der GPS-Woche.

$$\lambda_k = \Omega_0 + (\dot{\Omega} - \omega_E)t_k - \omega_E \cdot t_0. \quad (4.20)$$

Nun können die vorläufigen Satellitenkoordinaten im Earth Centered Earth Fixed (ECEF) Frame mittels der drei Rotationen um u_k , i_k und λ_k berechnet werden.

$$\tilde{\mathbf{r}}^{Sat} = \begin{bmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \end{bmatrix} = \mathbf{R}_3(-\lambda_k) \mathbf{R}_1(-i_k) \mathbf{R}_3(-u_k) \begin{bmatrix} r_k \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

Die Drehmatritzen sind wie folgt definiert.

$$\mathbf{R}_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos & \sin \\ 0 & -\sin & \cos \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R}_3 = \begin{bmatrix} \cos & \sin & 0 \\ -\sin & \cos & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.22)$$

Die Satellitenkoordinaten werden in einem letzten Schritt noch um die Erdumdrehung, welche die Erde während der Laufzeit vollführt hat, korrigiert. Dadurch erhält man die Satellitenkoordinaten zum Zeitpunkt der Aussendung. Hierfür wurde der Empfangszeitpunkt t_R verwendet, welcher in den Rohdaten gespeichert ist.

$$t_{runtime} = t_R - t_k. \quad (4.23)$$

Nun können mittels einer weiteren kleinen Drehung die endgültigen Koordinaten des Satelliten bestimmt werden.

$$\mathbf{r}^{Sat} = \mathbf{R}_3(\omega_E \cdot t_{runtime}) \cdot \tilde{\mathbf{r}}^{Sat}. \quad (4.24)$$

Die Drehmatrix \mathbf{R}_3 ist mit derselben Definition zu bilden wie unter 4.22 beschrieben.

4.2 EINFLUSS DER ATMOSPHÄRE AUF DAS SIGNAL

Auf dem Weg vom Satelliten zur Erdoberfläche unterliegt das Satellitensignal mehreren Einflüssen. Diese Einflüsse, bedingt durch die unterschiedlichen Schichten der Erdatmosphäre, können in zwei Einflussbereiche unterteilt werden. Zum einen in die Auswirkung der Ionosphäre und zum anderen dem Effekt auf das Signal in der Troposphäre. Beide Einflüsse hängen von der Elevation des eingehenden Signales ab. Der Ionosphären- und Troposphären Einfluss wird modelliert und als Längenänderung an die Pseudostrecke angebracht. Um die Auswirkungen berechnen zu können, müssen zuerst die Elevation und der Azimuth zum Satelliten bestimmt werden. Die Berechnungen für den Einfluss der Atmosphäre wurden nach Sanz Subirana, Juan Zornoza und Hernández-Pajares (2013) umgesetzt.

4.2.1 Berechnen von Elevation und Azimuth zum Satelliten

Zuerst wird der line-of-sight Einheitsvektor

$$\hat{\boldsymbol{\rho}} = \frac{\mathbf{r}^{Sat} - \mathbf{r}^{Rec}}{\|\mathbf{r}^{Sat} - \mathbf{r}^{Rec}\|} \quad (4.25)$$

gebildet. Im Anschluss können, mittels Formel 4.26, die lokalen Einheitsvektoren im ECEF gebildet werden.

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{e}} &= (-\sin\lambda, \cos\lambda, 0) \\ \hat{\mathbf{n}} &= (-\cos\lambda\sin\varphi, -\sin\lambda\sin\varphi, \cos\varphi) \\ \hat{\mathbf{u}} &= (\cos\lambda\cos\varphi, \sin\lambda\cos\varphi, \sin\varphi) \end{aligned} \quad (4.26)$$

Im Anschluss können die Elevation

$$E = \arcsin(\hat{\boldsymbol{\rho}} \cdot \hat{\mathbf{u}}) \quad (4.27)$$

sowie der Azimuth

$$A = \arctan\left(\frac{\hat{\boldsymbol{\rho}} \cdot \hat{\mathbf{e}}}{\hat{\boldsymbol{\rho}} \cdot \hat{\mathbf{n}}}\right) \quad (4.28)$$

zum Satelliten berechnet werden. Da für die Berechnung von $\hat{\boldsymbol{\rho}}$ die Receiverkoordinaten bekannt sein müssen, wird bei der ersten Iteration im Ausgleich kein Atmosphäreneinfluss berechnet. Erst wenn nach der ersten Positionsbestimmung Receiverkoordinaten vorliegen, wird der Einfluss von Ionosphäre und Troposphäre berechnet.

4.2.2 Ionosphäreneinfluss

Bei Einfrequenzreceivern kann, je nach Elevation, der Einfluss der Ionosphäre mehrere Meter betragen. Dieser muss daher auf jeden Fall modelliert werden. Das RINEX-File, welches von den Satelliten übermittelt wird, enthält die Koeffizienten für das Klobuchar Modell. Damit kann nach dem Modell von Klobuchar der Ionosphäreneinfluss modelliert werden. Die Höhe der Ionosphärenschicht wird für GPS bei 350 km im Mittel angenommen. Die approximierten Receiverkoordinaten werden in den folgenden Formeln mit φ_u und λ_u bezeichnet.

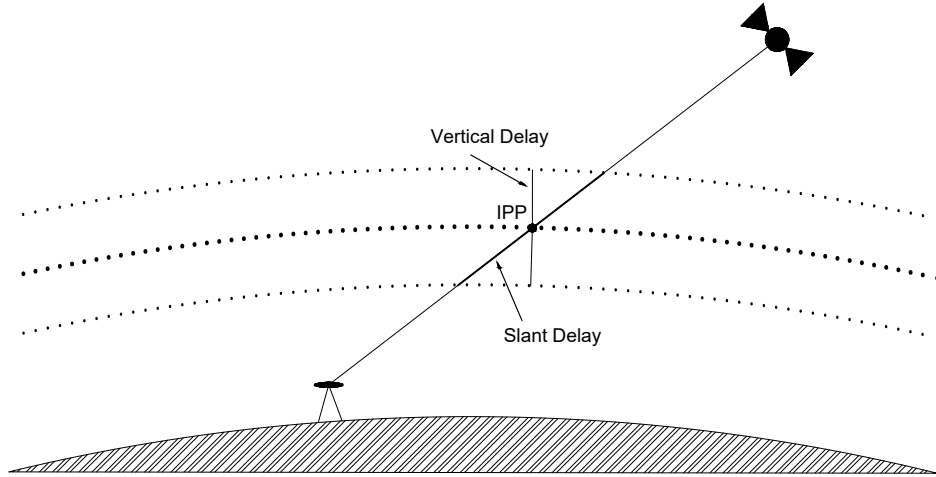


Abbildung 4.3: Schiefe und vertikale Verzögerung.

Zu Beginn wird der geozentrische Winkel ψ bestimmt.

$$\psi = \pi/2 - E - \arcsin\left(\frac{R_E}{R_E + h} \cos E\right). \quad (4.29)$$

Danach kann die Position des Durchstoßpunktes in der Ionosphärenschicht, auch als Ionospheric Pierce Point (IPP) bezeichnet, berechnet werden. Diese wird mit Länge Φ_I und Breite λ_I beschrieben.

$$\Phi_I = \arcsin(\sin\varphi_u \cos\psi + \cos\varphi_u \sin\psi \cos A). \quad (4.30)$$

$$\lambda_I = \lambda_u + \frac{\psi \sin A}{\cos \Phi_I} \quad (4.31)$$

Da der Ionosphäreneinfluss in Zusammenhang mit dem geomagnetischen Pol zu betrachten ist, muss die geomagnetische Länge des IPP

$$\Phi_m = \arcsin(\sin\Phi_I \sin\Phi_P + \cos\Phi_I \cos\Phi_P \cos(\lambda_I - \lambda_P)) \quad (4.32)$$

berechnet werden. Die Koordinaten des geomagnetischen Pols werden mit $\Phi_P = 78.3^\circ$ und $\lambda = 291.0^\circ$ angenommen.

Im Anschluss kann die lokale Zeit

$$t = 43\,200\lambda_I/\pi + t_{GPS} \quad (4.33)$$

des IPP berechnet werden. Es ist darauf zu achten, dass t_{GPS} innerhalb von 24 Stunden liegt.

Die Amplitude A_I berechnet sich wie folgt.

$$A_I = \sum_{n=0}^3 \alpha_n (\Phi_m/\pi)^n \quad (4.34)$$

Sollte A_I kleiner 0 sein, dann wird $A_I = 0$ angenommen. Nun muss noch die Periode P_I und Phase X_I berechnet werden.

$$P_I = \sum_{n=0}^3 \beta_n (\Phi_m/\pi)^n \quad (4.35)$$

$$X_I = \frac{2\pi(t - 50\,400)}{P_I} \quad (4.36)$$

Sollte der Periodenwert unter 72 000 liegen, dann wird dieser mit 72 000 angenommen.

Um nun die Zeitverzögerung zu bestimmen, wird ein Wert entlang des Signalweges bestimmt. Der sogenannte slant factor. Dieser hängt von der Höhe und der Elevation ab. Dieser Wert lässt sich leichter interpretieren, wenn Abbildung 4.3 betrachtet wird. Hier ist zu erkennen, dass bei einer Elevation von 90° der Satellit im Zenit steht und das Signal orthogonal durch die Ionosphärenschicht dringt. Aus Gleichung 4.36 ist zu entnehmen, dass dadurch der innere Klammerausdruck zu null wird und sich ein Faktorwert von eins ergibt.

Im Anschluss kann die Zeitverzögerung des Ionosphäreneinflusses

$$I_1 = \begin{cases} [5 \cdot 10^{-9} + A_I \cos X_I] \cdot F, & |X_I| < \pi/2 \\ [5 \cdot 10^{-9} \cdot F, & |X_I| \geq \pi/2 \end{cases} \quad (4.37)$$

berechnet werden. Der erhaltene Wert liegt bereits in Sekunden vor. Um eine Distanz zu erhalten, muss das Ergebnis anschließend mit der Lichtgeschwindigkeit c multipliziert werden. Danach kann die Längenkorrektur der Ionosphäre an die korrigierte Pseudorange angebracht werden.

4.2.3 Troposphäreneinfluss

Als ein weiterer Einflussfaktor wird die Laufzeitverzögerung, bedingt durch die Troposphäre, berücksichtigt. Hierfür wird ein Modell verwendet, welches auch im Satellite-Based Augmentation System (SBAS) Anwendung findet. Das Modell wurde von Collins (Collins, 1999) entwickelt. Generell wird in der Berechnung des Troposphäreneinflusses $Tr(E)$ zwischen einem trockenen $Tr_{z,d}$ und feuchten $Tr_{z,w}$ Anteil der Troposphäre unterschieden. Hinzukommend wird der obliquity factor $M(E)$ (Black et al., 1984) als Korrekturwert verwendet.

$$Tr(E) = (Tr_{z,d} + Tr_{z,w})M(E) \quad (4.38)$$

mit

$$M(E) = \frac{1.001}{\sqrt{0.002001 + \sin(E)^2}} \quad (4.39)$$

Die Funktion $Tr(E)$ ist abhängig von fünf meteorologischen Parametern: Luftdruck $[P]$, Temperatur $[T]$, Wasserdampfdruck $[e]$, Temperaturveränderungsrate $[\beta]$ und der Veränderungsrate des Wasserdampfdruckes $[\lambda]$. Für eine bekannte Breite des Empfängers φ zu einem bestimmten Tag im Jahr D , können sämtliche meteorologischen Parameter mit folgender Formel

$$\xi(\varphi, D) = \xi_0(\varphi) - \Delta\xi(\varphi) \cdot \cos\left(\frac{2\pi(D - D_{min})}{365.5}\right) \quad (4.40)$$

berechnet werden. Für D_{min} wird der Wert 28 für die nördliche Halbkugel und 211 für die südliche Hemisphäre verwendet. $\xi_0(\varphi)$ und $\Delta\xi(\varphi)$ entsprechen den durchschnittlichen Werten sowie Variationen der meteorologischen Parameter für die geographische Breite φ . Sämtliche Werte können mithilfe von Formel 4.40 und Tabelle 4.1 berechnet werden. Für die Berechnung sind die Werte der einzelnen meteorologischen Parameter linear zu interpolieren.

Die vertikalen Verzögerungsanteile $Tr_{z,d}$ und $Tr_{z,w}$ für die Receiverhöhe H sind gegeben mit

$$Tr_{z,d} = \left[1 - \frac{\beta H}{T}\right]^{\frac{g}{R_d \beta}} Tr_{z_0,d}, \quad Tr_{z,w} = \left[1 - \frac{\beta H}{T}\right]^{\frac{(\lambda+1)g}{R_d \beta} - 1} Tr_{z_0,w}. \quad (4.41)$$

Die Werte für $Tr_{z_0,d}$ und $Tr_{z_0,w}$ sind wie unter Formel 4.42 beschrieben, zu berechnen.

$$Tr_{z_0,d} = \frac{10^{-6}k_1R_dP}{g_m}, \quad Tr_{z_0,w} = \frac{10^{-6}k_2R_dP}{(\lambda + 1)g_m - \beta R_d T} \frac{e}{T} \quad (4.42)$$

mit $k_1 = 77.604 \text{ K/mbar}$, $k_2 = 38200 \text{ K}^2/\text{mbar}$, $R_d = 287.054 \text{ J/(kgK)}$, $g_m = 9.784 \text{ m/s}^2$ und $g = 9.80665 \text{ m/s}^2$.

Das Ergebnis für den Einfluss der Troposphäre nach Formel 4.38, ist bereits in Metern gegeben und kann direkt für die Korrektur der Pseudorange verwendet werden.

Tabelle 4.1: Meteorologische Parameter für den Einfluss der Troposphäre

Breitengrad $\varphi(^{\circ})$	Durchschnittswerte				
	P_0 (mbar)	T_0 (K)	e_0 (mbar)	β_0 (K/m)	λ_0
≤ 15	1013.25	299.65	26.31	$6.30 \cdot 10^{-3}$	2.77
30	1017.25	294.15	21.79	$6.05 \cdot 10^{-3}$	3.15
45	1015.75	283.15	11.66	$5.58 \cdot 10^{-3}$	2.57
60	1011.75	272.15	6.78	$5.39 \cdot 10^{-3}$	1.81
≥ 75	1013.00	263.65	4.11	$4.53 \cdot 10^{-3}$	1.55
Breitengrad $\varphi(^{\circ})$	Saisonale Variationen				
	ΔP (mbar)	ΔT (K)	Δe (mbar)	$\Delta \beta$ (K/m)	$\Delta \lambda$
≤ 15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	-3.75	7.00	8.85	$0.25 \cdot 10^{-3}$	0.33
45	-2.25	11.00	7.24	$0.32 \cdot 10^{-3}$	0.46
60	-1.75	15.00	5.36	$0.81 \cdot 10^{-3}$	0.74
≥ 75	-0.50	14.50	3.39	$0.62 \cdot 10^{-3}$	0.30

4.3 BERECHNEN DER RECEIVERPOSITION

Nachdem der Satellitenuhrenfehler modelliert und die Atmosphäreinflüsse berechnet wurden, kann das Gauß-Markov-Modell wie in Formel 2.11 beschrieben, aufgestellt werden. Der verkürzte Beobachtungsvektor dl berechnet sich aus der korrigierten Strecke r_{corr} und der geometrischen Strecke

ρ , welche aus der aktuell berechneten Receiverposition und der Satellitenposition mit Formel 2.2 zu bilden ist.

$$dl = r_{corr} - \rho \quad (4.43)$$

In r_{corr} fließen die Korrekturen ein. Dieser bildet sich aus der Pseudorange und den Korrekturen für Satellitenuhr, Receiveruhr sowie der Atmosphäre.

$$r_{corr} = \rho + c(dt_{rcv} - dt^{sat}) + Tr + Iono. \quad (4.44)$$

Gleichung 4.44 ist eine verkürzte Form, welche dem Buch der ESA (Sanz Subirana et al., 2013) entnommen wurde. Da die Terme für Phasenzentrum, Instrumentenverzögerung und Mehrwegseffekte als zu geringe Einflüsse für mobile Endgeräte keine Auswirkung auf die berechnete Position haben, wurden diese vernachlässigt. Wie schon in Kapitel 2.1 beschrieben wurde, werden im ersten Iterationsschritt die Receiverkoordinaten mit dem Erdmittelpunkt gleichgesetzt und der Receiveruhrenfehler mit 0 angenommen. Nachdem im ersten Ausgleichsschritt neue Receiverkoordinaten sowie ein Receiveruhrenfehler vorliegen, kann mit diesen Werten gearbeitet werden.

KAPITEL 5

SOFTWARE IMPLEMENTIERUNG

Um Fehler bei der Implementierung zu vermeiden, wurden zu Beginn die Berechnungen im Postprocessing mit MATLAB umgesetzt. Hierfür wurden mit der Applikation GNSS Logger die Rohdaten aufgezeichnet und exportiert. Ein Messpfeiler am Dach der Steyergasse 30 des Institutsgebäudes diente als Referenzpunkt. Ein weiterer Vorteil in der vorherigen Umsetzung mittels MATLAB ist die Vergleichbarkeit und Überprüfbarkeit der berechneten Werte im Zuge der Implementierung mit Android Studio.

5.1 JAVA IMPLEMENTIERUNG MITTELS ANDROID STUDIO

Damit das Programm lauffähig ist, müssen Überlegungen hinsichtlich der Android Version getätigt werden. Ein Zugriff auf die Rohdaten wird erst ab Android 7.0 gewährt. Dies stellt somit die Grenze nach unten dar. Nicht nur die Android Version spielt eine Rolle, auch die Hardware muss einen Zugriff auf die GNSS-Rohdaten ermöglichen. Hier wurde bereits auf den Webauftritt von <https://developer.android.com> hingewiesen, auf welchem fast alle Geräte zu finden sind, die den Zugriff auf die Rohdaten ermöglichen. Nach einer Rücksprache mit der FH Bern wurde als Testgerät ein Samsung Galaxy S8 erworben. Dieses wurde auch freundlicherweise von der FH Bern zur Verfügung gestellt.

Das aktuelle Betriebssystem des Samsung Galaxy S8 läuft auf der Firmwareversion von Android 9.0. Die aktuelle Firmware ist, unter anderem auch aus Gründen der Gerätesicherheit, installiert. Mittels Android Studio ist es im Zuge der Konfiguration des Projektes möglich, eine Abschätzung zu erhalten, welche einen Prozentsatz an lauffähigen Geräten widerspiegelt. Bei der Androidversion 9.0 liegt der Prozentsatz an lauffähigen Geräten unter einem Prozent. Android 8.0 weist einen Prozentsatz von derzeit sechs Prozent auf. Natürlich ist dies eine momentane Einschätzung und die lauffähigen Endgeräte werden im Laufe der Zeit mehr. Dennoch wurde, um eine größere Anzahl an Endnutzern zu erreichen, auf der Androidversion 8.0 entwickelt. Da eine Abwärtskompatibilität gegeben ist, kann die Applikation natürlich auch auf Endgeräten mit einer höheren Version verwendet werden, wie es beim aktuellen Testgerät der Fall ist.

Ein weiterer wichtiger Aspekt, welcher von Anfang an überlegt werden muss, ist die Benutzeroberfläche. Diese soll übersichtlich und bedienerfreundlich sein, da vor allem Personen, welche keinen Bezug zur Geodäsie haben, diese Applikation verwenden werden. Hier sollte die maximale Information mit minimalen Einstellungen erzielt werden.

5.2 SOFTWARESTRUKTUR

Die Umsetzung einer Idee hin zu einer Applikation umfasst zumindest zwei wesentliche Überlegungen. Einerseits müssen technische und mathematische Überlegungen angestellt werden. Hier muss über die benötigten Klassen und mathematischen Pakete sowie über etwaige Probleme beim Serverzugriff nachgedacht werden. Ein Abfangen von möglichen Fehlern muss ebenfalls implementiert sein, auch wenn die Formeln und mathematischen Berechnungen korrekt implementiert wurden. Andererseits müssen Überlegungen zum Design und dem Erscheinungsbild der Applikation getätigt werden. Das Design der Applikation wird in der XML-Datei der jeweiligen Activity geregelt. Hier können Schaltflächen, auch Buttons genannt, Eingabeflächen sowie Bereiche für die Darstellung, entweder als Text oder Grafik, angelegt werden. Auf das Design und die Darstellung wird im Kapitel 5.3 ausführlicher eingegangen. Im Nachfolgenden werden die Funktionalität und die Implementierung der mathematischen Überlegungen aus den vorangegangenen Kapiteln erläutert.

Für JAVA steht eine Vielzahl an unterstützenden Paketen zur Verfügung, welche mit zahlreichen Funktionen den Programmieraufwand erleichtern. Auch für dieses Projekt wurden zum Beispiel für die Kommunikation mit dem Server der NASA oder für diverse Matritzenberechnungen Pakete verwendet. Eine genauere Beschreibung der verwendeten Pakete findet sich im jeweiligen Kapitel.

Um eine Übersicht in der Programmstruktur zu gewähren, wird mit mehreren Klassen gearbeitet. Diese Klassen beinhalten die jeweiligen benötigten Methoden. Einen Überblick der verwendeten Klassen findet sich in der nachfolgenden Auflistung.

- ActivityQuality
- CalcAtmosDelay
- CalcEpoch
- CalcPseudorange
- CalcSatCoords

- DataHandler
- Fundamentals
- GnssData
- GnssDataLogger
- GpsSat
- MainActivity
- ReadFile
- ReceiverCoordinates

Eine wichtige Built-in Methode ist die onCreate Methode. Diese wird, wie der Name schon verrät, beim Erstellen der Klasse aufgerufen. Diese onCreate Methode ist nicht für jede Klasse zwingend erforderlich, wird aber oftmals für wichtige Initialisierungen und Codeteile, welche zwingend ausgeführt werden müssen, verwendet. In diesem Kapitel wird in weiterer Folge auf die wichtigsten Methoden der Klassen eingegangen.

5.2.1 MainActivity

Wird die Applikation gestartet, dann wird als Erstes die Klasse MainActivity aufgerufen. In dieser werden die notwendigen Variablen initialisiert. Hinzukommend wird zu Beginn die Klasse ReceiverCoordinates angelegt, sowie die Klasse GpsSat, für jeden möglichen GPS Satelliten, erstellt. Im Falle von GPS gibt es 32 mögliche Satelliten. Diese werden jeweils als eigene Klasse in einer Liste gespeichert. Die Klasse MainActivity beinhaltet zwei essenzielle Methoden. Einerseits die bereits erwähnte onCreate Methode und andererseits die onReceive Methode.

In der onCreate werden die Berechtigungen für den Zugriff auf die notwendigen Daten überprüft. Der User wird bei der erstmaligen Installation gefragt, ob er den Zugriff auf den Speicher sowie auf die GNSS Daten erlauben möchte. In den Einstellungen für die Zugriffserlaubnis des mobilen Endgerätes kann dies jederzeit verändert werden.

Des Weiteren wird die aktuelle Zeit abgefragt, um die korrekten Ephemeridendaten als RINEX-File vom Server der NASA beziehen zu können. Die aktuelle Zeit wird der Klasse DataHandler übergeben, welche unter anderem die Methode für den Download und das Entpacken der RINEX-File beinhaltet. Somit werden, jedes Mal wenn die Applikation gestartet wird, die aktuellen Ephemeriden heruntergeladen und zur Verfügung gestellt. Ist der

Download vollendet, wird die Methode `readRinex` aufgerufen. In dieser Methode wird das zuvor entpackte RINEX-File der Klasse `ReadFile` übergeben und einerseits die Satellitenparameter und andererseits die Parameter für die Ionosphäre ausgelesen.

Hinzukommend wird in der `onCreate` Methode ein Intent erstellt, welcher für die Klasse `GnssDataLogger` benötigt wird und das Abfragen der Rohdaten ermöglicht. Diese Klasse wurde von Herrn Dipl.-Ing. Roman Wilfinger, für ein Projekt an der TU Graz, erstellt und durfte mit seiner Genehmigung verwendet werden. Um die Rohdaten abfragen zu können, muss zudem auch ein Receiver Objekt erstellt werden, welches mit dem Intent initialisiert wird. Um die Position auf einer Karte sichtbar zu machen, wird das Paket `GoogleMap` in der Klasse `MainActivity` importiert und in der `onCreate` Methode initialisiert.

Die Methode `onReceive` ist für das Abfragen neuer Daten zuständig. Dies wird über den Intent der Klasse `GnssDataLogger` bewerkstelligt. Jedes Mal wenn neue Messungen vorliegen werden die sichtbaren Satelliten der Klasse `GpsSat` übergeben und aktualisiert. Diese Liste wird daraufhin gemeinsam mit den aktuellen Messungen der Klasse `Measurements` und den Daten der GNSS-Uhr, welche sich in der Klasse `GPSClock` befinden an die Methode `calculation` der Klasse `CalcEpoch` übergeben. In nachfolgender Abbildung 5.1 ist ein verkürzter Codeausschnitt, um dies zu verdeutlichen.

Listing 5.1: Codeausschnitt onReceive

```

@Override
public void onReceive(Context context, Intent intent) {

    if (Objects.equals(intent.getAction(), GnssDataLogger.
        BROADCAST_GNSS_DATA_LOGGER)) {
        if (intent.hasExtra(GnssDataLogger.MEASUREMENTS)) {
            ArrayList<GnssMeasurement> observation =
                intent.getParcelableArrayListExtra(GnssDataLogger.MEASUREMENTS);
            GnssClock clk = intent.getParcelableExtra(GnssDataLogger.GPS_CLOCK);

            // Creating an array of Objects of Type gpsSat.
            // That means all gps sats are in this array.
            // Access ex.: var = Gpssatellites[i].var

            for (int i = 1; i < 33; i++) {
                if (satellites[i] != null) {
                    Gpssatellites[i] = new gpsSat(satellites[i]);
                }
            }
            if (fullBiasNanos == 0) {
                fullBiasNanos = clk.getFullBiasNanos();
                CalcEpoch.calculation(observation, clk, fullBiasNanos, Gpssatellites,
                    receiverCoordinates, iono, context);
            } else if (fullBiasNanos != 0) {
                CalcEpoch.calculation(observation, clk, fullBiasNanos, Gpssatellites,
                    receiverCoordinates, iono, context);
                actualizeMap();
            }
        }
    }
}

```

Wie schon in Kapitel 3.2 erwähnt, beinhaltet die Klasse Measurements die Messungen welche in Tabelle 3.2 aufgelistet sind und die Klasse GPS_Clock die Daten der GPS-Uhr, welche in Tabelle 3.1 ersichtlich sind.

5.2.2 DataHandler

Wie bereits in Kapitel 5.2.1 angesprochen, wird in der Klasse DataHandler der Download und das Entpacken der aktuellen RINEX-FILE abgearbeitet. Hierfür wurden die Pakete compress und net von Apache Commons verwendet. Apache Commons ist ein Projekt, welches sich der Wiederverwendung von Code widmet, welcher immer wieder gebraucht wird. Diese Elemente werden als Pakete angeboten und stehen kostenlos zur Verfügung. Mehr Information zu den Apache Commons Paketen sind unter <http://commons.apache.org/>

ps://commons.apache.org/ zu finden.

Zuerst wird eine Verbindung zum File Transfer Protocol (FTP) Server der NASA aufgebaut und mittels Zeitstempel das aktuelle RINEX-File heruntergeladen. Der Download wurde mittels eines Buffered Streams gelöst. Ist die Datei vollständig geladen, kann diese mithilfe des Paketes compress entpackt und mittels FileOutputStream in einen zuvor definierten Ordner geschrieben werden.

Neben diesen beiden wichtigen Methoden beinhaltet die Klasse noch die Methode `writePosition`. Diese schreibt die berechneten Receiverkoordinaten in eine Textdatei. Der Name der Textdatei beinhaltet den aktuellen Zeitstempel, sodass ein Überschreiben der Positionsdateien verhindert wird.

5.2.3 *GpsSat*

Die Klasse `GpsSat` ist für das Anlegen und Speichern der Satellitenparameter zuständig. Für alle 32 GPS-Satelliten wird ein String übergeben, welcher die gesamten Parameter aus dem aktuellen RINEX-File beinhaltet. In der Klasse wird der String aufgesplittet und die Werte den jeweiligen Variablen zugeordnet. Über die ID kann, im weiteren Verlauf, auf die Variablen des benötigten Satelliten zugegriffen werden. Sämtliche Satelliten werden, sortiert nach ID, in einer Liste angelegt.

5.2.4 *ReceiverCoordinates*

In der `MainActivity` wird im Laufe der Initialisierung auch die Klasse `ReceiverCoordinates` angelegt. Im Konstruktor sind die Koordinaten mit null initialisiert. Die Klasse ist etwas umfangreicher und beinhaltet mehrere Methoden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass zwischen Koordinatensystemen transformiert wird. Des Weiteren sind Methoden implementiert, welche die Koordinaten ellipsoidisch, kartesisch oder zweidimensional im österreichischen Landessystem des Militärgeographischen Institut (MGI), zurückgeben können. Hinzukommend war es notwendig Methoden zu implementieren, welche eine Parzellierung der Klasse ermöglichen, um diese an eine zweite Activity übergeben zu können.

5.2.5 *CalcEpoch*

Die Klasse `CalcEpoch` ist eine elementare Klasse und kann, neben der Klasse `MainActivity`, als wichtigstes Bindeglied zwischen den einzelnen Klassen

gesehen werden. In dieser Klasse wird jede Epoche abgearbeitet. Wobei die Messungen in einer Frequenz von 1 Hz aufgezeichnet werden. Demnach wird jede Sekunde eine Epoche ausgewertet.

In der Klasse sind vier Methoden implementiert. Zum einen die sehr umfangreiche Methode `Calculation`, in welcher die gesamten Berechnungsschritte, welche in Kapitel 4 beschrieben wurden, abgearbeitet werden und deren Ergebnis die Receiverkoordinaten sind und zum anderen Methoden für eine Differenzbildung zu einem Referenzpunkt sowie eine Methode für das Speichern der berechneten Koordinaten in einer Liste.

In der Methode `Calculation` findet die eigentliche Berechnung der Epoche statt. Der Methode werden folgende Variablen übergeben:

- `obs` (ArrayList mit den Messungen der Klasse `GnssMeasurement`)
- `clk` (Klasse `GnssClock`)
- `fullBiasNanos` (Uhrenfehler aus der ersten Epoche)
- `GpsSatellites` (ArrayList mit allen Satelliten)
- `ReceiverCoordinates` (Klasse)
- Ionosphärenparameter

Aus der Auflistung ist ersichtlich, dass dies sämtliche benötigte Parameter sind, um die Receiverkoordinaten berechnen zu können. Es sind jedoch einige Voraussetzungen zu beachten. Da in der Variable `GnssMeasurements` sämtliche GNSS Messungen enthalten sind, müssen zuerst jene Messungen ausgefiltert werden, welche keine GPS Messungen sind. Dies geschieht über die Built-in Methode `getConstellationType` der Klasse `GnssMeasurement`. Des Weiteren wird überprüft, ob eine ausreichend gute Messung vorliegt. Ist das Satellitensignal gestört, hierfür gibt es mehrere Einflüsse, erhält man ein grob falsches Ergebnis der Pseudorange. Diese Ausreißer werden nicht in die Berechnung integriert. Zuletzt wird noch überprüft, ob genügend Satelliten vorliegen. Die Anzahl an Satelliten muss, wie schon in Kapitel 2 erwähnt und mit Gleichung 2.3 gezeigt, größer-gleich vier sein.

Sind die Bedingungen erfüllt, werden mit der Methode `calculation` der Klasse `CalcSatCoords` die Satellitenkoordinaten berechnet. Die Koordinaten der Satelliten werden anschließend, entsprechend ihrer ID in einem Array gespeichert. Als zusätzliche Information wird die Anzahl an GPS-Satelliten gespeichert, welche nicht zu verwenden sind.

Liegt eine ausreichend große Anzahl an Beobachtungen vor und sind sämtliche Satellitenkoordinaten berechnet, so kann mit dem Ausgleich nach Gauß-Markov begonnen werden. Hierfür wird zu Beginn noch der Einfluss der

Atmosphäre für jeden Satelliten berechnet. Anschließend können die Matrizen aufgestellt werden. Für die Matrix Berechnungen wurde das Paket `math3.linear` von `apache.commons` verwendet. Sind die Receiverkoordinaten berechnet, werden diese mit der Methode `setCoordinates` der Klasse `ReceiverCoordinates` zugewiesen.

5.2.6 *ActivityQuality*

Um nicht nur die Koordinaten am Bildschirm ausgeben zu können, sondern auch grafisch die Einzelpositionen wiederzugeben, wurde die `ActivityQuality` Klasse erstellt. In dieser werden die aktuelle Standardabweichung und Varianz der Koordinaten berechnet. Hierfür ist es notwendig, dass die gesamte Liste der bisherigen Koordinaten der Klasse übergeben wird. Es ist zu beachten, dass ein komplexes Objekt aufteilbar sein muss, damit es in Java einer anderen Activity übergeben werden kann. Dies bedeutet bei der Implementierung, dass der Klasse `ReceiverCoordinates` die Eigenschaft `Parcelable` erhält. Damit ist es möglich einen Intent zu erstellen, welcher das Objekt paketweise abrufen. Hierfür wird dem Objekt ein Schlüsselwort zugeordnet. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Codeausschnitt der Klasse `ReceiverCoordinates` welcher die Parzellierung ermöglicht.

Listing 5.2: Codeausschnitt der Klasse ReceiverCoordinates

```

public class ReceiverCoordinates implements Parcelable {

    [...]

    //Parcelable implementation-----
    @Override
    public int describeContents() {
        return 0;
    }

    @Override
    public void writeToParcel(Parcel dest, int flags) {
        dest.writeList(coordlist);
        dest.writeDoubleArray(coords);
        dest.writeDoubleArray(coordsMgi);
        dest.writeDoubleArray(coordsEll);
        dest.writeDoubleArray(coordsMean);
    }
    public static final Parcelable.Creator CREATOR = new Parcelable.Creator(){
        public ReceiverCoordinates createFromParcel(Parcel in) {
            return new ReceiverCoordinates(in);
        }
        public ReceiverCoordinates[] newArray(int size) {
            return new ReceiverCoordinates[size];
        }
    };

    public ReceiverCoordinates(Parcel in){
        coordlist = new ArrayList<double[]>();
        in.readList(coordlist, ReceiverCoordinates.class.getClassLoader());
        coords = in.createDoubleArray();
        coordsMgi = in.createDoubleArray();
        coordsEll = in.createDoubleArray();
        coordsMean = in.createDoubleArray();
    }
    //End Parcelable implementation -----
}

```

Wie in der Abbildung 5.2 ersichtlich ist, werden jene komplexe Variablen, wie Listen und Arrays, in Pakete geschrieben, damit diese übergeben werden können. In der Klasse ActivityQuality kann nun das Paket mittels getIntent abgerufen werden (Abbildung 5.3).

Listing 5.3: Codeausschnitt der Klasse activity_quality

```
public class activity_quality extends AppCompatActivity {
    List<Point> pointlist = new ArrayList<Point>();
    double[] stddev = new double[]{0,0,0,0,0};

    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.activity_quality);
        Intent intent = getIntent();
        ReceiverCoordinates coords = intent.getExtras().getParcelable( Receiver
        Coordinates );
    }
}
```

Hinzukommend sind in der Klasse ActivityQuality Methoden zur Berechnung der Standardabweichung und Varianz implementiert.

Damit die Koordinaten der einzelnen Epochen angezeigt werden können, wurde eine weitere externe Bibliothek eingebunden. Die Bibliothek nennt sich graphlib und ist unter <https://www.javaworld.com/article/3226733/graphlib-an-open-source-android-library-for-graphs.html> frei erhältlich. Das Design wird in der ActivityQuality.xml geregelt und im Kapitel 5.3 näher erläutert.

5.3 DESIGN

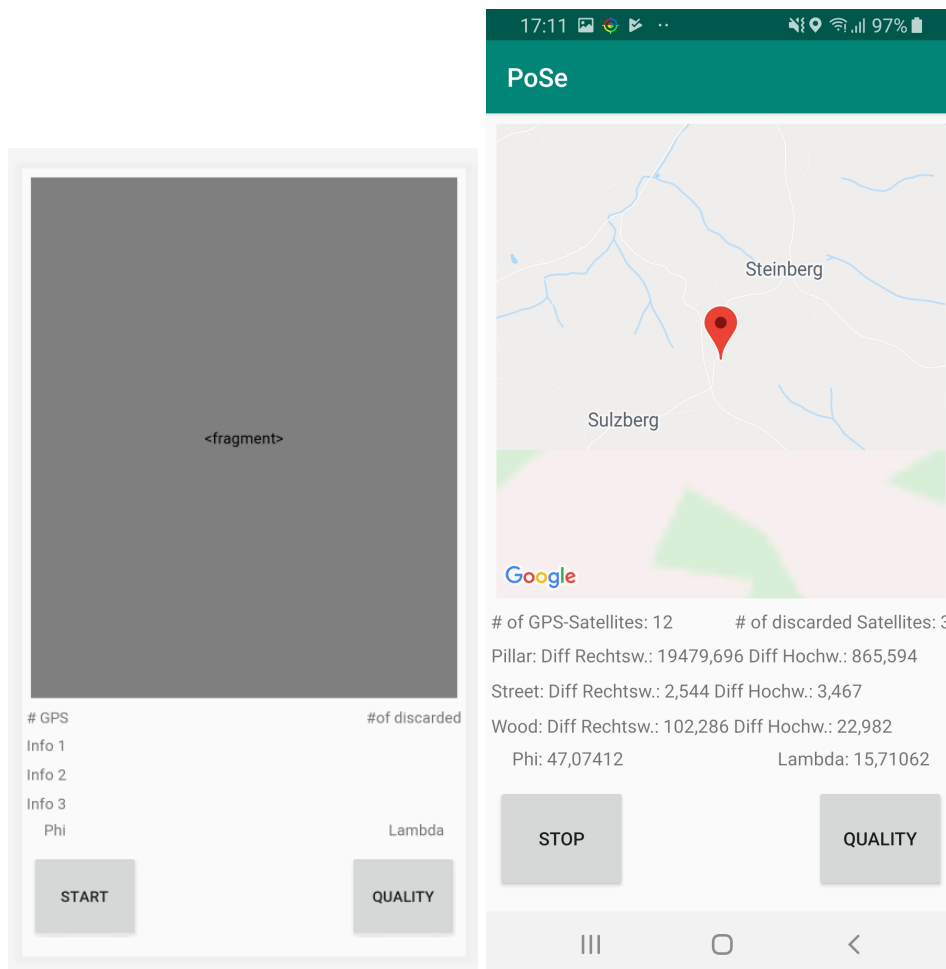
Dem Design wird ein hoher Stellenwert beigemessen. Dieses muss mit wenigen Eingaben und den wichtigsten Informationen einen hohen Benutzerkomfort erzielen. Die Einfachheit ist notwendig, um eine möglichst große Anzahl an Nutzern zu erreichen. Auch hinsichtlich Design müssen zu Beginn einige Überlegungen angestellt werden. Im konkreten Beispiel dieser Applikation sollte beim Start der Software im oberen Bereich eine Karte angezeigt werden, welche einen Überblick der Lage vermittelt, und im unteren Bereich werden Informationen für den Nutzer sowie einige wenige Bedienelemente dargestellt.

Die Dateien, welche das Erscheinungsbild der Activities beeinflussen, sind XML-Dateien. Für jede Activity.java Datei wird eine Activity.xml erstellt. Für dieses Projekt sind somit zwei verschiedene XML-Dateien für das Design

verantwortlich. Das Hauptfenster, MainActivity.java wird mittels der Datei ActivityMain.xml im Erscheinungsbild beeinflusst und für das Design der ActivityQuality.java ist die Datei ActivityQuality.xml zuständig.

5.3.1 MainActivity

Wird die Applikation gestartet, befindet man sich in der MainActivity. Dies ist das Hauptfenster. In diesem ist es möglich die Messungen zu starten, zu Beenden und auf das Fenster ActivityQuality zu wechseln. Des Weiteren sollen die wichtigsten Informationen wiedergegeben werden.



(a) MainActivity in Android Studio.

(b) MainActivity am mobilen Endgerät.

Abbildung 5.1: Main Activity in der Entwicklungsumgebung und am mobilen Endgerät.

Den Großteil des Platzes nimmt der Inhalt der Karte in Anspruch. Dies ist notwendig, damit ein guter Überblick gewährleistet ist. Die erste Textzeile ist aufgeteilt und gibt zwei Informationen zum Satellitenempfang wieder. Einerseits wie viele Satelliten empfangen werden und andererseits die Anzahl an Satelliten, welche aufgrund eines schlechten Signales, verworfen werden müssen. Des Weiteren sind in den nächsten drei Zeilen, aufgrund von Testmessungen, die Differenzen zu den drei Festpunkten angegeben. In Abbildung 5.1(b) ist ersichtlich, dass die Messung am Festpunkt der Straße getätigt wurde. Nähere Informationen zu den Messungen im Feld sind im Kapitel 6 zu finden.

Als letzte Information wird noch die Position ausgegeben. Diese ist im World Geodetic System (WGS) ersichtlich. Das WGS wurde gewählt, da die Koordinaten auf der ganzen Erde darstellbar sind, ohne diverse Bezugssysteme der unterschiedlichen Länder berücksichtigen zu müssen. Der Button am unteren linken Rand ist der Start-Stop Button. Dieser ist beim Start der Applikation mit Start beschriftet. Wird dieser gedrückt, beginnt die Messung und die Aufschrift wechselt auf Stop. Ein erneutes Drücken beendet die Aufzeichnung und exportiert die Liste der Koordinaten in eine Textdatei. Der Button *Quality* ist am rechten unteren Bildrand der Applikation angeordnet. Durch das Drücken des Buttons wird die Activity gewechselt. Wie die Aufschrift verrät gelangt man hierdurch zur ActivityQuality.

5.3.2 ActivityQuality

In der ActivityQuality erhält man einen aktuellen Stand der Messungen hinsichtlich unterschiedlicher Qualitätsparameter. Generell ist ein zweidimensionales Koordinatensystem ersichtlich, in welchem die Punktverteilung geplottet wird. Dieser Plot ist immer mit dem aktuellen Mittelwert zentriert. Damit ist eine gute Übersicht der Punktverteilung gewährleistet. Des Weiteren werden folgende Qualitätsparameter als Textinformation wiedergegeben:

- Standardabweichung
 - Ostrichtung
 - Nordrichtung
 - 2D (Helmertscher Punktlagefehler)

Die Varianz und die Standardabweichung sind gebräuchliche Streumaße in der Geodäsie. Die Varianz einer Grundgesamtheit beschreibt die Streubreite einer Stichprobe und ist definiert als quadratische Abweichung zum Mittelwert. Die theoretische Varianz wird wie folgt berechnet.

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2. \quad (5.1)$$

mit dem Mittelwert $\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$.

Die Standardabweichung ist die positive Wurzel der Varianz

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}. \quad (5.2)$$

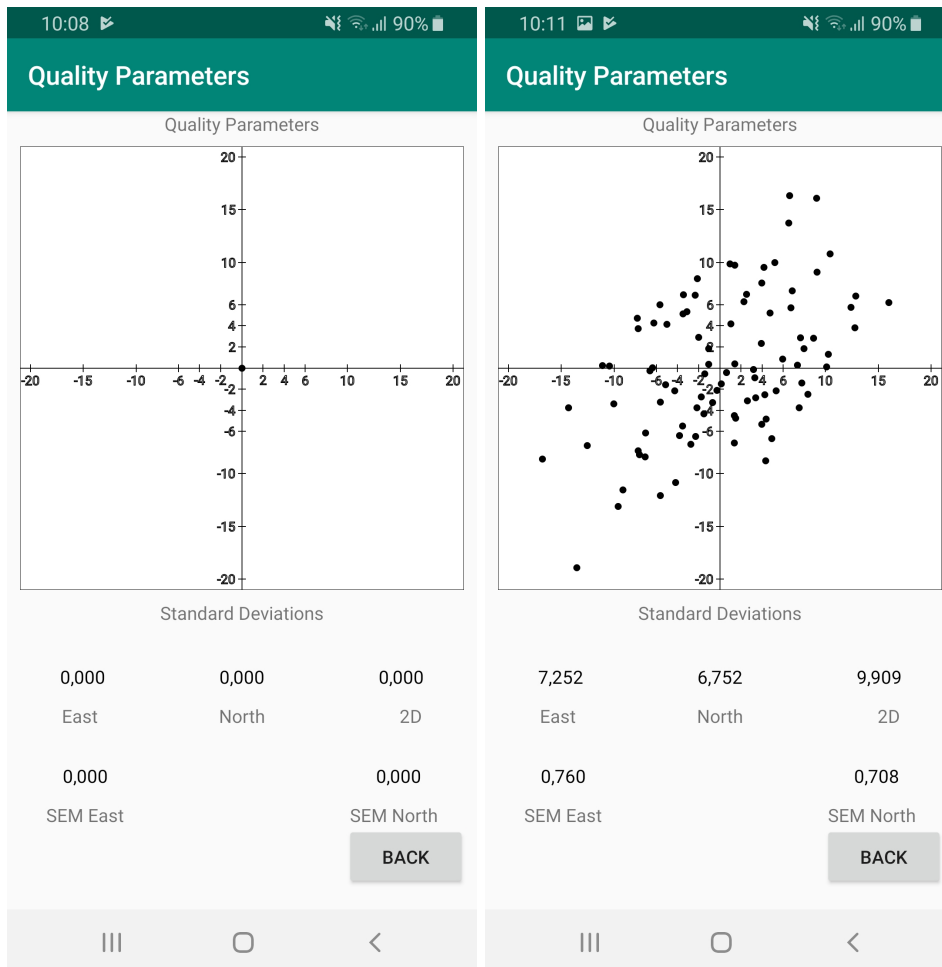
Liegen empirische Messwerte vor, so ist auch die empirische Varianz zu berechnen.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.3)$$

mit dem empirischen Mittelwert $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$.

Da der empirische Mittelwert aus der Grundgesamtheit berechnet wurde und somit ein Freiheitsgrad weniger vorliegt, ist die empirische Standardabweichung durch $n - 1$ zu dividieren.

In der nachfolgenden Abbildung ist die QualityActivity beim Start der Applikation zu sehen und ohne vorliegenden Messungen Abb.:5.2(a). Sowie nach einigen Messungen mit berechneten Qualitätsparametern und Darstellung der Messungen im Koordinatensystem Abb.:5.2(b).



(a) QualityActivity ohne vorliegende Messungen. (b) QualityActivity mit vorliegenden Messungen.

Abbildung 5.2: QualityActivity beim Start der Applikation und bei laufendem Betrieb.

Durch die zentralisierte Darstellung der Messungen ist die Punktverteilung der Einzelmessungen gut erkennbar. Dies wird in Abb.:5.2(b) gut ersichtlich.

KAPITEL 6

HERSTELLUNG VON REFERENZPUNKTEN

Das Ziel der Masterarbeit besteht in der Untersuchung der Genauigkeit einer Positionslösung mittels Rohdaten im bewaldeten Gebiet. Demnach ist es essenziell, dass ein Referenzpunkt im Wald geschaffen wird, dessen Koordinaten bekannt sind und mit welchem die Messungen am mobilen Endgerät verglichen werden können. Um dies zu erreichen, wurde ein Referenzpunkt im Wald terrestrisch geschaffen. Das verwendete Instrumentarium stellt sich wie folgt zusammen:

- GNSS

GNSS-Antenne: Leica GS15

- Terrestrisch

Totalstation: Leica TS15 1"R1000

Prisma: Leica 360°

- Receiver/Controller

Controller: Leica TS14

6.1 TESTGEBIET

Das bewaldete Testgebiet wurde so ausgewählt, dass es sich nahe am Arbeitsplatz befand, sodass mehrere Messungen, an unterschiedlichen Tagen, ohne großen Aufwand getätigt werden konnten. Zusätzlich wurde auf einen guten und ausreichend dichten Baumbestand geachtet, um hinreichend aussagekräftige Messungen generieren zu können. In der nachfolgenden Abbildung 6.1 ist die Großraumlage des Testgebietes ersichtlich.

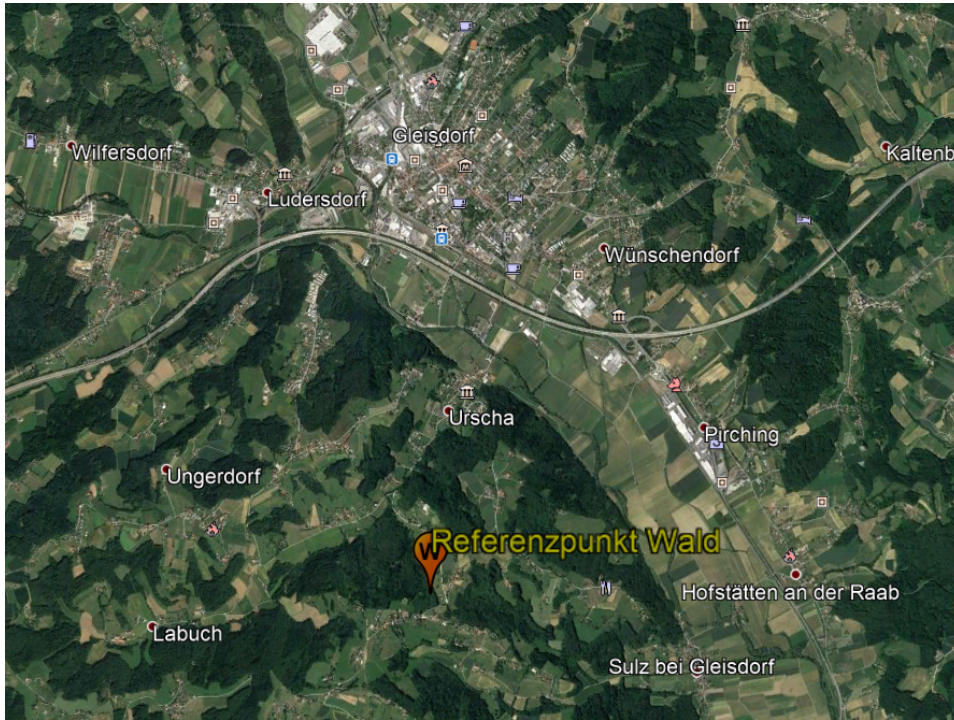


Abbildung 6.1: Großraumlage des Testgebietes.

Das Testgebiet befindet sich südlich von Gleisdorf. Zur Orientierung ist der Referenzpunkt im Wald auf der Karte dargestellt. Des Weiteren wurde ein Referenzpunkt auf der Straße geschaffen, um Messungen ohne störende Einflüsse des Signalweges generieren zu können. Ein dritter Referenzpunkt in der Wiese wurde für die Differential Global Positioning System (DGPS)-Messung verwendet. Eine Übersicht der näheren Umgebung und Lage der Referenzpunkte findet sich in Abbildung 6.2.



Abbildung 6.2: Kleinraumlage des Testgebietes.

6.2 TRANSFORMATION

Für die terrestrische Herstellung der Referenzpunkte mittels Totalstation, wurde zuerst eine Transformation für das Gebiet erstellt. Hierfür wurden Festpunkte im Umkreis des Testgebietes abgefragt. Die Abfrage erfolgte über die Homepage des Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) und wurde für die Festpunkte einmal im Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989 (ETRS89) und einmal im MGI getätigt. In der Tabelle 6.1 sind die Punkte aufgeführt, welche in beiden Systemen vorliegen und für die Berechnung der Transformation verwendet wurden. Die Angaben in der Tabelle wurden auf die wichtigsten Informationen reduziert. Den Punkttyp, die Bundesmeldenetz (BMN)-Nummer, dieKatastralgemeinde (KG)-Nummer, die Punktnummer sowie den Stabilisierungstyp.

Tabelle 6.1: Festpunkte im MGI und ETRS89

Typ	BMN Nr.	KG	Pkt. Nr.	Stabilisierung
TP	165	68104	23A1	KT-Stein
TP	165	68104	23A2	Vers.-Stein
TP	165	68104	23A3	Vers.-Stein
TP	165	68104	23A4	Vers.-Stein
TP	165	68104	445A1	KT-Stein
TP	165	68149	390A1	KT-Stein
TP	165	68156	446A1	KT-Stein
TP	165	68156	447A1	KT-Stein
EP	165	68156	2	EP-Marke
EP	165	68104	5	EP-Marke
EP	165	68104	6	EP-Marke
EP	165	68104	7	EP-Marke

Es ist zu beachten, dass die zu bestimmenden Punkte innerhalb des Bereiches der Festpunkte liegen, da ansonsten die Transformation instabil wird und nicht mehr zu verwenden ist. Die Transformation wurde mittels der geodätischen Software GEOSI berechnet. Aufgrund der Tatsache, dass in weiterer Folge mit Leica Geräten gearbeitet wurde, fiel die Wahl auf das Leica Standarddatenbankformat DBX für den Export. Die Transformation kann in weiterer Folge für den Messjob als Koordinatensystem verwendet werden. Eine Übersicht der verwendeten Punkte ist in Abbildung 6.3 ersichtlich.

Bestelldokumentation**Festpunkte Lage ETRS89**

Bestelldatum	21.05.2019
Bestellnummer	0006296163
Kundendaten	
Benutzer	██████████
Email	██████████
Kundennummer	██████████
Auswahl	Festpunkt Lage 9 Objekte
Übersicht	

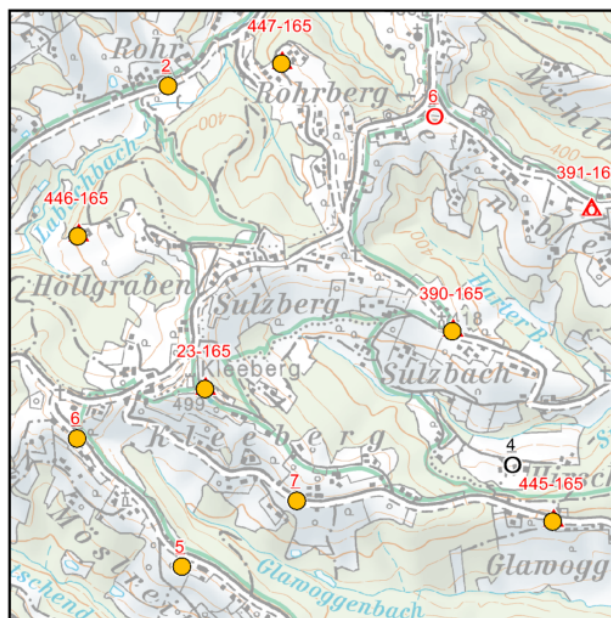


Abbildung 6.3: Lage der Festpunkte.

6.3 VERMARKUNG DER REFERENZPUNKTE

Die Referenzpunkte mussten, angepasst an die Bodenbeschaffenheit stabilisiert werden, sodass diese über einen längeren Zeitraum stabil bleiben. Eine Ausnahme bildet der Punkt in der Wiese. Dieser wurde nur für die DGPS-Messung verwendet und danach, aufgrund einer Bewirtschaftung der Wiese, wieder entfernt.

Um die Punkte bestimmen zu können, wurde ein neuer Messjob am Gerät angelegt und die berechnete Transformation als Koordinatensystem festgelegt. Die Stationierung im Feld erfolgte daraufhin mittels Real Time Kinematics (RTK)-Messung. Um eine Überbestimmung an Parametern bei der Berechnung zu erreichen, wurden drei Punkte verwendet. Die minimale Genauigkeitsanforderung der Punktbestimmung wurde am Gerät mit 3 cm festgelegt. Dies ist aufgrund der möglichen Genauigkeit des mobilen Endgerätes, mehr als ausreichend.

Nachdem die Stationierung gesetzt wurde, konnten die drei Referenzpunkte eingemessen werden. Die Koordinaten der Referenzpunkte sowie deren Stabilisierung ist in der nachfolgenden Liste ersichtlich.

Tabelle 6.2: Referenzpunkte im ETRS89

Referenzpunkt	φ	λ	Stabilisierung
Wald	47,07351122	15,70824564	Metallrohr
Wiese	47,07373252	15,70882238	Metallrohr
Straße	47,07375657	15,70962309	Messnagel

In der nachfolgenden Abbildung ist der Referenzpunkt im Wald und die damit einhergehenden Messbedingungen ersichtlich.



Abbildung 6.4: Referenzpunkt im Wald.

Die Stabilisierung des Referenzpunktes erfolgte mittels Metallrohr und Kunststoffkappe. In Abbildung 6.5 ist dies dargestellt.



Abbildung 6.5: Stabilisierung des Referenzpunktes.

In Abbildung 6.6 ist die Totalstation ersichtlich und die Schaffung eines Referenzpunktes im freien Feld, welcher im Anschluss für die DGPS Messung verwendet wurde.



Abbildung 6.6: Referenzpunkt für DGPS Messung.

KAPITEL 7

ERGEBNISSE UND INTERPRETATION DER MESSUNGEN

Es wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten Messungen durchgeführt. Dieses Kapitel widmet sich der Auswertung und Darstellung der Messergebnisse. Die Rohdatenaufzeichnung erfolgte mit folgender Ausrüstung:

- Mobiles Endgerät:

Typ: Samsung Galaxy S8

Modell: SM-G950F

Android-Version: 7

- GNSS-Empfänger:

Receiver: Leica GS14

Antenne: Leica GS15

Drei verschiedene Varianten der Punktbestimmung werden miteinander verglichen. Die Smartphone interne Lösung, die Lösungen mittels Rohdaten-zugriff sowie die DGPS Lösung. Um die Ergebnisse bewerten zu können, wird die euklidische Distanz zum Referenzpunkt berechnet, sowie die zweidimensionale Standardabweichung in der Lage angegeben. Die graphische Darstellung einer Lösung ist in Abbildung 7.1 ersichtlich.

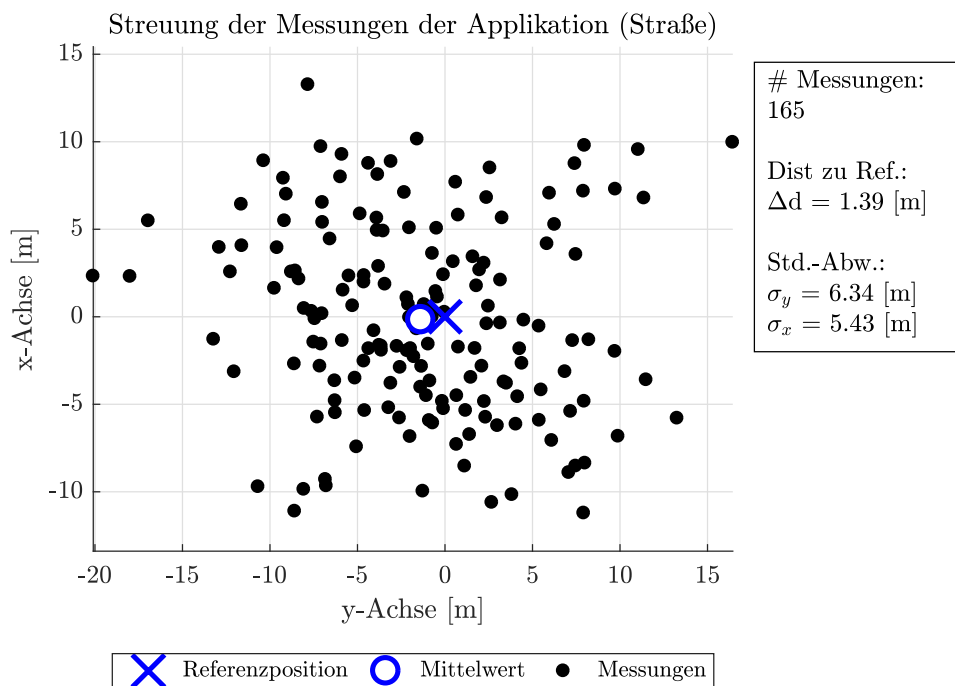


Abbildung 7.1: Darstellung des Messergebnisses inklusive statistischer Werte.

Der Plot zeigt jeweils die einzelnen Messungen sowie den Mittelwert der gesamten Messung und den korrespondierenden Referenzpunkt. Des Weiteren wird die Anzahl der Messungen sowie die euklidische Distanz zum Referenzpunkt und die Standardabweichung der Lage dargestellt. Dies sind wichtige Werte, welche einen Vergleich der einzelnen Lösungen ermöglichen.

7.1 MESSERGEBNISSE AM STRASSENREFERENZPUNKT

Im ersten Teil der Auswertungen, wird auf die Ergebnisse der Messungen am Straßenreferenzpunkt eingegangen, da dieser, anhand seiner exponierten Lage, annähernd ideale Bedingungen für Global Navigation Satellite System (GNSS) Messungen bietet.

Tabelle 7.1: Ergebnisse der Messungen am Straßenreferenzpunkt

ID	Art der Messung	Anzahl der Messungen []	Distanz zu Referenzpunkt Δd [m]	σ_y [m]	σ_x [m]
1	App	39	10.29	7.00	9.35
2	App	182	3.97	5.83	5.37
3	App	138	4.51	5.80	5.75
4	App	105	4.88	7.35	5.19
5	App	76	11.44	8.02	20.95
6	App	52	1.79	4.77	5.73
7	App	165	1.39	6.34	5.43
8	App	91	6.04	5.77	4.68
9	Built-in	194	6.21	2.99	1.53
10	Built-in	115	3.11	4.66	3.29
11	Built-in	172	2.09	1.13	0.76
12	Built-in	84	7.66	2.93	1.09

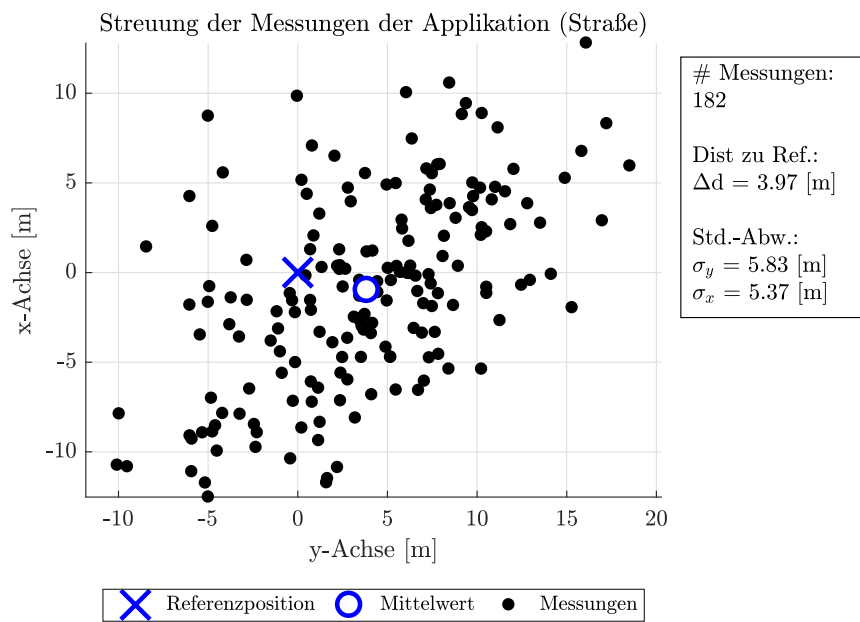
Generell ist festzustellen, dass die Ergebnisse der Applikation und der Built-in Lösung im wesentlichen sehr ähnlich sind. Die Spanne der Distanz zum Referenzpunkt reicht bei der Applikation von 1.39 m bis 11.44 m . Jene der Built-in Lösung von 2.09 m bis 7.66 m . Wobei die Messungen mit der ID 1 und 5 aufgrund Ihrer hohen Standardabweichung und Distanz zum Referenzpunkt auch als Ausreisser betrachtet werden können, womit sich eine Spanne für die Applikationsmessungen von 1.39 m bis 6.04 m ergibt. Einzig die Standardabweichungen sind bei der Built-in Lösung deutlich geringer.

Der Median der Standardabweichungen für σ_x der Applikation liegt bei 5.58 m . Demnach kann die Messung 5 durchaus als Ausreißer betrachtet werden. Die Standardabweichung der Messung 1 ist mit 9.35 m fast doppelt so hoch wie der Median. Dies ist möglicherweise auf die geringe Anzahl von 39 Messungen zurückzuführen. Die Tabelle 7.2 zeigt den Durchschnitt der Ergebnisse, ohne Messung 5.

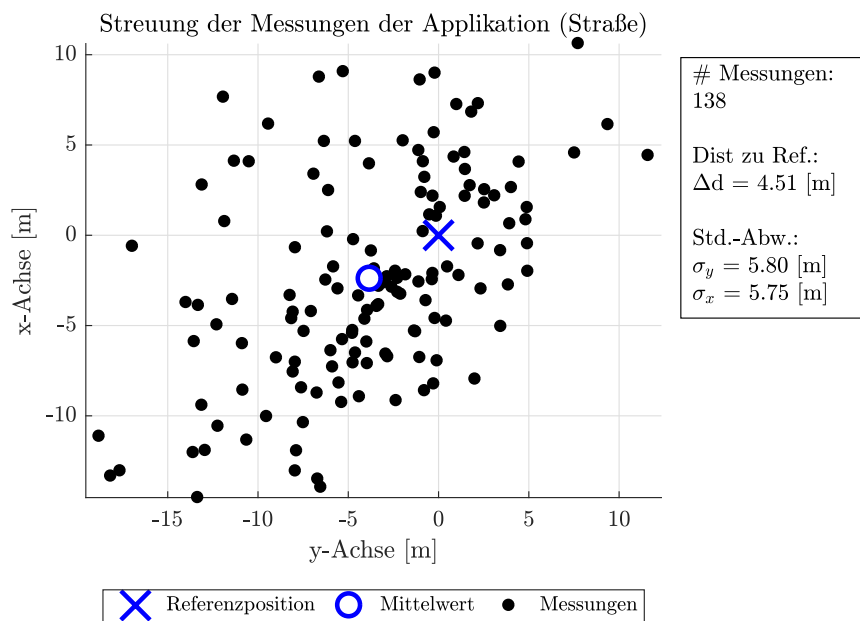
Tabelle 7.2: Mittelwerte der statistischen Kennzahlen am Straßenreferenzpunkt

Art der Messung	Distanz zu Referenzpunkt Δd [m]	$\bar{\sigma}_y$ [m]	$\bar{\sigma}_x$ [m]
Applikation	4.70	6.12	5.93
Built-in	4.77	2.93	1.67

Aus Tabelle 7.2 ist ersichtlich, dass sich die Distanz zum Referenzpunkt der beiden unterschiedlichen Methoden kaum unterscheidet. Die Standardabweichung bei der Built-in Lösung ist jedoch auffallend gering. Um die Ergebnisse besser beurteilen zu können, muss die Verteilung der Messpunkte betrachtet werden.

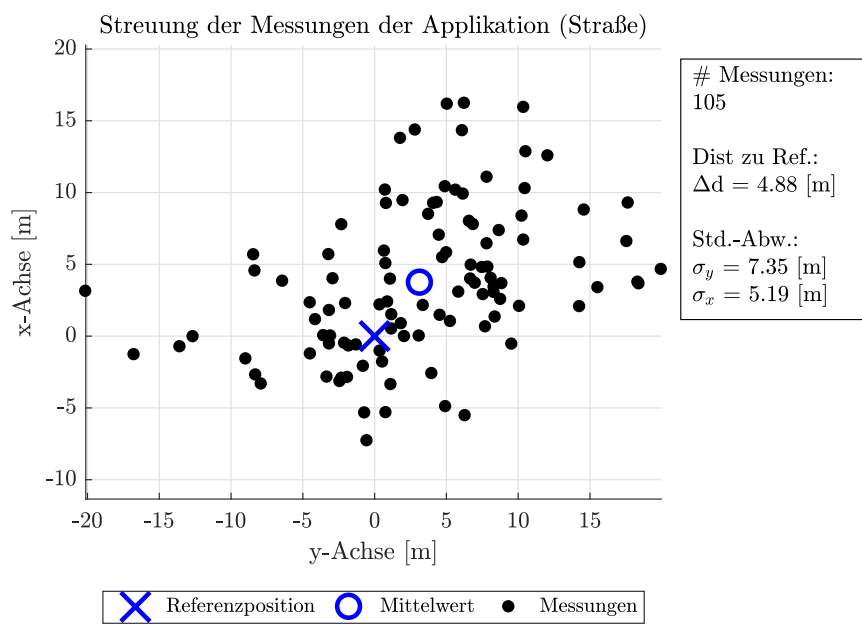


(a) ID 2

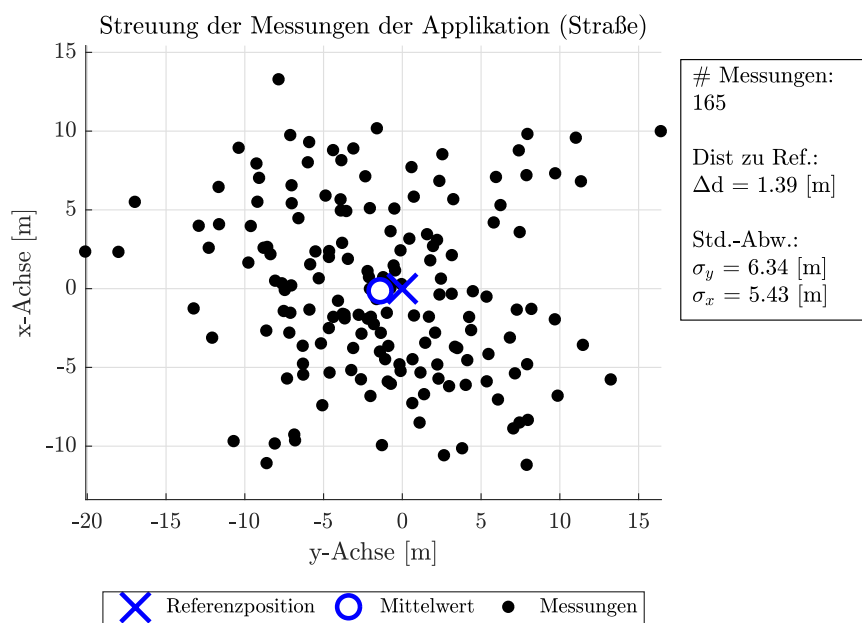


(b) ID 3

Abbildung 7.2: Messverteilung der Applikation am Straßenreferenzpunkt (ID 2 & ID 3).

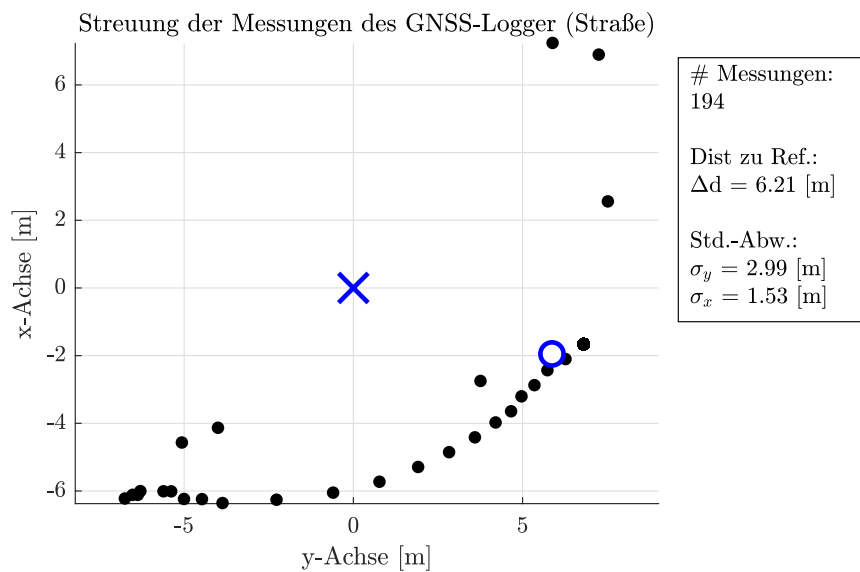


(a) ID 4

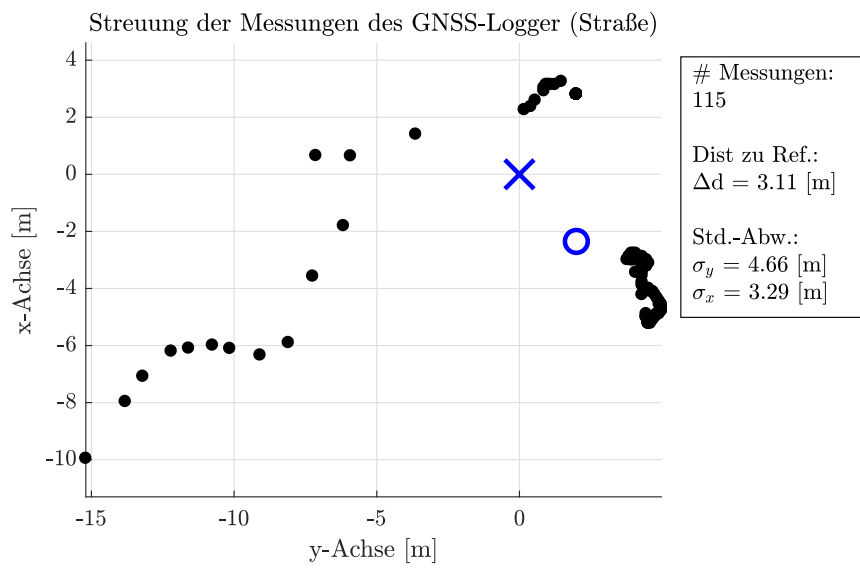


(b) ID 7

Abbildung 7.3: Messverteilung der Applikation am Straßenreferenzpunkt (ID 4 & ID 7).

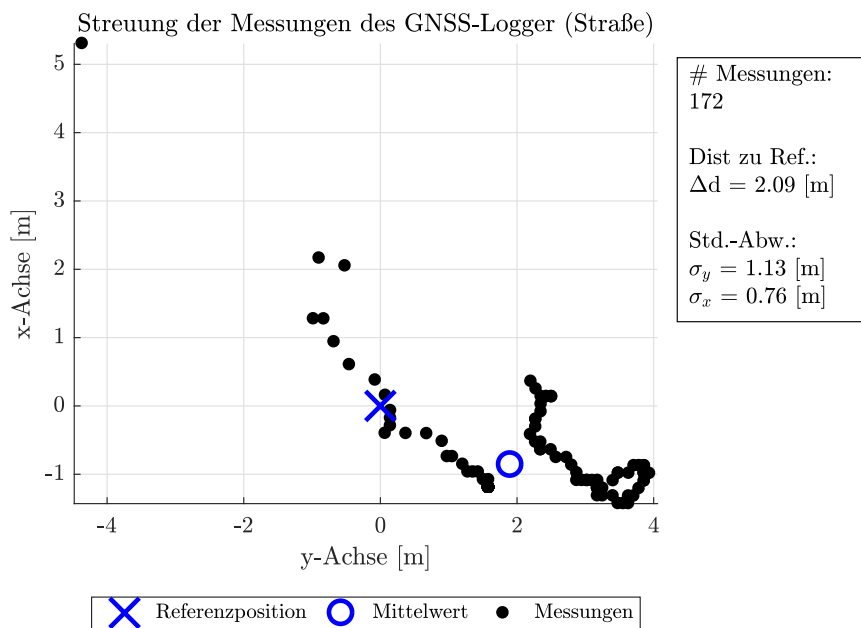


(a) ID 9

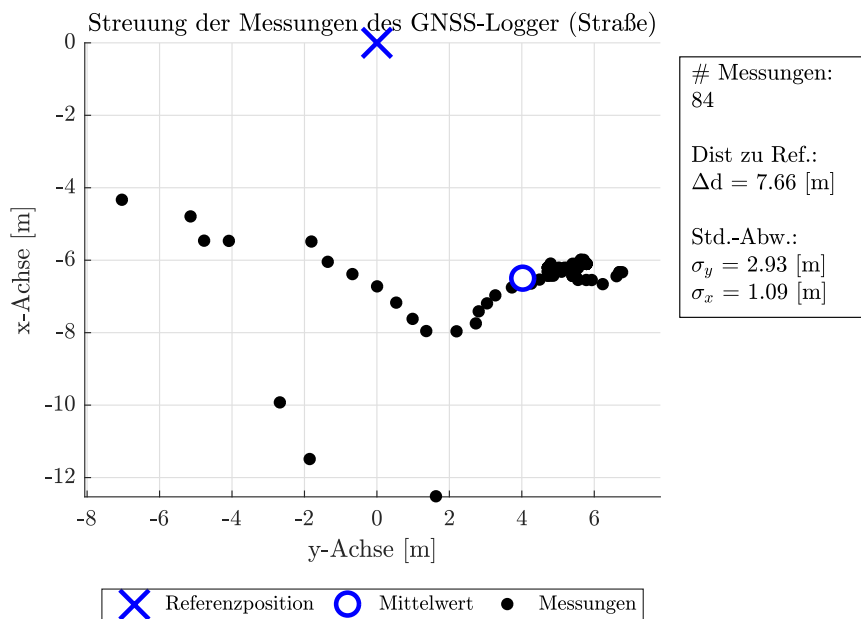


(b) ID 10

Abbildung 7.4: Messverteilung der Built-in Lösung am Straßenreferenzpunkt (ID 9 & ID 10).



(a) ID 11



(b) ID 12

Abbildung 7.5: Messverteilung der Built-in Lösung am Straßenreferenzpunkt (ID 11 & ID 12).

Für die Darstellung der Verteilung der Messpunkte, wurden jene vier Mess-

perioden gewählt, welche die meisten Messungen vorweisen. Dies erleichtert die Beurteilung der Verteilung der Messpunkte. Aus Grafik 7.2 und 7.3 ist ersichtlich, dass die Messungen gleichmäßig und zufällig um den Mittelwert streuen. Dies stellt auch ein zu erwartendes Bild von gleichverteilten und untereinander unabhängigen Messungen dar.

Auffallend ist jedoch die Ansammlung der Messpunkte in bestimmten Bereichen der Built-in Lösung. Diese sind sehr gut in Abbildung 7.4 und 7.5 ersichtlich. Hier scheint eine Art Filterfunktion die Messergebnisse zu beeinflussen. Des Weiteren ist auffällig, dass augenscheinlich die Anzahl an Messungen nicht mit den Datenpunkten übereinstimmt. Besonders gut ersichtlich ist dies in der Abbildung 7.4(a). Hier sollten 194 unterschiedliche Messungen vorliegen, was offensichtlich nicht der Fall ist. Aus diesem Grund wurde eine Analyse der Messpunkte in ihrer Häufigkeit angestellt.

Im nachfolgenden ein Vergleich der Häufigkeit unterschiedlicher Messwerte zwischen der Built-in Lösung und der Applikation.

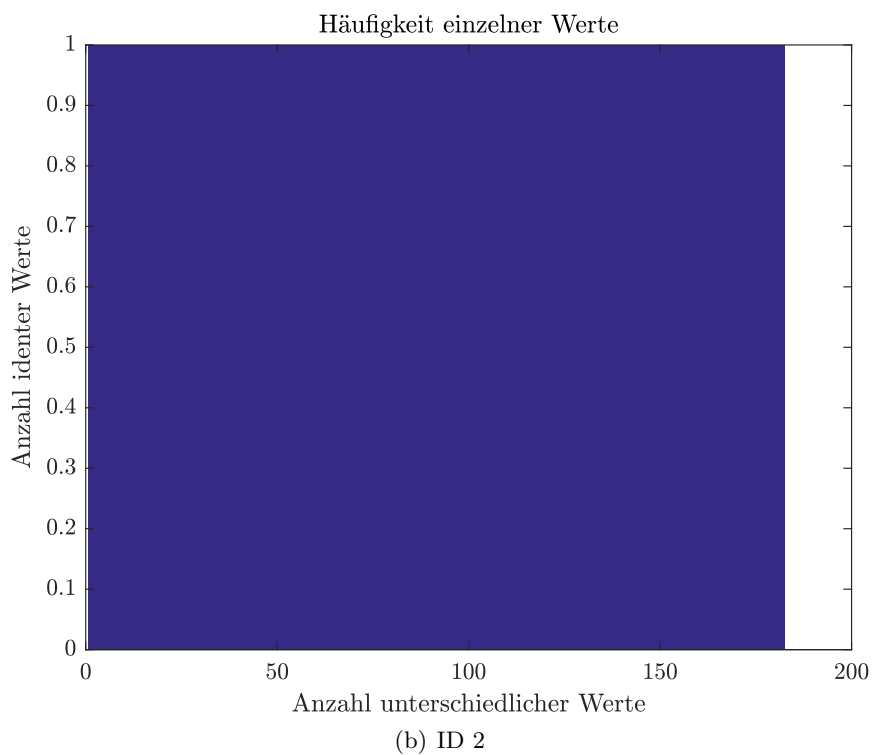
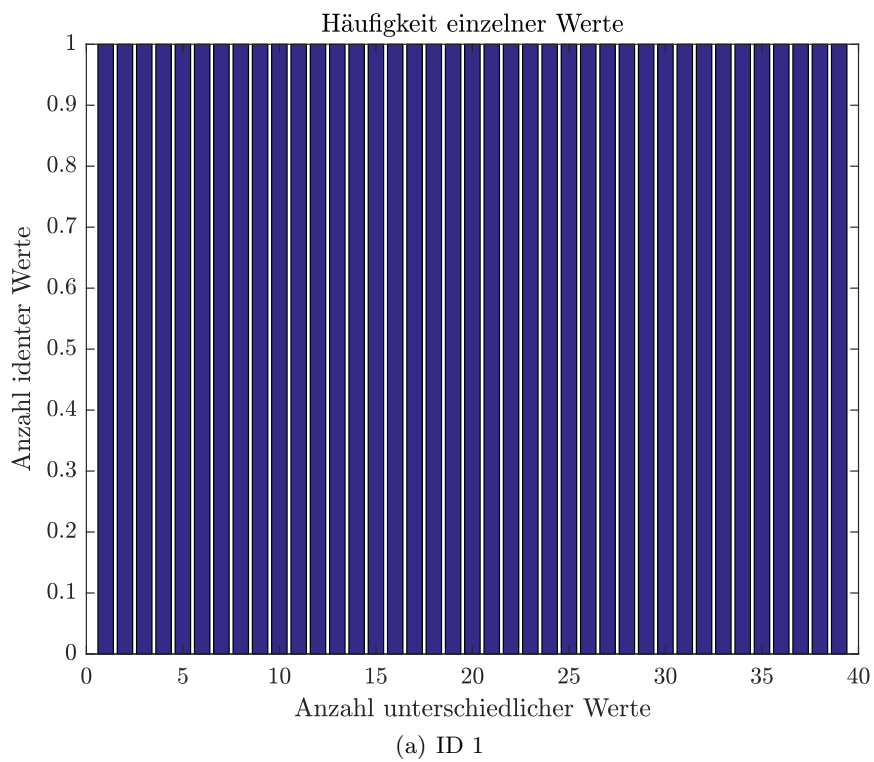
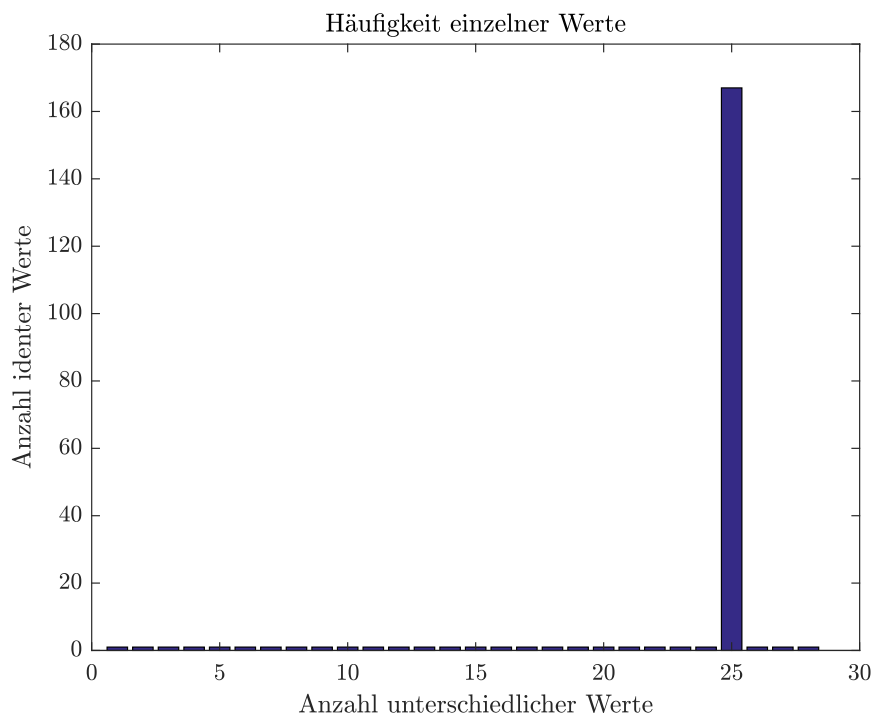
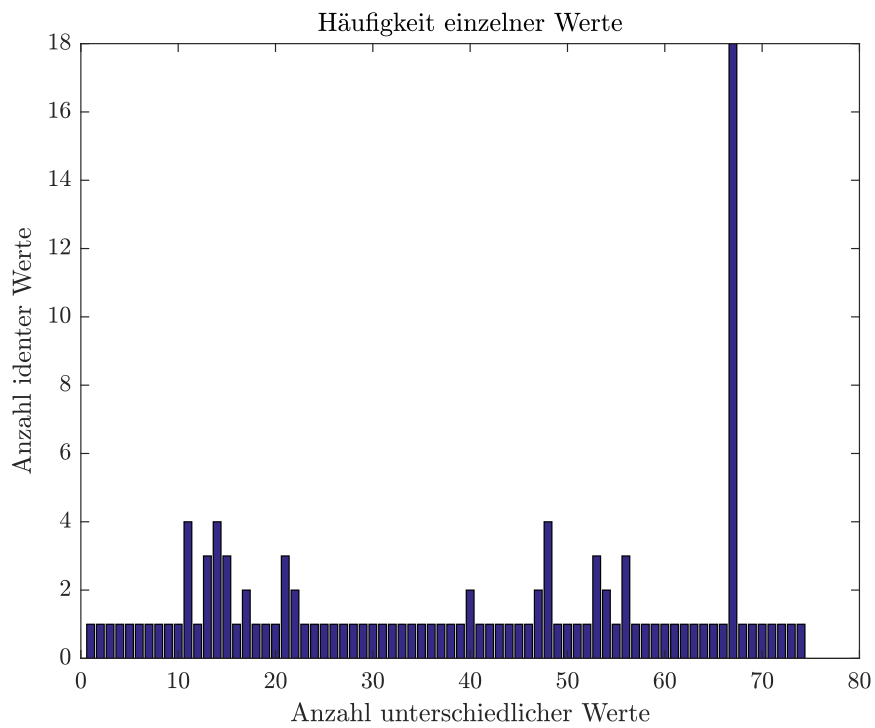


Abbildung 7.6: Häufigkeiten der einzelnen Messwerte der Applikation am Referenzpunkt der Straße.



(a) ID 9



(b) ID 10

Abbildung 7.7: Häufigkeiten der einzelnen Messwerte der Built-in Lösung am Referenzpunkt der Straße.

In den Abbildungen 7.6 und 7.7 sind die Unterschiede der beiden Varianten gut ersichtlich. Die Messwerte der Applikation kommen jeweils nur einmal vor. Dies bedeutet, dass die Anzahl der Messungen auch der Anzahl an unterschiedlichen Messwerten entspricht. Ein Ergebnis, welches auch so zu erwarten war, da jede Epoche separat ausgewertet wird. Aus Gründen der Übersicht wurden zwei Ergebnisse gewählt. Eines welches nur 38 Messungen enthält, sowie ein Ergebnis welches auch im Plot der Punkteverteilung verwendet wurde, siehe Abbildung 7.2(a).

Im Gegensatz zu den Messungen der Applikation, zeigt der Plot 7.7, der Built-in Lösung ein vermehrtes Aufkommen selber Ergebnisse. In dieser Abbildung ist ersichtlich, dass das Messergebnis der ID 9 über 160 mal den 25ten Wert verwendet. Dies erklärt auch die geringe Anzahl an Datenpunkten im Übersichtsplot der Abbildung 7.4(a). Auch in Abbildung 7.7(b) ist ein vermehrtes Auftreten selber Ergebnisse erkennbar. Jedoch nicht so stark ausgeprägt. Hier wiederholen sich immer wieder einzelne Ergebnisse.

Diese Darstellung der auftretenden Häufigkeiten der unterschiedlichen Messwerte verstärkt die Annahme, dass eine Filterung bei der Berechnung der Position verwendet wird.

7.2 MESSERGEBNISSE AM REFERENZPUNKT IM WALD

In weiterer Folge werden nun die Messergebnisse im bewaldeten Gebiet untersucht. Die Tabelle 7.3 zeigt, wie bereits zuvor am Beispiel der Straße, die euklidische Distanz zum Referenzpunkt, sowie die Standardabweichungen als wichtige statistische Werte.

Tabelle 7.3: Ergebnisse der Messungen am Referenzpunkt im Wald

ID	Art der Messung	Anzahl der Messungen []	Distanz zu Referenzpunkt Δd [m]	σ_y [m]	σ_x [m]
13	App	106	15.27	14.10	19.87
14	App	126	25.79	15.78	26.14
15	App	135	16.63	12.77	20.26
16	App	121	78.19	38.98	130.63
17	App	99	2.76	15.83	48.50
18	App	355	17.71	17.77	49.54
19	App	224	13.85	11.95	23.98
20	App	121	6.70	16.15	20.72
21	App	398	23.25	18.66	26.76
22	App	258	11.39	11.47	23.03
23	Built-in	35	6.77	1.46	1.41
24	Built-in	112	6.85	1.07	1.63
25	Built-in	232	6.66	4.46	7.15
26	Built-in	411	11.61	3.04	4.43

Wie in Kapitel 7.1 besprochen, kann auch hier, in Anbetracht der Tatsache, dass der Median von σ_x 21.875 m beträgt, die Messung 16 als Ausreißer bezeichnet werden. Die mittleren Werte für die euklidische Distanz zum Referenzpunkt sowie der Standardabweichungen sind in Tabelle 7.4 angeführt.

Tabelle 7.4: Mittelwerte der statistischen Kennzahlen am Referenzpunkt im Wald

Art der Messung	Distanz zu Referenzpunkt Δd [m]	$\bar{\sigma}_y$ [m]	$\bar{\sigma}_x$ [m]
Applikation	14.82	14.94	28.76
Built-in	7.97	2.51	3.66

Generell ist festzuhalten, dass der Einfluss des bewaldeten Gebietes deutlich sichtbar ist. Die Abweichungen zum Referenzpunkt sind im Falle der Applikation im Durchschnitt dreimal so groß als im freien Gelände. Die Standardabweichung ist im Rechtswert ebenfalls dreimal so groß, im Hochwert jedoch fast fünfmal so groß, als dies beim Referenzpunkt der Straße der Fall ist. Im Falle der Built-in Lösung ist eine Verdoppelung der Abweichung zum Referenzpunkt ersichtlich. Die Standardabweichungen weisen jedoch eine nur

geringe Verschlechterung vor.

Auch hier ist eine Betrachtung der Punktverteilung aufschlussreich. In den Abbildungen 7.8 und 7.9 sind exemplarisch vier Messergebnisse der Applikation dargestellt.

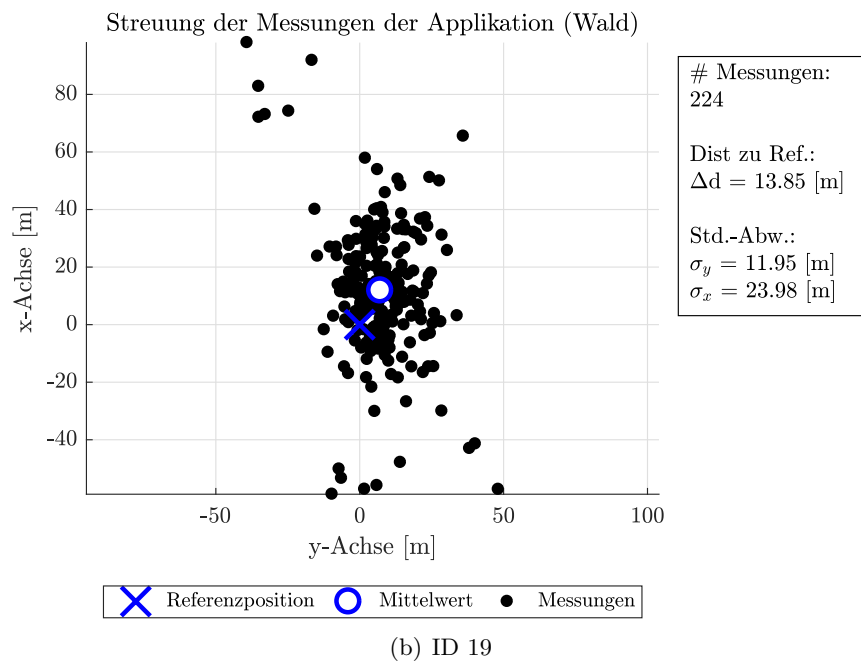
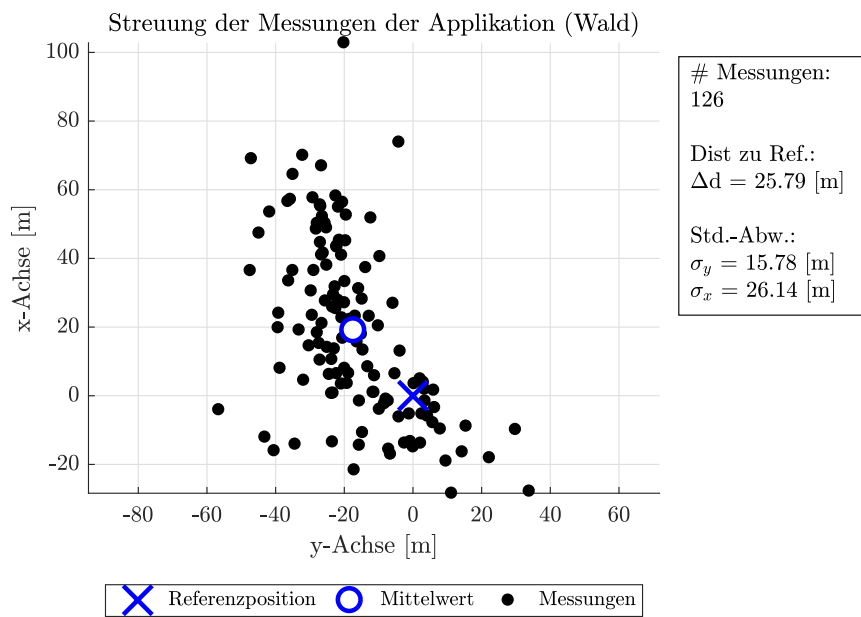


Abbildung 7.8: Messverteilung der Applikation am Referenzpunkt im Wald (ID 14 & ID 19).

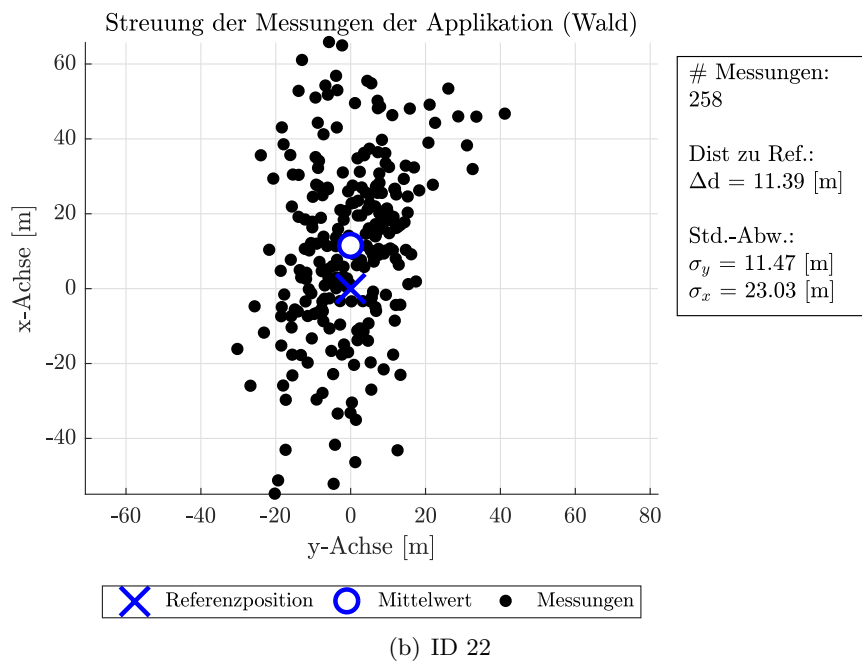
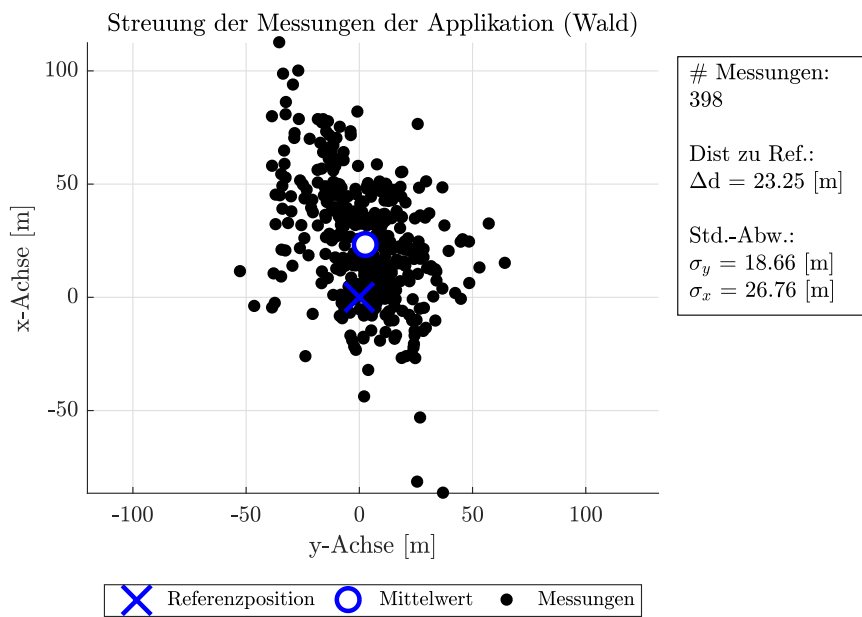
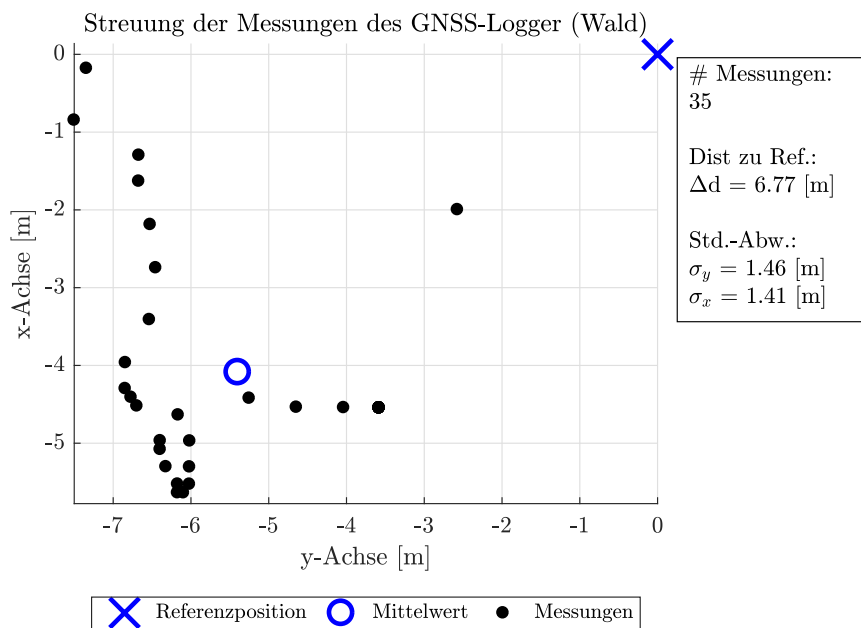


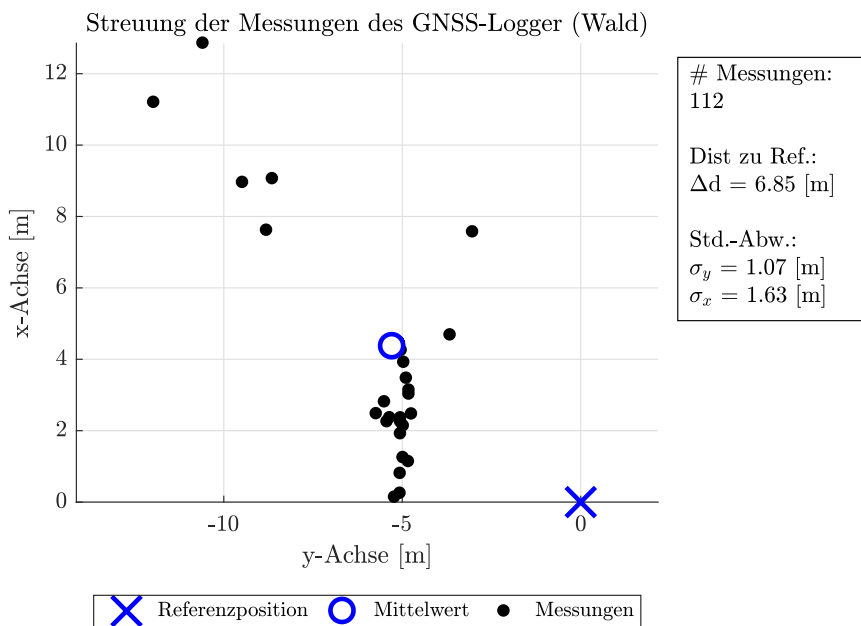
Abbildung 7.9: Messverteilung der Applikation am Referenzpunkt im Wald (ID 21 & ID 22).

Es ist ersichtlich, dass eine zufällige Verteilung der Messpunkte vorliegt,

jedoch mit einer deutlich stärkeren Nord-Süd Ausrichtung. Dies ist naturgemäß auf die Konstellation der GPS-Satelliten zurückzuführen. In weiterer Folge soll nun auch die Punktverteilung der Built-in Lösung betrachtet werden. Im den Abbildungen 7.10 und 7.11 sind diese ersichtlich.



(a) ID 23



(b) ID 24

Abbildung 7.10: Messverteilung der Built-in Lösung am Referenzpunkt im Wald (ID 23 & ID 24).

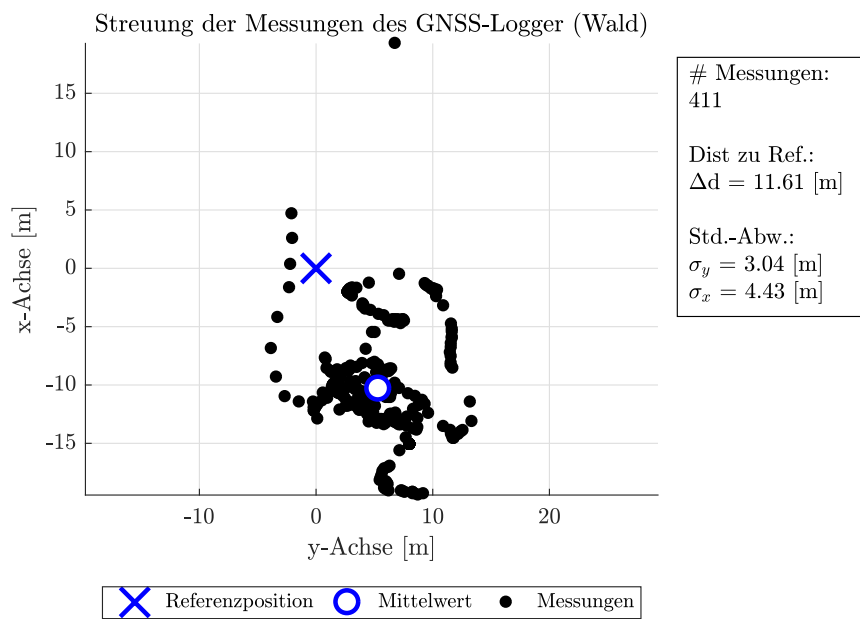
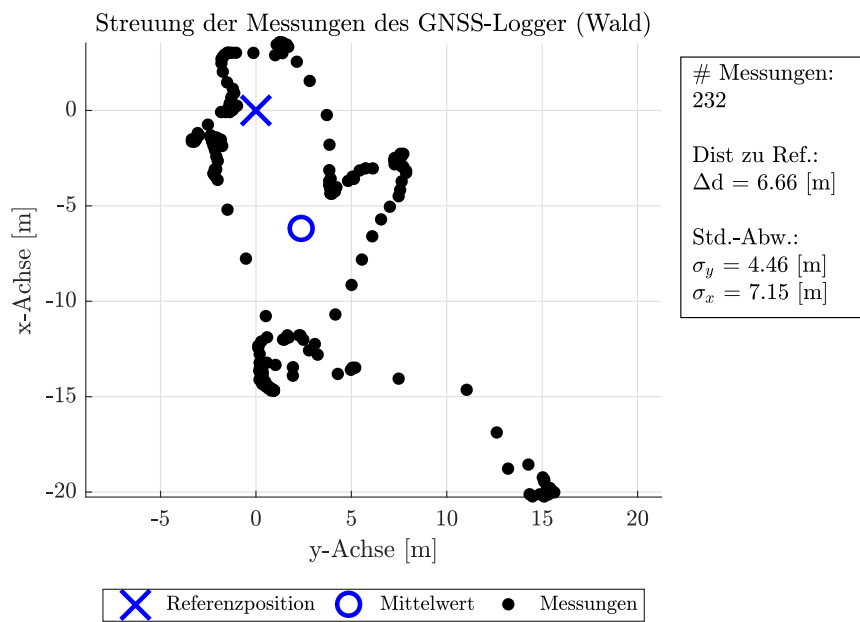


Abbildung 7.11: Messverteilung der Built-in Lösung am Referenzpunkt im Wald (ID 25 & ID 26).

Wie schon im Kapitel 7.1 erläutert, kann auch hier, aufgrund der Anzahl der Messpunkte und der augenscheinlichen Abweichung davon im Plot, eine Häufung von Messwerten vermutet werden. Aufschluss darüber geben wiederum die Plotts der Messwerteverteilung, welche in den nachfolgenden Abbildungen 7.12 und 7.13 ersichtlich sind.

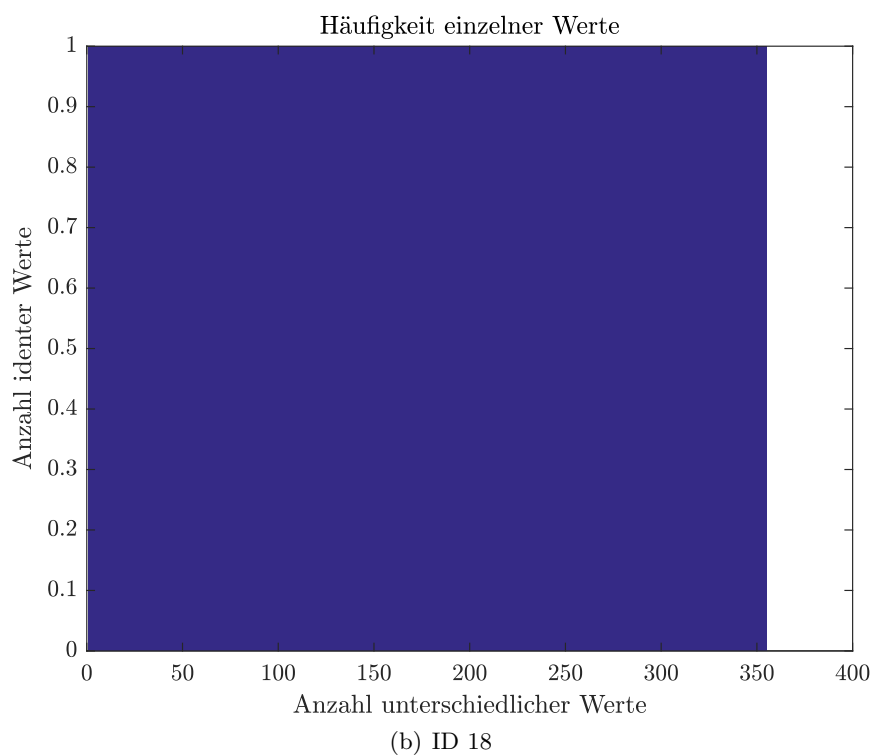
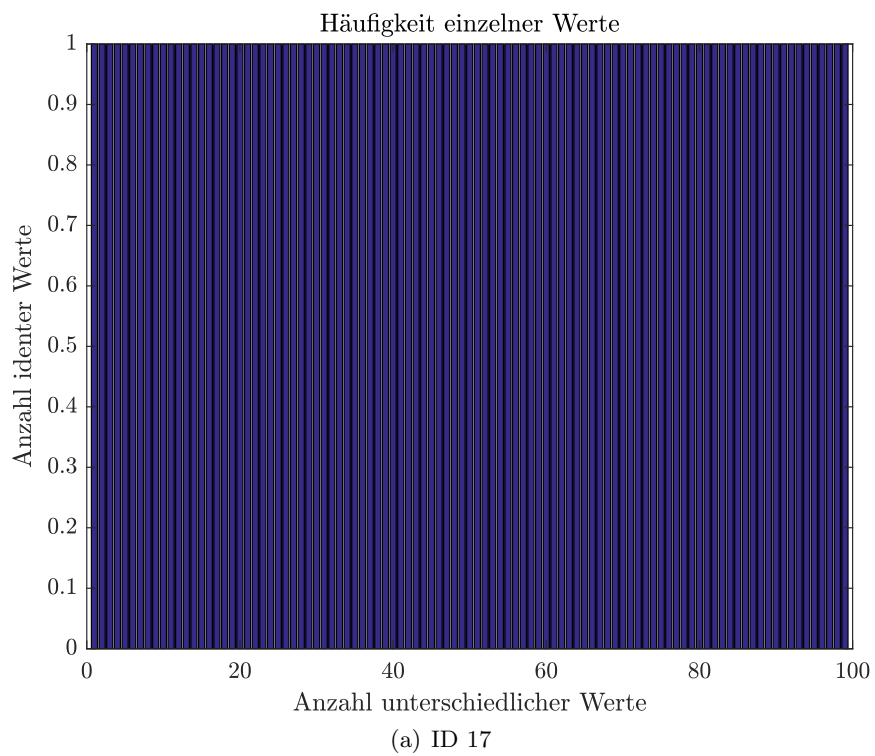
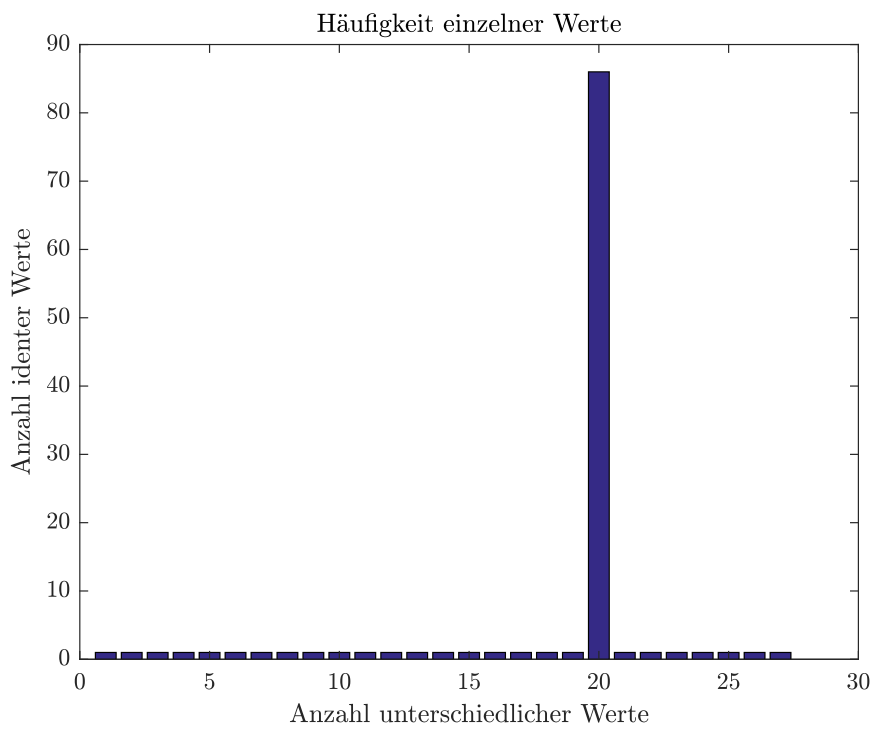
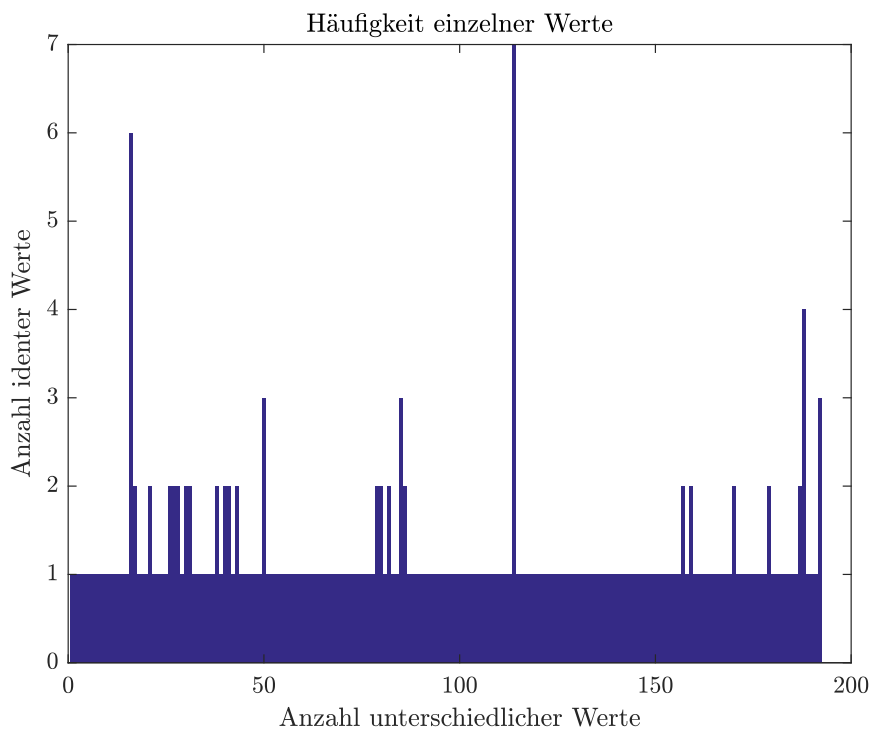


Abbildung 7.12: Häufigkeiten der einzelnen Messwerte der Applikation am Referenzpunkt im Wald.



(a) ID 24



(b) ID 25

Abbildung 7.13: Häufigkeiten der einzelnen Messwerte der Built-in Lösung am Referenzpunkt im Wald.

Der Vergleich der jeweiligen Methoden zeigt auch hier ein ähnliches Ergebnis wie es bereits im Kapitel 7.1 beim Straßenreferenzpunkt zu sehen war. Auch hier sind in den Abbildungen 7.13 (a) und 7.13 (b) die mehrfach vorkommenden Messergebnisse ersichtlich.

7.3 ERGEBNISSE DER DGPS-MESSUNG

Zusätzlich zu der, mit den Rohdaten gerechneten, eigenen Lösung, wird auch eine mögliche Verbesserung der Handylösung mittels Differential Global Positioning System (DGPS) untersucht. Hierfür wird zeitgleich mit einem hochwertigen Leica GNSS-Receiver und dem Handy die Rohdaten aufgezeichnet. Der Leica Receiver wird hierfür auf einem zuvor bestimmten Referenzpunkt stationiert und mit dem Handy wird am Referenzpunkt im Wald gemessen. Für die Auswertung der DGPS-Messung wird die Open-Source-Software rtkLib verwendet. Die Software ermöglicht eine Vielzahl an möglichen Berechnungen und Postprozessingoperationen mit GNSS-Daten. Nähere Informationen zu diesem Projekt sind unter <http://www.rtklib.com> zu finden.

Für die DGPS Auswertung sind folgende Parameter wichtige Eckdaten:

- Elevation Mask: 5°
- Calculation: combined (forward & backward)
- Rohdatenaufzeichnung GNSS Empfänger:
 - Zeitpunkt der ersten Beobachtung: 14:09:08
 - Zeitpunkt der letzten Beobachtung: 14:19:18
- Rohdatenaufzeichnung mit mobilem Endgerät:
 - Zeitpunkt der ersten Beobachtung: 14:12:04
 - Zeitpunkt der letzten Beobachtung: 14:17:06

Des Weiteren werden die bekannten Koordinaten des GNSS-Empfänger als Basisreferenzpunkt festgelegt.

Die mittels rtkLib prozessierten Daten wurden anschließend mit der selben Matlabfunktion ausgewertet und dargestellt, wie die Daten der Built-in Lösung und der selbst prozessierten Lösung. In Tabelle 7.5 ist das Ergebnis angeführt.

Tabelle 7.5: Ergebnis der DGPS-Messung

Distanz zu Referenzpunkt Δd [m]	σ_y [m]	σ_x [m]
8.17	9.38	11.79

Weiters sind die Messdaten in Abbildung 7.14 ersichtlich.

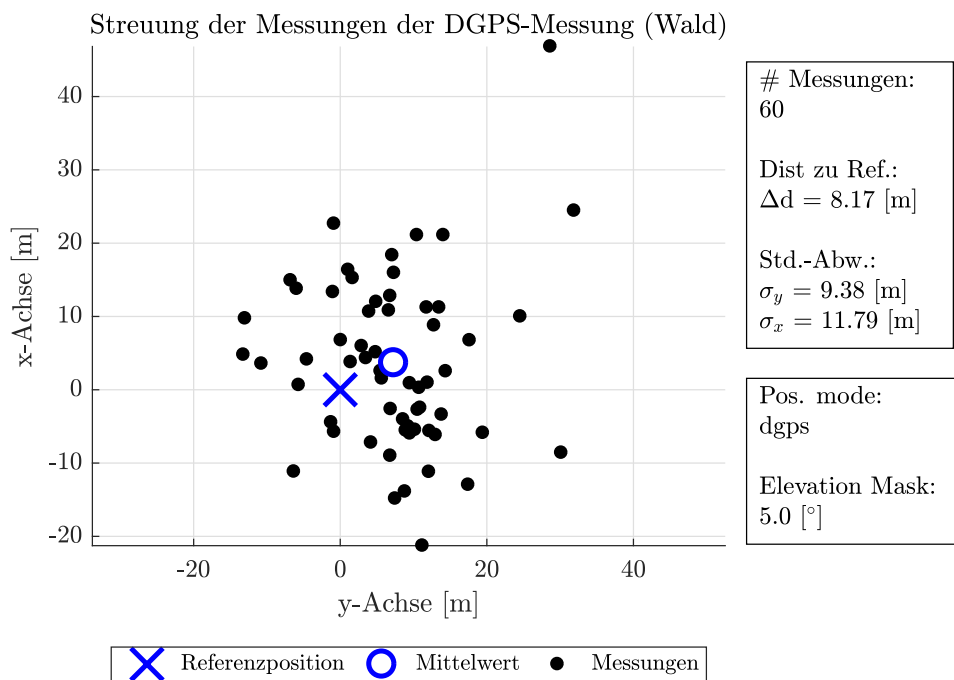


Abbildung 7.14: Messergebnisse DGPS-Messung.

Da die Positionsbestimmung, der DGPS-Methode, von den Rohdaten des mobilen Endgerätes abhängt, kommen auch hier die Messwerte nur einmal vor. Auffällig ist jedoch, dass nur 60 Positionen berechnet wurden. Wie in der Auflistung 7.3 jedoch ersichtlich ist, wurde mit dem mobilen Endgerät über einen Zeitraum von 5 Minuten und 2 Sekunden Rohdaten aufgezeichnet. Dies entspricht, bei einer Aufzeichnungsrate von 1 Hz , 302 mögliche Positionslösungen. Ein Blick auf die Rohdaten verrät, dass erst nach 22 Epochen eine ausreichende Anzahl an Satelliten beobachtet wird. Eine Auswertung der Rohdaten im Postprozessing zeigte, dass in den ersten 28 Epochen unzureichend genaue Beobachtungen vorliegen.

Insgesamt ist im Postprocessing, mit der eigens programmierten Lösung, eine Auswertung von 275 unterschiedlichen Epochen möglich. Dies bedeutet, dass die Software rtkLib im Zuge der Auswertung strengere Auswahlkriterien bezüglich der zu verwendbaren Rohdaten implementiert hat, als dies bei der eigenen Software der Fall ist. Welche dies sind, kann leider nicht nachvollzogen werden.

Werden nun die drei Methoden direkt miteinander verglichen, kann die DGPS-Methode als Verbesserung der SPP-Lösung angesehen werden. Diese erreicht jedoch nicht die Genauigkeit der Built-in Lösung. Der direkte Vergleich der Lösungen ist in Tabelle 7.6 ersichtlich.

Tabelle 7.6: Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden am Referenzpunkt im Wald

Art der Messung	Distanz zu Referenzpunkt $\Delta d[\text{m}]$	σ_y [m]	σ_x [m]
Applikation	14.82	14.94	28.76
DGPS	8.17	9.38	11.79
Built-in	7.97	2.51	3.66

Es ist gut ersichtlich, dass aufgrund der einzelnen Datenpunkte, die Standardabweichung der DGPS-Lösung größer ist, als jene der Built-in Lösung.

7.4 INTERPRETATION ZU DEN UNTERSCHIEDLICHEN POSITIONSLÖSUNGEN

Die Untersuchung zeigt deutlich, dass die Built-in Lösung die derzeit beste Positionslösung anbietet. Sieht man sich die Ergebnisse im zweidimensionalen Plot an, ist eindeutig zu erkennen, dass diverse Filterfunktionen im Zuge der Berechnung verwendet werden. Hinzukommend ist bekannt, dass nicht nur die Single Point Position (SPP)-Lösung Verwendung findet. Es kann angenommen werden, dass die Entwickler hinter der Built-in Lösung sämtliche zur Verfügung stehende Sensoren verwenden und Sensorfusion betreiben, um verbesserte Positionen zu Berechnen.

Dies zeigt sich besonders dann, wenn zum Beispiel durch äußere Einflüsse, der GNSS-Empfang deutlich beeinträchtigt ist. Am Referenzpunkt der Straße, bei guter exponierter Lage, sind die Ergebnisse der Built-in Methode und der eigenen Lösung ähnlich. Ist jedoch der GNSS-Empfang beeinträchtigt, ist es von großem Nutzen, auf zusätzliche Sensoren zugreifen zu können. Leider

wird das Ergebnis der Positionslösung in der Position Value Time (PVT)-Black Box berechnet und kann nicht nachvollzogen werden. Hier kann nur vermutet werden, dass Messungen aus diversen Sensoren wie Beschleunigungssensoren, Neigungssensoren, Gyroskop, Magnetfeldsensor und weitere für die Positionslösung kombiniert werden.

Ein Blick auf die Messpunkteverteilung der Built-in Lösung, siehe Abbildungen 7.4 und 7.5 sowie 7.10 und 7.11, lässt zumindest eine Integration der Beschleunigungssensoren vermuten. Durch eine zweifache Integration der Beschleunigung kann eine Position ermittelt werden. Dieses Prinzip findet auch teilweise in der Indoornavigation Anwendung (Poulose et al., 2019). Weiters könnte ein Kalman-Filter implementiert sein, welcher neue Messungen (Beschleunigungen, GNSS-Rohdaten, usw) gewichtet und somit eine bestmögliche neue Lösung gerechnet wird. Die große Anzahl an identen Messungen in den Daten der Built-in Lösung legen diese Vermutung nahe.

Der Einfluss der Verbesserung, bei der DGPS-Lösung, ist erkennbar, jedoch können die Messwerte nur bis zu einem bestimmten Grad verbessert werden. Aufgrund der Tatsache, dass der Empfang der Rohdaten im bewaldeten Gebiet einer relativ großen Beeinflussung unterliegt und bei der DGPS-Lösung keine weiteren Sensoren zum Einsatz kommen, ist die erreichbare Verbesserung begrenzt. Diese bietet daher, meiner Meinung nach, keine alternative zur Built-in Lösung.

7.5 AUSBLICK

Wie bereits in Kapitel 1.3 erwähnt, wurden Untersuchungen zur Positionsbestimmung mittels Phasenmessungen aus Rohdaten (Benville et al., 2016) mobiler Endgeräte angestellt. Hier konnten auch Erfolge erzielt werden. Sofern vermehrt Hersteller diese Möglichkeit in den mobilen Endgeräten anbieten, könnte dies die SPP-Methode ablösen.

Ein weiterer interessanter Ansatz wird in Zukunft die Messung über zwei Frequenzen darstellen. Das erste Smartphone, welches zwei Frequenzen empfangen kann, wurde von XIAOMI im Sommer 2019 auf den Markt gebracht. Dieses mobile Endgerät ermöglicht den Empfang der Frequenzbänder L1/L5 der GPS-Satelliten sowie E1/E5 des Galileo Systems. Diese Möglichkeit verspricht eine enorme Verbesserung der Positionslösung, da Mehrwegseffekte und Ionosphäreinflüsse reduziert werden.

Welche neuen technologischen Möglichkeiten sich auch immer bieten werden, die Nachfrage nach noch besseren Positionslösungen wird immer gegeben sein und stetig steigen. Dies ist mitunter auch ein Grund dafür, dass Konzerne wie Google, welche das Android Betriebssystem immer weiterentwickeln, daran interessiert sind, die optimale Positionslösung zu generieren.

LITERATUR

- Benville, S. & Van Diggelen, F. (2016, 7. November). Innovation: Precise positioning using raw GPS measurements from Android smartphones. Verfügbar unter <https://www.gpsworld.com/innovation-precise-positioning-using-raw-gps-measurements-from-android-smartphones/>
- Black, H. & Eisner, A. (1984). Correcting satellite Doppler data for tropospheric effects. *Journal of Geophysical Research* 89, pp. 2616-2626.
- Collins, J. (Hrsg.). (1999). *Assessment and development of a tropospheric delay model for aircraft users of the global positioning system. msc thesis.* University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada: University of New Brunswick.
- Danskin, S. D., Bettinger, P., Jordan, T. R. & Cieszewski, C. (2009). A Comparison of GPS Performance in a Southern Hardwood Forest: Exploring Low-Cost Solutions for Forestry Applications. *Southern Journal of Applied Forestry.*
- Drosos, B. K. & Melesios, C. (2012). Measuring the Accuracy and Precision of the Garmin GPS positioning in Forested Areas: A Case Study in Taxiarchis - Vrastma University Forest. *Journal of Environmental Science and Engineering.*
- European GNSS Agency, European Space Agency & Nottingham-Geospatial-Institute and Airbus Defence and Space GmbH (Hrsg.). (2017). *Using GNSS raw measurements on android devices.* Luxembourg: Publication Office of the European Union.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. & Wasle, E. (Hrsg.). (2008). *GNSS - Global Navigation Satellite Systems.* Wien: Springer.
- Lee, L., Jones, M., Ridenour, G. S., Bennett, S. J., Majors, A. C., Melito, B. L. & Wilson, M. J. (2016). Comparison of Accuracy and Precision of GPS-Enabled Mobile Devices. In *International Conference on Computer and Information Technology, IEEE* (S. 73–82). IEEE.
- Lee, L., Jones, M., Ridenour, G. S., Testa, M. P. & Wilson, M. J. (2014). Investigating and Comparing Spatial Accuracy and Precision of GPS-Enabled Devices in Middle Tennessee. In *Geo-Informatics in Resource Management and Sustainable Ecosystem. Second International Conference, GRMSE* (S. 215–224). Heidelberg: Springer.
- NASA. (2018). Crustal Dynamics Data Information System. Verfügbar unter <https://cddis.nasa.gov>
- Niemeier, W. (Hrsg.). (2008). *Ausgleichsrechnung, Statistische Auswertungsmethoden, 2. Auflage.* Wien: de Gruyter.

- Poulose, A., Eyobu, O. S. & Han, D. S. (2019). An Indoor Position-Estimation Algorithm Using Smartphone IMU Sensor Data. *IEEE Access*, 7, 11165–11177. doi:10.1109/ACCESS.2019.2891942
- Rodríguez-Pérez, J. R., Álvarez, M. F. & Sanz-Ablanedo, E. (2007). Assessment of Low-Cost GPS Receiver Accuracy and Precision in Forest Environments. *Journal of Surveying Engineering*.
- Sanz Subirana, J., Juan Zornoza, J. & Hernández-Pajares, M. (Hrsg.). (2013). *GNSS Data Processing, Vol I: Fundamentals and Algorithms*. Contactivity bv, Leiden, the Netherlands: ESA Communications.
- Tetsuhiko, Y. & Hasegawa, H. (2003). Comparing the precision and accuracy of GPS positioning in forested areas. *The Japanese Forestry Society and Springer-Verlag Tokyo*.
- Ullnboom, C. (Hrsg.). (2017). *Java ist auch eine Insel*. Bonn: Rheinwerk Computing.

ANHANG

A FESTPUNKTE ETRS89 & MGI

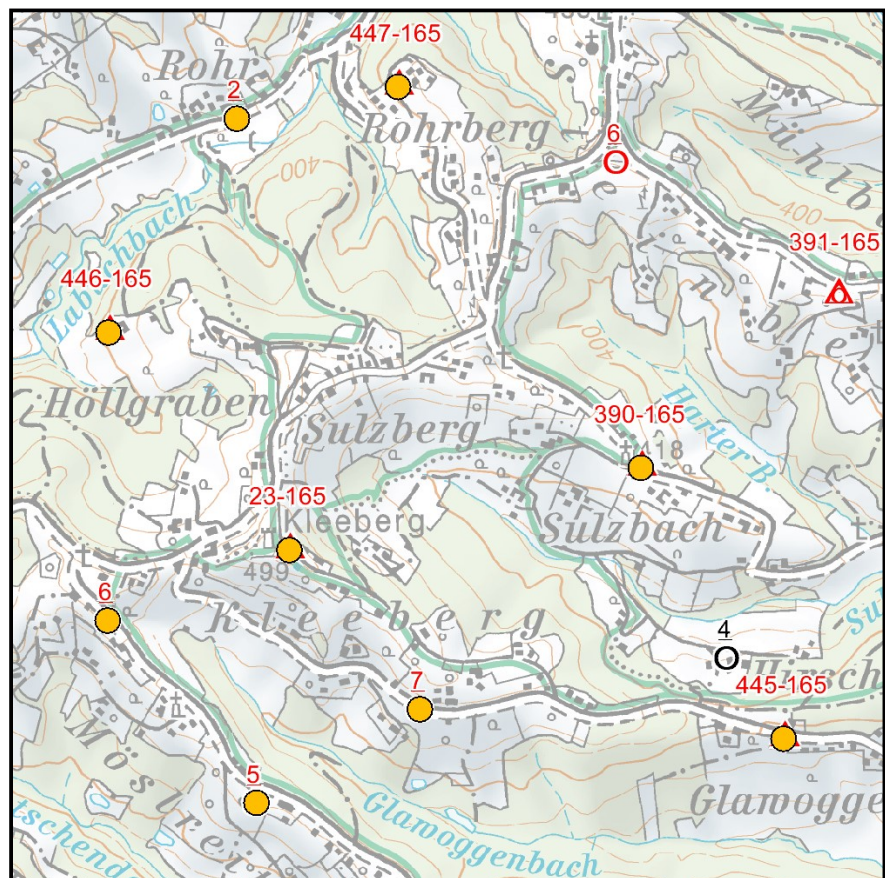
A.1 ETRS89

Bestelldokumentation

Festpunkte Lage ETRS89

Bestelldatum	21.05.2019
Bestellnummer	0006296163
Kundendaten	
Benutzer	office@adp-rinner.at
Email	office@adp-rinner.at
Kundennummer	██████████
Auswahl	Festpunkt Lage 9 Objekte

Übersicht



Produktinformation - Festpunkte und Festpunktskizzen

Kontakt:

BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen

Kundenservice

Schiffamtsgasse 1-3

1020 Wien

Tel.: +43 1 21110-822160

Fax: +43 1 21110-82992161

kundenservice@bev.gv.at

See you: www.bev.gv.at

Weitere Informationen, Formatbeschreibungen und Musterbeispiele zu den Produkten des BEV finden Sie auf unserer Website www.bev.gv.at Vermessung unter Produktbeschreibungen.

Triangulierungspunkte

PUNKTTYP;OeK50_BMN_NR;KG_NUMMER;PUNKTNUMMER;ORDNUNG;KENNZEICHEN;STABART;AUFLAGE;PUNKTNAME;HINWEIS;X;Y;Z;mX;mY;mZ;vX;vY;vZ;GEODATUM;EPOCHE;EPSG_XYZ;MESSDATUM;HERKUNFTSOPERAT;KOORD_BEST_XYZ;BREITE;LAENGE;HOEHE;EPSG_GEOGR;UNDULATION_GRS80;UNDULATION_BESSEL;RW;HW;EPSG_PROJ

TP;165;68104;23;2;A2;VERS.-STEIN/SÜDOST/STEIN OBERFLÄCHE;5;KLEEBERG;
;4190193.377;1177976.930;4647225.185;0.004;0.002;0.003;0.000;0.000;0.000;ETRS89/AUSTRIA 2002;2002.50;4936;19.10.2000;OG165;aus GPS Basislinien abgeleitet;47.0667931250;15.7021123656;545.504;4937;46.9920;0.9840;553311.84;5212825.79;25833;

TP;165;68104;23;2;A1;KT-STEIN/STEIN OBERFLÄCHE;5;KLEEBERG;
9;4190193.481;1177967.266;4647227.962;0.004;0.002;0.003;0.000;0.000;0.000;ETRS89/AUSTRIA 2002;2002.50;4936;19.10.2000;OG165;aus GPS Basislinien abgeleitet;47.0668267017;15.7019895303;545.824;4937;46.9920;0.9840;553302.48;5212829.44;25833;

TP;165;68104;23;2;A3;VERS.-STEIN/WEST/STEIN OBERFLÄCHE;5;KLEEBERG;
;4190191.863;1177935.908;4647232.008;0.004;0.002;0.003;0.000;0.000;0.000;ETRS89/AUSTRIA 2002;2002.50;4936;19.10.2000;OG165;aus GPS Basislinien abgeleitet;47.0669176309;15.7015979164;541.945;4937;46.9920;0.9840;553272.66;5212839.28;25833;

TP;165;68104;23;2;A4;VERS.-STEIN/SÜDWEST/STEIN OBERFLÄCHE;5;KLEEBERG;
;4190202.364;1177953.773;4647221.997;0.004;0.002;0.003;0.000;0.000;0.000;ETRS89/AUSTRIA 2002;2002.50;4936;19.10.2000;OG165;aus GPS Basislinien abgeleitet;47.0667578912;15.7017868980;544.794;4937;46.9920;0.9840;553287.17;5212821.65;25833;

TP;165;68104;445;5;A1;KT-STEIN/STEIN OBERFLÄCHE;1;HIRSCHWÄLDER;
;4190132.072;1179504.770;4646749.349;0.004;0.002;0.003;0.000;0.000;0.000;ETRS89/AUSTRIA 2002;2002.50;4936;30.05.2005;OG165;aus GPS Basislinien abgeleitet;47.0615419440;15.7216903556;438.768;4937;46.9430;0.9470;554803.79;5212255.77;25833;

TP;165;68149;390;5;A1;KT-STEIN/STEIN OBERFLÄCHE;2;SULZBERG;
;4189681.563;1178935.199;4647333.266;0.010;0.006;0.011;0.000;0.000;0.000;ETRS89/AUSTRIA 2002;2002.50;4936;10.05.1985;OT165;aus terrestrischen Messungen abgeleitet;47.0689912399;15.7160798932;465.768;4937;46.9660;0.9710;554370.17;5213079.67;25833;

TP;165;68156;446;5;A1;KT-STEIN/STEIN OBERFLÄCHE;1;HÖLLGRABEN 14;
;4189810.391;1177294.840;4647614.720;0.004;0.002;0.003;0.000;0.000;0.000;ETRS89/AUSTRIA 2002;2002.50;4936;09.06.2007;OG165;aus GPS Basislinien abgeleitet;47.0728229417;15.6948322123;453.888;4937;47.0160;1.0060;552753.11;5213490.93;25833;

TP;165;68156;447;5;A1;KT-STEIN/STEIN OBERFLÄCHE;1;ROHRBERG;
;4189050.104;1178001.791;4648119.468;0.004;0.002;0.004;0.000;0.000;0.000;ETRS89/AUSTRIA 2002;2002.50;4936;19.10.2000;OG165;aus GPS Basislinien
abgeleitet;47.0794753232;15.7065014417;455.325;4937;46.9990;1.0040;553632.38;5214238.13;25833;

Einschaltpunkte

EP;165;68104;5;6;E1;EP-MARKE;1; ;4190727.010;1178006.348;4646663.787;0.003;0.001;0.003;0.000;0.000;0.000;ETRS89/AUSTRIA
2002;2002.50;4936;01.01.2000;G469;aus GPS Basislinien
abgeleitet;47.0599183473;15.7005842654;489.864;4937;46.9850;0.9710;553202.65;5212060.78;25833;

EP;165;68104;6;6;E1;EP-MARKE;1; ;4190478.841;1177471.854;4647071.679;0.003;0.001;0.003;0.000;0.000;0.000;ETRS89/AUSTRIA
2002;2002.50;4936;01.01.2000;G469;aus GPS Basislinien
abgeleitet;47.0649429008;15.6946951769;527.222;4937;47.0040;0.9890;552750.48;5212615.15;25833;

EP;165;68104;7;6;E1;EP-MARKE;1; ;4190393.235;1178430.848;4646853.034;0.003;0.001;0.002;0.000;0.000;0.000;ETRS89/AUSTRIA
2002;2002.50;4936;01.01.2000;G469;aus GPS Basislinien
abgeleitet;47.0624370763;15.7071521701;487.793;4937;46.9750;0.9680;553698.89;5212345.16;25833;

EP;165;68156;2;6;E1;EP-MARKE;1; ;4189224.532;1177541.215;4648030.174;0.003;0.001;0.003;0.000;0.000;0.000;ETRS89/AUSTRIA
2002;2002.50;4936;01.01.2000;G469;aus GPS Basislinien abgeleitet;47.0786434519;15.7000418977;419.396;4937;47.0110;1.01;553142.85;5214141.28;25833;

A.2 MGI

Bestelldokumentation

Festpunkte Lage MGI

Bestelldatum 21.05.2019

Bestellnummer 0006296163

Kundendaten

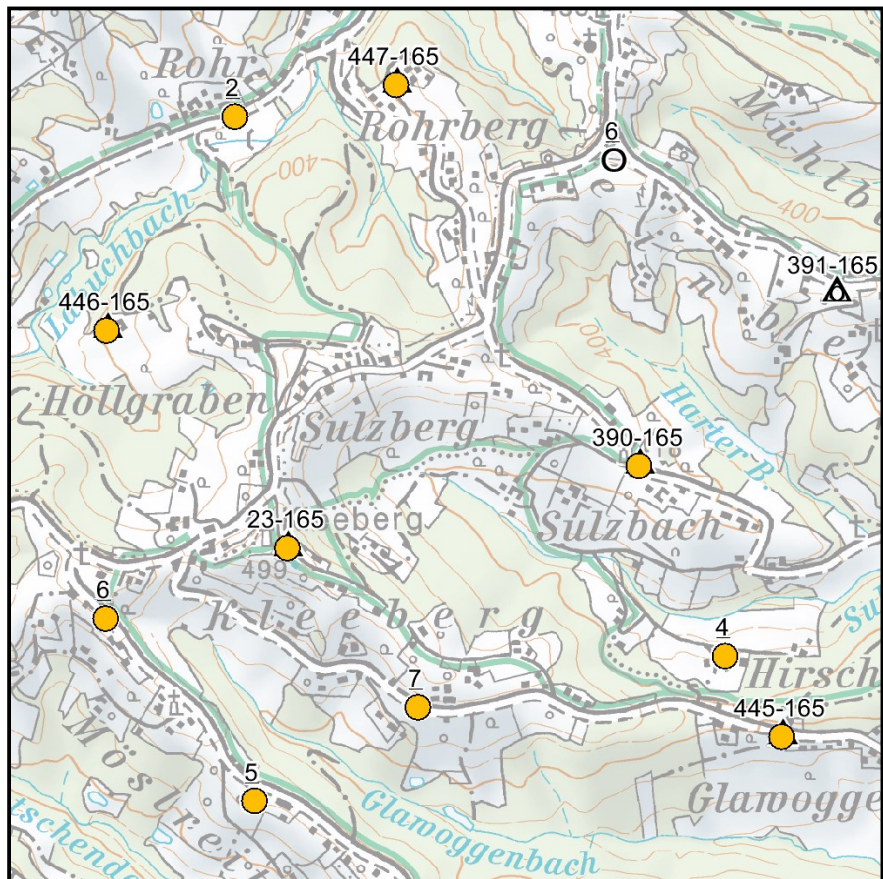
Benutzer office@adp-rinner.at

Email office@adp-rinner.at

Kundennummer XXXXXXXXXX

Auswahl Festpunkt Lage 10 Objekte

Übersicht



Produktinformation - Festpunkte und Festpunktskizzen

Kontakt:

BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen

Kundenservice

Schiffamtsgasse 1-3

1020 Wien

Tel.: +43 1 21110-822160

Fax: +43 1 21110-82992161

kundenservice@bev.gv.at

See you: www.bev.gv.at

Weitere Informationen, Formatbeschreibungen und Musterbeispiele zu den Produkten des BEV finden Sie auf unserer Website www.bev.gv.at Vermessung unter Produktbeschreibungen.

Triangulierungspunkte

PUNKTTYP;OeK50_BMN_NR;KG_NUMMER;PUNKTNUMMER;ORDNUNG;KENNZEICHEN;STABART;AUFLAGE;PUNKTNAME;HINWEIS;RECHTSWERT;HOCHWERT;MERIDIAN;GEODATUM;ABBILDUNG;DATUMLAGE;OPERATLAGE;HOEHE;DATUMHOEHE;OPERATHOEHE;NIV_ANSCHL;ANSCHLUSS1;ANSCHLUSS2;ANSCHLUSS3

TP;165;68104;23;2;A2;VERS.-STEIN/SÜDOST/STEIN OBERFLÄCHE;5;KLEEBERG; ;-47863.36;214377.85;M34;MGI;GK;1975;G/58;498.96; ;G/332;0;"TP207-164M1; SCHÖCKL";"TP33-165T1; FREIBERG BEI GLEISDORF,SCHLOß";"TP33-165T2; FREIBERG BEI GLEISDORF,SCHLOß"

TP;165;68104;23;2;A1;KT-STEIN/STEIN OBERFLÄCHE;5;KLEEBERG; 9;-47872.66;214381.65;M34;MGI;GK;1975;G/58;499.28; ;G/332;0;"TP207-164M1; SCHÖCKL";"TP33-165T1; FREIBERG BEI GLEISDORF,SCHLOß";"TP33-165T2; FREIBERG BEI GLEISDORF,SCHLOß"

TP;165;68104;23;2;A3;VERS.-STEIN/WEST/STEIN OBERFLÄCHE;5;KLEEBERG; ;-47902.33;214392.00;M34;MGI;GK;2000;G/332;495.40; ;G/469;0;"TP207-164M1; SCHÖCKL";"TP33-165T1; FREIBERG BEI GLEISDORF,SCHLOß";"TP33-165T2; FREIBERG BEI GLEISDORF,SCHLOß"

TP;165;68104;23;2;A4;VERS.-STEIN/SÜDWEST/STEIN OBERFLÄCHE;5;KLEEBERG; ;-47888.12;214374.13;M34;MGI;GK;2000;G/58;498.25; ;G/469;0;"TP207-164M1; SCHÖCKL";"TP33-165T1; FREIBERG BEI GLEISDORF,SCHLOß";"TP33-165T2; FREIBERG BEI GLEISDORF,SCHLOß"

TP;165;68104;445;5;A1;KT-STEIN/STEIN OBERFLÄCHE;1;HIRSCHWÄLDER; ;-46380.80;213782.23;M34;MGI;GK;2000;G/469;392.20; ;G/469;0;"TP14-165T1; KLEIN MARIA ZELL AM EICHKÖGL,PFARRK.";";";"

TP;165;68149;390;5;A1;KT-STEIN/STEIN OBERFLÄCHE;2;SULZBERG; ;-46800.44;214613.73;M34;MGI;GK;2000;G/409;419.19; ;G/469;0;"TP90-165A1; STEINBERG";"TP389-165A1; SULZBACH";"

TP;165;68156;446;5;A1;KT-STEIN/STEIN OBERFLÄCHE;1;HÖLLGRABEN 14; ;-48410.87;215052.68;M34;MGI;GK;2000;G/469;407.26; ;G/469;0;"TP103-165M1; HÖLLER";";";"

TP;165;68156;447;5;A1;KT-STEIN/STEIN OBERFLÄCHE;1;ROHRBERG; ;-47518.61;215785.07;M34;MGI;GK;2000;G/469;408.70; ;G/469;0;"TP103-165M1; HÖLLER";";";"

Einschaltpunkte

EP;165;68104;5;6;E1;EP-MARKE;1; ;-47985.66;213614.50;M34;MGI;GK;2000;443.30;0;T;"";"";"";VA

EP;165;68104;6;6;E1;EP-MARKE;1; ;-48428.48;214176.73;M34;MGI;GK;2000;480.63;0;T;"";"";"";VA

EP;165;68104;7;6;E1;EP-MARKE;1; ;-47484.44;213890.49;M34;MGI;GK;2000;441.24;0;T;"";"";"";VA

EP;165;68149;4;6;E1;EP-MARKE;1; ;-46548.35;214030.23;M34;MGI;GK;1986;382.93;0;T;"TP390-165A1; SULZBERG";"";"";VA

EP;165;68156;2;6;E1;EP-MARKE;1; ;-48009.92;215696.55;M34;MGI;GK;2000;372.76;0;T;"";"";"";VA

B PROTOKOLL DER TRANSFORMATION

Anlegen des Projektes

Vorlage: K:\Config\Software\Geosi60_ProgramData\GeosiVERM\Globale
Einstellungen\Vorlagen\Standard AT.gpt
angelegt am: 21.05.19 um: 14:08:20 Uhr von: Administrator

Speichern des Projektes

Projektdatei: K:\Users\GeKa\Kleeberg.pro
gespeichert am: 21.05.19 um: 14:09:06 Uhr von: Administrator

Import Österreich: Bundesamt

File:

Speichern des Projektes

Projektdatei: K:\Users\GeKa\Kleeberg.pro
gespeichert am: 21.05.19 um: 14:12:12 Uhr von: Administrator

Berechnung Anfelderung Lage 'Anfelderung Lage'

Globale Transformation 'Österreich - BEV - ETRS 89 - MGI'

Verschiebung X = -577.326 m
Verschiebung Y = -90.129 m
Verschiebung Z = -463.920 m

Drehung um X = 15.853666 cc
Drehung um Y = 4.550001 cc
Drehung um Z = 16.348890 cc

Maßstab = -2.42300 ppm

Anfelderung Lage 'Anfelderung Lage'

Helmert (4 Parameter)
Verschiebung Y = 0.580 m
Verschiebung X = -0.043 m
Drehpunkt Y = -47655.233 m
Drehpunkt X = 214554.891 m
Drehwinkel = -0.0002 gon
Maßstab = -5.091 ppm

Passpunkte/Transformationen

WGS	Zielsystem	Klaffung Y	Klaffung X	Klaffung H
68104-5E1	68104-5E1	-13.4 mm	-10.0 mm	
68104-6E1	68104-6E1	-12.9 mm	-16.0 mm	
68104-7E1	68104-7E1	-10.6 mm	-1.0 mm	
68156-2E1	68156-2E1	12.5 mm	4.3 mm	
445-165A1	445-165A1	-12.2 mm	23.3 mm	
390-165A1	390-165A1	5.2 mm	12.8 mm	
446-165A1	446-165A1	9.1 mm	-18.1 mm	
447-165A1	447-165A1	15.5 mm	10.9 mm	
23-165A1	23-165A1	6.8 mm	-6.2 mm	

Berechnung Anfelderung Höhe 'Anfelderung Höhe'

Globale Transformation 'Österreich - BEV - ETRS 89 - MGI'

Verschiebung X = -577.326 m
Verschiebung Y = -90.129 m
Verschiebung Z = -463.920 m

Drehung um X = 15.853666 cc
Drehung um Y = 4.550001 cc
Drehung um Z = 16.348890 cc

Maßstab = -2.42300 ppm

Anfelderung Höhe 'Anfelderung Höhe'

Geneigte Ebene
Basispunkt Y = -47654.653 m
Basispunkt X = 214554.848 m
Verschiebung H = -0.583 m
Steigung in Y = -0.000002
Steigung in X = -0.000041

Passpunkte/Transformationen

WGS	Zielsystem	Klaffung Y	Klaffung X	Klaffung H
68104-5E1	68104-5E1			-6.5 mm
68104-6E1	68104-6E1			-11.0 mm
68104-7E1	68104-7E1			10.5 mm
68156-2E1	68156-2E1			-5.6 mm
445-165A1	445-165A1			-18.0 mm
390-165A1	390-165A1			4.4 mm
446-165A1	446-165A1			-17.2 mm
447-165A1	447-165A1			3.6 mm
23-165A1	23-165A1			39.8 mm

Speichern des Projektes

Projektdatei: K:\Users\GeKa\Kleeberg.pro

gespeichert am: 21.05.19 um: 14:24:58 Uhr

von: Administrator

C BERECHNUNGSPROTOKOLL

Anlegen des Projektes

Vorlage: C:\ProgramData\Geosi60\GeosiVERM\Globale
Einstellungen\Vorlagen\Standard AT.gpt
angelegt am: 27.06.19 um: 17:14:29 Uhr von: Administrator

Speichern des Projektes

Projektdatei: C:\Uni\Master\Masterarbeit\Messungen-Kleeberg\Kleeberg.pro
gespeichert am: 27.06.19 um: 17:14:49 Uhr von: Administrator

Speichern des Projektes

Projektdatei: C:\Uni\Master\Masterarbeit\Messungen-Kleeberg\Kleeberg.pro
gespeichert am: 27.06.19 um: 17:15:43 Uhr von: Administrator

Laden des Projektes

Projektdatei: C:\Uni\Master\Masterarbeit\Messungen-Kleeberg\Kleeberg.pro
geöffnet am: 27.06.19 um: 17:22:08 Uhr von: Administrator

Import Messdaten

File:

C:\Uni\Master\Masterarbeit\Messungen-Kleeberg\KLEEBERG-MESSUNG_9780_0614_145859\KLEEBERG-MESSUNG_9780_0614_145859.XCF

Import Messdaten

File:

C:\Uni\Master\Masterarbeit\Messungen-Kleeberg\KLEEBERG-MESSUNG_9780_0614_145859\KLEEBERG-MESSUNG_9780_0614_145859

Anwendung: SetupResection FS1

14.06.2019 15:06:48

Messgerät: TS15 I 1" R1000

Seriennummer 1611987

Punkt/Stdabw.	Y/mY	X/mX	H/mH	mOri
FS1	-47365.218	215128.267	418.315	
	4.0 mm	5.6 mm	8.2 mm	30.9 cc

Toleranz für Punktlage ist kleiner als 50.0 mm. OK.

Toleranz für Punkthöhe ist kleiner als 50.0 mm. OK.

Toleranz für Orientierung ist kleiner als 50.0 cc. OK.

Messdaten:

Punktnummer	Ri	Zd	Ss	Zh
AddRefl.				
GS0001	26.6818	99.2230	29.463	2.000
0.023				
GS0002	78.3157	84.4810	25.905	2.000
0.023				
GS0003	134.3977	82.9682	34.917	2.000
0.023				

Punkte:

Target 1: GS0001

Y=-47353.229 X= 215155.178 H= 416.674 Dim= 3D
dY= 1.1 mm dX= 7.1 mm dH= 7.3 mm dAz= -41.5 cc

Target 2: GS0002

Y=-47341.523 X= 215136.666 H= 422.567 Dim= 3D
dY= -5.6 mm dX= -4.2 mm dH= 9.1 mm dAz= 52.0 cc

Target 3: GS0003

Y=-47336.341 X= 215110.945 H= 425.545 Dim= 3D
dY= 4.6 mm dX= -2.9 mm dH= -16.4 mm dAz= 2.7 cc

Transformation GPS Koordinaten

Passpunkte/Transformationen

Globale Transformation 'Österreich - BEV - ETRS 89 - MGI'

Verschiebung X = -577.326 m
Verschiebung Y = -90.129 m
Verschiebung Z = -463.920 m

Drehung um X = 15.853666 cc
Drehung um Y = 4.550001 cc
Drehung um Z = 16.348890 cc

Maßstab = -2.42300 ppm

Anfelderung Lage 'Anfelderung Lage'

Helmert (4 Parameter)
Verschiebung Y = 0.580 m
Verschiebung X = -0.043 m
Drehpunkt Y = -47655.233 m
Drehpunkt X = 214554.891 m
Drehwinkel = -0.0002 gon
Maßstab = -5.091 ppm

Anfelderung Höhe 'Anfelderung Höhe'

Geneigte Ebene
Basispunkt Y = -47654.653 m
Basispunkt X = 214554.848 m
Verschiebung H = -0.583 m
Steigung in Y = -0.000002
Steigung in X = -0.000041

9 Punkte berechnet:
0 neue Punkte
9 Koordinaten haben sich geändert
0 Koordinaten sind unverändert
0 Punkte sind Festpunkte

Punkt	Länge	Breite	Y	X	H
MS					
68104-5E1	15°42' 2"10336	47° 3'35"70605	-47985.647	213614.510	443.307 M34
68104-6E1	15°41'40"90264	47° 3'53"79445	-48428.467	214176.746	480.641 M34
68104-7E1	15°42'25"74781	47° 3'44"77348	-47484.429	213890.491	441.229 M34
68156-2E1	15°42' 0"15083	47° 4'43"11643	-48009.932	215696.546	372.766 M34
445-165A1	15°43'18"08528	47° 3'41"55100	-46380.788	213782.207	392.218 M34
390-165A1	15°42'57"88762	47° 4' 8"36847	-46800.445	214613.717	419.186 M34
446-165A1	15°41'41"39596	47° 4'22"16259	-48410.879	215052.698	407.277 M34

447-165A1 15°42'23"40519 47° 4'46"11117 -47518.626 215785.059 408.696 M34
 23-165A1 15°42' 7"16231 47° 4' 0"57613 -47872.667 214381.656 499.240 M34

Punktkollision Ändern

Punkt	MSys	Y/Länge	X/Breite	H/Ell.H	Koll. Code	
Attr						
23-165A1	M34	-47872.660	214381.650	499.280	Kein	
	Neu M34	-47872.667	214381.656	499.240	Kein	
23-165A1 M34		-47872.667	214381.656 N	499.240 N	Kein	N
		-0.007	0.006	-0.040		
<hr/>						
390-165A1	M34	-46800.440	214613.730	419.190	Kein	
	Neu M34	-46800.445	214613.717	419.186	Kein	
390-165A1 M34		-46800.445	214613.717 N	419.186 N	Kein	N
		-0.005	-0.013	-0.004		
<hr/>						
445-165A1	M34	-46380.800	213782.230	392.200	Kein	
	Neu M34	-46380.788	213782.207	392.218	Kein	
445-165A1 M34		-46380.788	213782.207 N	392.218 N	Kein	N
		0.012	-0.023	0.018		
<hr/>						
446-165A1	M34	-48410.870	215052.680	407.260	Kein	
	Neu M34	-48410.879	215052.698	407.277	Kein	
446-165A1 M34		-48410.879	215052.698 N	407.277 N	Kein	N
		-0.009	0.018	0.017		
<hr/>						
447-165A1	M34	-47518.610	215785.070	408.700	Kein	
	Neu M34	-47518.626	215785.059	408.696	Kein	
447-165A1 M34		-47518.626	215785.059 N	408.696 N	Kein	N
		-0.016	-0.011	-0.004		
<hr/>						
68104-5E1	M34	-47985.660	213614.500	443.300	Kein	
	Neu M34	-47985.647	213614.510	443.307	Kein	
68104-5E1 M34		-47985.647	213614.510 N	443.307 N	Kein	N
		0.013	0.010	0.007		
<hr/>						
68104-6E1	M34	-48428.480	214176.730	480.630	Kein	
	Neu M34	-48428.467	214176.746	480.641	Kein	
68104-6E1 M34		-48428.467	214176.746 N	480.641 N	Kein	N
		0.013	0.016	0.011		
<hr/>						
68104-7E1	M34	-47484.440	213890.490	441.240	Kein	
	Neu M34	-47484.429	213890.491	441.229	Kein	
68104-7E1 M34		-47484.429	213890.491 N	441.229 N	Kein	N
		0.011	0.001	-0.011		
<hr/>						
68156-2E1	M34	-48009.920	215696.550	372.760	Kein	
	Neu M34	-48009.932	215696.546	372.766	Kein	
68156-2E1 M34		-48009.932	215696.546 N	372.766 N	Kein	N
		-0.012	-0.004	0.006		

Orientierungsberechnung in Standpunkt: FS1 Satz: 1

Zielpunkt	Sh [m]	Az [gon]	Rg [gon]	Ori [gon]	P []
Fehler					
GS0001	29.468	26.6776	26.6818	399.9959	0.0868

GS0002	25.133	78.3209	78.3157	0.0052	0.0632
GS0003	33.680	134.3980	134.3977	0.0003	0.1134

Fehlerrechnung:

Zielpunkt	dOri [gon]	Perp [m]	sOri [gon]	Hinweis
GS0001	0.0041	0.002	0.0043	
GS0002	-0.0052	-0.002	0.0050	
GS0003	-0.0003	-0.000	0.0038	

mittlere Orientierung=0.0000 gon sOri=0.0025 gon
Orientierung wurde übernommen

Punktkollision Ändern

Punkt	MSys	Y/Länge	X/Breite	H/Ell.H	Koll. Code
Attr					
FS1	M34	-47365.218	215128.267	418.315	Kein
	Neu M34	-47365.218	215128.262	418.317	Kein
	FS1 M34	-47365.218	215128.262 N	418.317 N	Kein
		0.000	-0.005	0.002	N

Ausgleich Stationierung 'FS1' - Lage
Präprocessing Optionen

Atmosphärische Korrektur: Ja
 Seitenhorizontierung und Höhenreduktion: einstufig
 Mittlere Projekthöhe: --- m
 Projektive Verzerrung: Ja
 Trigonometrische Höhendifferenzen: einseitige Zenitwinkel

Allgemeine Netzgrößen

Dimension: 2D
Anzahl der Punkte: 4
 Festpunkte: 3
 Passpunkte: 0
 Neupunkte: 1
Anzahl der Beobachtungen: 6
 Richtungen: 3
 Horizontalstrecken: 3
Parameter Anzahl: 3
 Koordinatenunbekannte: 2
 Orientierungsunbekannte: 1
 Maßstabsunbekannte: 0
Freiheitsgrade: 3
Durchgeführte Iterationen: 3

Koordinaten

Festpunkte		Y	X	H
		[m]	[m]	[m]
GS0003		-47336.336	215110.942	425.529
GS0002		-47341.529	215136.662	422.576
GS0001		-47353.228	215155.186	416.682
Neupunkte		Y	X	H
mH		[m]	[mm]	[m]
[mm]		[m]	[mm]	[m]
FS1	(NK	-47365.218	215128.262	

418.315)

	0.000		0.000	---
neu	-47365.218	±1.6	215128.262	±3.0

Messdaten

Richtungsbeobachtungen

Standpunkt	Ori [gon]				
FS1	-0.0079				
Zielpunkt	Ri.gem	m Ri	v	Ri.agl	m Ri
	[gon]	[cc]	[cc]	[gon]	[cc]
GS0003	134.3977	±32.0	-0.9	134.3976	±31.2
GS0002	78.3157	±32.0	8.6	78.3166	±30.3
GS0001	26.6818	±32.0	-7.8	26.6810	±31.0

Horizontalstreckenbeobachtungen

Standpunkt					
FS1					
Zielpunkt	Sh.gem	m Sh	v	Sh.agl	m Sh
	[m]	[mm]	[mm]	[m]	[mm]
GS0003	33.673	±8.3	4.0	33.678	±2.4
GS0002	25.139	±8.2	-4.0	25.135	±1.5
GS0001	29.460	±8.2	12.7	29.473	±2.6

Genauigkeitsvorgaben der Beobachtungsgruppen

Beobachtungsgruppe	vorher	nachher
Richtungen	±20.0 cc	±25.4 cc
Strecken	±5.0 mm ± 5.0 ppm	±8.1 mm ± 8.1 ppm
Gesamtnetz	1.00	1.60

Ausgleich Stationierung 'FS1' - Höhe

Präprozessing Optionen

Atmosphärische Korrektur: Ja
 Seitenhorizontierung und Höhenreduktion: einstufig
 Mittlere Projekthöhe: --- m
 Projektive Verzerrung: Ja
 Trigonometrische Höhendifferenzen: einseitige Zenitwinkel

Allgemeine Netzgrößen

Dimension: 1D
 Anzahl der Punkte: 4
 Festpunkte: 3
 Passpunkte: 0
 Neupunkte: 1
 Anzahl der Beobachtungen: 3
 Parameter Anzahl: 1
 Koordinatenunbekannte: 1
 Orientierungsunbekannte: 0
 Maßstabsunbekannte: 0
 Freiheitsgrade: 2
 Durchgeführte Iterationen: 2

Koordinaten

Festpunkte	Y	X	H
	[m]	[m]	[m]
GS0003	-47336.336	215110.942	425.529

GS0002		-47341.529		215136.662		422.576
GS0001		-47353.228		215155.186		416.682
Neupunkte		Y	mY	X	mY	H
mH						
		[m]	[mm]	[m]	[mm]	[m]
[mm]						
FS1	(NK	-47365.218		215128.262		
418.317)		---		---		0.000
	neu	---	---	---	---	418.317
±7.9						

Messdaten

Trigonometrische Höhendifferenzen

Standpunkt

FS1

Zielpunkt

	Dh. trig	m Dh	v	Dh. agl	m Dh
	[m]	[mm]	[mm]	[m]	[mm]
GS0003	7.232	±15.9	-19.4	7.212	±7.9
GS0002	4.252	±14.4	8.2	4.260	±7.9
GS0001	-1.640	±11.8	5.2	-1.635	±7.9

Genauigkeitsvorgaben der Beobachtungsgruppen

Beobachtungsgruppe	vorher	nachher
Höhenunterschiede	1.00	12.06
Gesamtnetz	1.00	12.06

Polarpunktberechnung manuell

Atmosphärische Korrektur: Ja

Seitenhorizontierung und Höhenreduktion: einstufig

Mittlere Projekthöhe: --- m

Projektive Verzerrung: Ja

Trigonometrische Höhendifferenzen: einseitige Zenitwinkel

Berechnung: 3D

Standpunkt: FS1

Satz: 1

Ori: 399.9921 gon Ih: 0.000 m -47365.218 215128.262
418.317

Zielpunkt	Az [gon]	Zh [m]	Sh [m]	Dh [m]	Y [m]	X [m]	H [m]
REF	282.7074	2.000	27.265	-2.076	-47391.484	215120.947	
416.241							
REF-STRASSE	84.7917	2.000	80.861	18.381	-47286.654	215147.396	
436.697							
REF-WIESE	51.4520	2.000	24.523	1.652	-47347.487	215145.202	
419.969							

3 Zielpunkte berechnet

Speichern des Projektes

Projektdatei: C:\Uni\Master\Masterarbeit\Messungen-Kleeberg\Kleeberg.pro
gespeichert am: 27.06.19 um: 17:35:21 Uhr von: Administrator

Transformation Koordinaten nach WGS

Globale Transformation 'Österreich - BEV - ETRS 89 - MGI'

Verschiebung X = -577.326 m

Verschiebung Y = -90.129 m
Verschiebung Z = -463.920 m

Drehung um X = 15.853666 cc
Drehung um Y = 4.550001 cc
Drehung um Z = 16.348890 cc

Maßstab = -2.42300 ppm

Anfelderung Lage 'Anfelderung Lage'

Helmert (4 Parameter)
Verschiebung Y = 0.580 m
Verschiebung X = -0.043 m
Drehpunkt Y = -47655.233 m
Drehpunkt X = 214554.891 m
Drehwinkel = -0.0002 gon
Maßstab = -5.091 ppm

Anfelderung Höhe 'Anfelderung Höhe'

Geneigte Ebene
Basispunkt Y = -47654.653 m
Basispunkt X = 214554.848 m
Verschiebung H = -0.583 m
Steigung in Y = -0.000002
Steigung in X = -0.000041

Punkt	Y	X	H	MS	Länge	Breite
FS1G 4'24"88383	-47365.218	215128.262	418.317	M34	15°42'30"92650	47°
REFG 4'24"64014	-47391.484	215120.947	416.241	M34	15°42'29"68441	47°
REF-STRASSEG 4'25"52377	-47286.654	215147.396	436.697	M34	15°42'34"64287	47°
REF-WIESEG 4'25"43696	-47347.487	215145.202	419.969	M34	15°42'31"76045	47°

Speichern des Projektes

Projektdatei: C:\Uni\Master\Masterarbeit\Messungen-Kleeberg\Kleeberg.pro
gespeichert am: 27.06.19 um: 17:46:17 Uhr von: Administrator

D SOFTWARE

Das gesamte Projekt ist unter <https://github.com/Yggdrasil5/PoSe> veröffentlicht.