

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden  
Fakultät Geoinformation  
Bachelorstudiengang Geoinformation und Vermessungswesen

## **Bachelorarbeit**

Auswertung eines GPS – Festpunktfeldes als Grundlage für  
archäologische Ausgrabungen in Qurayyah, Saudi-Arabien

Eingereicht von  
Hatton, Timothy  
Seminargruppe: 12/061/61  
Matrikelnummer: 35021

1.Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Bernd Teichert  
2.Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Christian Clemen

Eingereicht am: 13.Mai 2016

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	II
Abkürzungsverzeichnis.....	III
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	IV
1 Einleitung.....	1
2 Messung.....	2
2.1 Qurayyah.....	2
2.1.1 Messgebiet.....	2
2.1.2 Festpunktnetz.....	3
2.2 Technische Daten.....	4
2.2.1 GPS und GLONASS.....	5
2.2.2 Fehlereinflüsse.....	6
2.3 Messverfahren.....	8
2.3.1 Relative GPS-Positionierung mit einer Referenzstation.....	8
2.3.2 Beobachtungsverfahren.....	10
3 Auswertung.....	11
3.1 PPP.....	11
3.2 Permanentstation.....	12
3.3 Berechnung der endgültigen Koordinaten.....	14
3.3.1 UTM – Koordinatensystem.....	15
3.3.2 Referenzsysteme und Referenzrahmen.....	16
3.3.3 Koordinaten der Referenzstation.....	20
3.3.4 Berechnung der Punkte.....	24
4 Weitere Betrachtung der Ergebnisse.....	25
4.1 Phasenmehrdeutigkeit.....	25
4.2 Vergleich der Ergebnisse.....	26
5 Abschließende Berechnungen.....	35
5.1 Transformation.....	35
5.1.1 Ebene Transformation.....	35
5.1.2 Räumliche Transformation.....	41
5.2 Geoidundulation.....	46
6 Zusammenfassung und Ausblick.....	49
Literaturverzeichnis.....	51
Anlagen.....	53
1 Anlage 1: Qurayyah.....	54
2 Anlage 2: Protokolle CSRS und GAPS.....	56
3 Anlage 3: Basislinienverarbeitungsbericht QRef.....	82
4 Anlage 4: Koordinatenliste des Festpunktefeld.....	84
5 Anlage 5: Basislinienverarbeitungsbericht der Punkte.....	85
6 Anlage 6: CSRS Protokolle der Punkte mit großer Abweichung.....	88
7 Anlage 7: Koordinaten aus LGO und TBC mit deren Differenz.....	97
8 Anlage 8: Protokoll aus In Dubio pro Geo und CoordTrans.....	101
9 Anlage 9: Ausgeglichenen Koordinaten.....	110
Eidesstattliche Erklärung.....	111

## **Abkürzungsverzeichnis**

BKG – Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

CORS – Continuously Operating Reference Station

CSRS – Canadian Spatial Reference System

DGPS – Differenzielles GPS

GAPS – GPS Analysis and Positioning Software

GCP – Ground Control Point

GDC – GNSS Data Center

GLONASS – Globalnaja nawigazionnaja sputnikowaja sistema

GNSS – Globales Navigationssatellitensystem

GPS – Global Positioning System

IGS – International GNSS Service

ITRF – International Terrestrial Reference Frame

ITRS – Internationales Terrestrial Reference System

PPP – Precise Point Positioning

RTK – Real Time Kinematic

SCTH – Saudi Commission for Tourism & National Heritage

TBC – Trimble Business Center

UTM – Universal Transverse Mercator

WGS – World Geodetic System

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Die Arabische Halbinsel.....	3
Abbildung 2: Messgebiet.....	4
Abbildung 3: Prinzip des Multipath Effect.....	7
Abbildung 4: Differenzielles GPS.....	9
Abbildung 5: Übersicht der Permanentstationen.....	13
Abbildung 6: Permanent-Stationen im Umkreis des Messgebietes.....	14
Abbildung 7: Prinzip der Aufteilung in UTM.....	15
Abbildung 8: Einteilung des UTM's in Afrika.....	16
Abbildung 9: kartesisches Koordinatensystem.....	17
Abbildung 10: Geoid.....	18
Abbildung 11: Geoid und Ellipsoid.....	19
Abbildung 12: Restklaffen eines GLONASS Satelliten.....	22
Abbildung 13: Geoidundulation (N).....	46
Abbildung 14: Geoidundulation Punkt QRef.....	47

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Koordinaten QRef.....	12
Tabelle 2: Bewegungsvektor der Station HALY.....	20
Tabelle 3: Berechnung des Punktes qref20161201.....	21
Tabelle 4: QRef nach der Berechnung mit RAMO.....	22
Tabelle 5: Berechnung QRef mit und ohne GLONASS.....	23
Tabelle 6: Vergleich PPP mit TBC.....	24
Tabelle 7: Vergleich Punkt GPS03 und GPS05.....	26
Tabelle 8: QRef vergleich in LGO und TBC.....	26
Tabelle 9: Vergleich GCP22 und GPS03.....	27
Tabelle 10: Vergleich TBC und CSRS.....	28
Tabelle 11: Vergleich der Punkte GCP, GPS16, GPS17, GPS18 und Basis.....	28
Tabelle 12: Vergleich CSRS und TBC.....	29
Tabelle 13: Zweite Berechnung in LGO.....	30
Tabelle 14: Ionos freie Lösung.....	31
Tabelle 15: Float Lösung.....	32
Tabelle 16: Vergleich TBC und LGO 8.4.....	34
Tabelle 17: Parameter der Transformation.....	40
Tabelle 18: Ergebnis der Helmert Transformation.....	40
Tabelle 19: Streckenvergleich.....	41
Tabelle 20: Parameter der Rücktransformation.....	44
Tabelle 21: Ergebnisse der Transformation in In Dubio Pro Geo.....	45
Tabelle 22: Ergebnisse in CoordTrans und Differenz zu In Dubio Pro Geo.....	45
Tabelle 23: Geoidundulationen.....	47

# 1 Einleitung

Die arabische Halbinsel, ein der Teil der Erde der seit jeher von Hochkulturen Besiedelt wurde. Schon im 3. Jahrhundert vor Christus besaß das Reich der Saba Kolonien in Eritrea und Tansania. Da ist es nicht verwunderlich, dass schon Mitte des 20. Jahrhunderts Historiker und Archäologen auf die arabische Halbinsel gereist sind, um dort Zeugen der Antike zu suchen. Qurayyah ist eines der Hauptfundorte in Saudi Arabien. Hier im Nordwesten des Landes haben sich die Nabatäer im ersten Jahrtausend vor Christi nieder gelassen.

Bei allen archäologischen Ausgrabungen ist die Vermessung ein Hauptbestandteil der Arbeit, vor allem die Funde zu dokumentieren und um Strukturen alter Siedlungen zu rekonstruieren.

Diese Arbeit befasst sich mit der Schaffung eines Festpunktfeldes als Grundlage der aktuellen Ausgrabung der Universität Wien in Zusammenarbeit mit dem Saudischen Komitee für Tourismus und nationalem Erbe (SCTH). Das Festpunktfeld wurde mit differential GPS gemessen und im Nachhinein in Dresden ausgewertet, da zum Zeitpunkt der Messung keine Referenzstation vorhanden war. Die Ergebnisse wurden mit TBC gerechnet und mit Ergebnissen aus LGO verglichen.

Archäologen haben vor Ort einzelne Quadrate tachymetrisch aufgenommen, diese Suchfelder wurden mit lokalen Koordinaten versehen, die in dieser Arbeit in das UTM – Koordinatensystem transformiert werden.

Des weiteren werden die Geoidundulationen des EGMs 84, 96 und 2008 beschrieben.

## 2 Messung

### 21 Qurayyah

#### 21.1 Messgebiet

Seit 2014 existiert eine Vereinbarung der Universität Wien mit dem SCTH (Saudi Commission for Tourism and National Heritage), dem saudischen Komitee für Tourismus und nationales Erbe. Diese beinhaltet eine saudisch-österreichischen Zusammenarbeit bei der Erforschung des Bodendenkmals Qurayyah (LUCIANI; ALSAUD (2015)).

Qurayyah liegt in der Tabuk Provinz im Nordwesten Saudi Arabiens. Die ganze arabische Halbinsel ist voll mit archäologischen Schätzen. Qurayyah war einst eine Ansiedlung der Nabatäer, welche wahrscheinlich im ersten Jahrtausend vor Christi Geburt entstand (INGRAHAM, et al. (1981)). Schon 1968 (PARR; HARDING; DAYTON (1968)) und 1980 (INGRAHAM, et al. (1981)) gab es archäologische Expeditionen auf der arabischen Halbinsel, welche wertvolle Funde hervorbrachten. Diese Relikte der Antike weisen auf eine – für die damalige Zeit – sehr fortschrittliche Lebensweise und Kultivierung der Nabatäer (PARR; HARDING; DAYTON (1968)) hin. 2014 begann nach über 30 Jahren ohne archäologische Ausgrabungen eine neue Phase in Qurayyah. Die ersten Funde zeigten das weiterhin bestehende Repertoire an Entdeckungsmöglichkeiten (SCTH, Universität Wien,2015). Abbildung 1<sup>1</sup> zeigt das Gebiet der Messung (die Sterne markieren den Ort der Messung).

---

1 Maps.google.de



Abbildung 1: Die Arabische Halbinsel

## 21.2 Festpunktnetz

Als Grundlage dieser Ausgrabungsarbeit soll ein Festpunktnetz geschaffen werden, welches in dem Koordinatensystem UTM verankert ist. Dies dient dem Zweck, die Funde zu dokumentieren und um ein einheitliches Koordinatensystem zu nutzen, so dass eine problemlose Weiterführung dieses Projektes in der Zukunft auch von anderen Institutionen möglich ist.

Prof. Dr. B.-D. Teichert von der HTW - Dresden erstellte dafür ein Punktnetz aus 22 Punkten und vermaß dieses mit GPS (Global Positioning System). Außerdem legte Teichert 13 sogenannte Ground Control Points (GCP) für die Durchführung einer späteren Georeferenzierung und Orientierung der Satellitenbilder fest. Um eine Transformation von bereits im lokal gemessenen Koordinatensystem Punkten in das übergeordnete UTM – Koordinatensystem auszuführen, dienten vier mit GPS gemessene Punkte als identisch für die Transformation.

Diese Messung fand im Rahmen einer Ausgrabungsexpediton der Universität Wien und dem SCTH vom 14. November bis zum 15. Dezember 2015 in der Tabuk Provinz statt. Diese Bachelorarbeit befasst sich mit der Auswertung der Messung und die Bewertung der Ergebnisse, sowie die Transformation der lokalen Punkte in das übergeordnete UTM – Koordinatensystem. Abbildung 2<sup>2</sup> zeigt eine Übersicht des neu erstellten Festpunktenetz. In der Anlage 1 ist diese Karte in größerem Format zusehen.

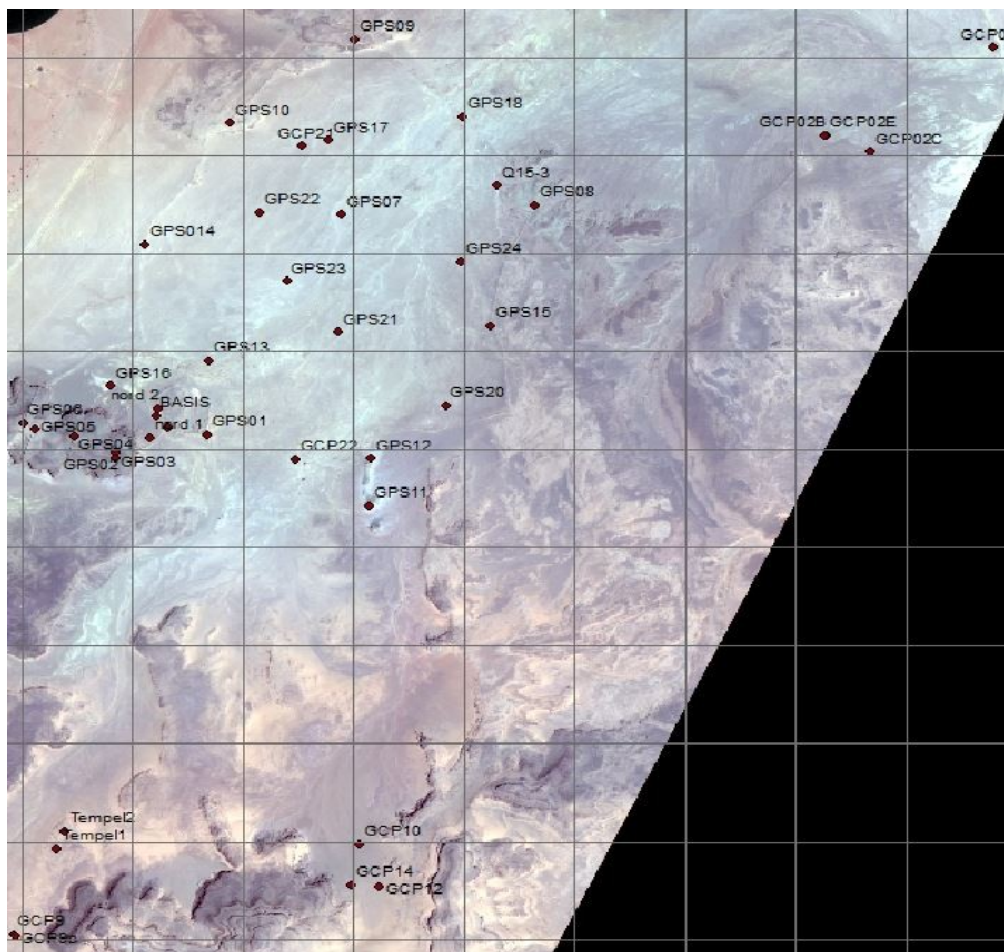


Abbildung 2: Messgebiet

## 22 Technische Daten

Für die GPS Messung wurden zwei GPS – Systeme der Firma Leica verwendet. Das System besteht aus zwei Empfängern (Modell Geo Explorer) und zwei Antennen (Typ ATX1230GG); dabei dient ein System als Referenzstation und das zweite als

<sup>2</sup> GeoEye



Rover. Die Antennen sind in der Lage, die Frequenzen L1 und L2 sowie Daten von GLONASS und GPS zu empfangen. Die Verwendung beider Frequenzen bringt verschiedene Vorteile, die im Laufe der Arbeit beschrieben werden. Laut Leica erreicht dieses Equipment bei der Auswertung eine Genauigkeit von 5mm + 0,5ppm in der horizontalen Lage und 10mm + 0,5ppm in der Vertikalen (Leica a,(ohne Angabe)).

## 221 GPS und GLONASS

Das Global Positioning System (GPS) wurde in den 1970er vom US-Militär als eine Methode bzw. ein System für eine weltweite Positionierung entwickelt. 1978 erfolgte die Erprobung und 1980 die Bereitstellung von vier Satelliten, teilweise für den zivilen Sektor. Im Laufe der Jahre wurden mehr Satelliten dem GPS hinzugefügt. Heute arbeitet das GPS mit 24 Satelliten, die in einer Höhe von 20 000km eine weltweite Positionierung garantieren (BAUER (2011),227).

„Globalnaja nawigazionnaja sputnikowaja sistema“ (GLONASS) - „Globales Satellitennavigationssystem“ ist das russische Gegenstück des GPS. Vom russischen Militär entwickelt, erfolgte 1982 der erste Satellitenstart. GLONASS war von Beginn an für den zivilen Sektor zugänglich. Nach und nach wurde das System ausgebaut. Mittlerweile gibt es 23 aktive und einen Reservesatelliten in den Umlaufbahnen.

Beide Systeme gleichen sich im Grundprinzip und können deshalb als gegenseitige Ergänzung genutzt werden (BAUER (2011),263).

Von den Satelliten erfolgt eine Sendung der Signale zu den jeweiligen Empfängern, die Signale werden auf eine Trägerfrequenz in zwei Kanäle (L1 und L2) moduliert. Die Bestimmung der Position findet durch einen Schnitt mit drei Kugeln statt. Der Radius der Kugel ist die Entfernung zwischen Empfänger und Satellit. Um ein eindeutiges Ergebnis zu erlangen, sollten jedoch mindestens vier Satelliten verwendet werden.

Die gesendeten Signale enthalten die Absendezeit und die Koordinaten des Satelliten. Durch die Laufzeitmessung des gesendeten Codes kann die Entfernung berechnet werden. Diese Methode liefert nur ein sehr ungenaues Ergebnis und findet zum Beispiel bei Handempfängern oder Auto Navigationsgeräten Anwendung. Für GPS Geräte, die im Vermessungswesen eingesetzt werden, werden die Trägerphasen gemessen. Die Wellenlänge der Trägerphase ist bekannt (L1 19,05cm und L2 24,45cm), somit ist das Phasenreststück messbar. Das Phasenreststück + Wellenlänge\*Anzahl ergibt die Entfernung. Da die Anzahl der ganzen Wellenstücke unbekannt ist, wird von einem mehrdeutigen Ergebnis gesprochen. Die Verwendung zweier Frequenzen erleichtert die Lösung der Mehrdeutigkeit durch das Wide – Lane – Signal (BAUER (2011),170ff).

## 222 Fehlereinflüsse

Bei einer Positionierung mit GPS sind einige Fehlereinflüsse zu beachten. Neben unspezifischen Quellen aufgrund von Hardware- und Softwarefehler existieren einige systematische Fehler. In diesem Abschnitt wird kurz auf die wichtigsten Fehlereinflüsse eingegangen.

- Satelliten und Empfänger- Uhrenfehler

In den Ephemeriden, die der Empfänger von den Satelliten erhält, befindet sich unter anderem die Uhrzeit vom Absendezeitpunkt. Der Faktor  $\Delta t$  wird aus dem Unterschied des Absende - und Empfangszeitpunktes gerechnet. Dieser Faktor ist für die Entfernungsberechnung essenziell. Da die Uhren abhängig von der Erdanziehung unterschiedlich „schnell“ laufen, existiert eine unbekannt Abweichung der Zeit; der sogenannte Satelliten- bzw. Empfänger-Uhrenfehler. Durch das simultane Messen auf einer unbekannt und einer bekannten Station (differenzielles GPS) kann dieser Fehler eliminiert werden (XU (2003),72).

- Mehrwegausbreitung

Bei der Mehrwegausbreitung (Multipath Effekt) entstehen Laufzeitverzögerungen durch Reflexionen des Signals an herumstehende Häuser, den Boden oder andere Hindernisse (s. Abbildung 3<sup>3</sup>). Dieser Einfluss kann nicht genau benannt werden und nur durch eine sogenannte Choke Ring Antenne eliminiert werden.

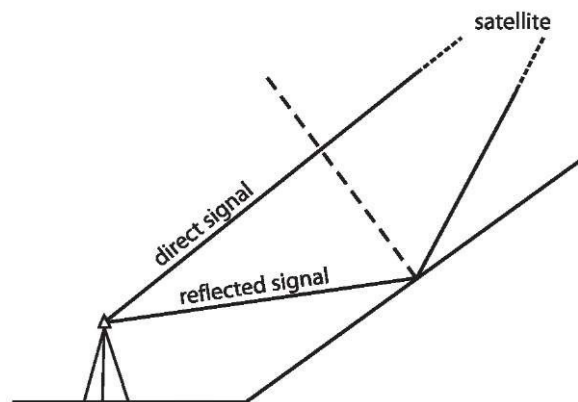


Abbildung 3: Prinzip des Multipath Effect

Der Einfluss auf ein Ergebnis durch Trägerphasen Messung kann bei bis zu 5 cm liegen (MISRA; ENGE (2006),177). Die Lage des Messgebietes in der Wüste bietet sehr wenige Möglichkeiten der Reflexion, sodass der Einfluss wahrscheinlich darunter liegt.

- Ionosphärische und troposphärische Laufzeitverzögerung

Der Aufbau der Erdatmosphäre besteht aus mehreren Schichten. Für die Betrachtung der Laufzeit des GPS Signals muss die Ionosphäre und die Troposphäre beachtet werden. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Signals vom Satelliten ändert sich beim Eintritt aus dem Vakuum zur Ionosphäre. Dieses Phänomen wird ionosphärische Refraktion genannt (XU (2003),39). In Äquatorregionen ist dieser Einfluss am stärksten und muss berücksichtigt werden. Eine Erfassung der Refraktion ist notwendig. Da Teichert in Qurayyah

3 [http://what-when-how.com/wp-content/uploads/2012/02/tmp2A821\\_thumb.jpg](http://what-when-how.com/wp-content/uploads/2012/02/tmp2A821_thumb.jpg)

Zweifrequenzmessungen durchgeführt hat, kann eine Korrektur abgeleitet und angebracht werden. Dies geschieht nicht in jedem Fall. Sowohl Leica als auch Trimble berechnen die Basislinien mit zwei Frequenzen, nutzen jedoch nicht in jedem Fall ein Modell zur Beseitigung dieses Einflusses. Der Unterschied zwischen einer ionosfreien Lösung (berechnet mit dem Klobuchar Modell) und einer Lösung mit diesem Fehlereinfluss kann bei einer Basislinie der Länge 10 – 15km bis zu 5mm betragen (Khaled Mohamed Abdel Mageed (2014)).

Die letzten 10km vor der Erdoberfläche werden als Troposphäre bezeichnet. In dieser Sphäre spielen Luftdruck, Luftfeuchte und Lufttemperatur eine große Rolle. Eine Korrektur durch Zweifrequenzmessung wird für diesen Fehler nicht erreicht. Stattdessen können zur Minimierung dieses Einflusses Modelle mit meteorologischen Parametern angewendet werden um dieses Einfluss zu minimieren (XU (2003),50).

## **23 Messverfahren**

Für die Gewinnung der Koordinaten der Punkte werden deren Positionen mithilfe eines DGPS (differenzielles GPS) relativ bestimmt. Die Messung jedes Punktes erfolgte statisch und unter Verwendung der GPS und GLONASS Satelliten. Vor Ort konnten keine endgültigen Koordinaten errechnet werden, da die Auswertung (auch von der Referenzstation) im Nachhinein in Dresden geschah.

### **23.1 Relative GPS-Positionierung mit einer Referenzstation**

Bei der relativen GPS-Positionierung werden GPS Messungen simultan auf zwei unterschiedlichen Punkte durchgeführt. Einer der beiden Punkte erhält die Bezeichnung Referenzstation - dessen Koordinaten in der Regel bekannt sind. Durch die simultane Messung kann ein Teil der Fehlereinflüsse eliminiert oder stark verringert werden, da die Messung mit den selben Satelliten unter nahezu identischen Voraussetzungen stattfindet. Die Koordinaten des beweglichen Rovers werden vor Ort nicht absolut gerechnet, sondern sind Ergebnis der

Basislinienberechnungen. Diese dreidimensionale Basislinien werden relativ zur Referenzstation berechnet und im Nachhinein auf die Koordinaten der Referenzstation addiert. Bei der Messung in Qurayyah waren die Koordinaten der Referenzstation zum Zeitpunkt der Messung nicht bekannt; dadurch konnten nur lokale Koordinaten der Punkte ermittelt werden. Die Koordinaten der Referenzstation wurden anschließend mit dem gleichen Prinzip des DGPS berechnet (s. Abbildung 4<sup>4</sup>). Dafür erfolgte die Verwendung der permanente Stationn RAMO in Mitzpe Ramo, Israel als Referenzstation. Nach der Berechnung der Referenzstation können die restlichen Punkte mit Basislinienberechnungen bestimmt werden (BAUER (2011),206).

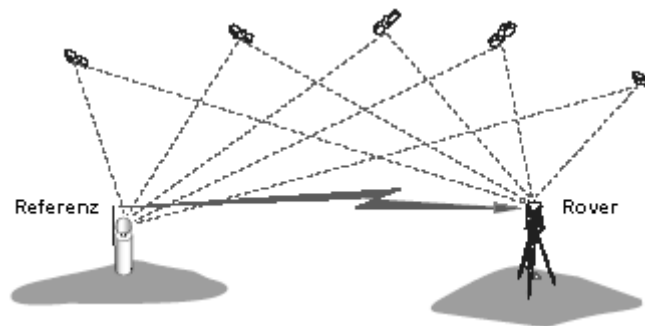


Abbildung 4: Differenzielles GPS

Aufgrund des simultane Messens und der Kommunikation zwischen Rover und Referenzstation werden Korrekturwerte ermittelt und Fehlereinflüsse beseitigt. Dies geschieht durch den Soll - Ist Vergleich der bekannten Referenzstation. Diese Korrekturwerte werden auf den Rover übermittelt und mit der eigenen Positionsbestimmung verarbeitet. Durch dieses Verfahren können hoch genaue Basislinien bestimmt werden (BAUER (2011),208).

Neben dem DGPS wird das RTK (Real Time Kinematic) Verfahren in der Vermessung angewendet. Dabei werden endgültige Positionen in Echtzeit und mit kinematischen Saisons bestimmt. Die Anwendung dieses Verfahrens erfolgte nicht in Qurayyah und ist kein Teil der vorliegenden Bachelorarbeit.

4 <http://www.geometh-data.ethz.ch/publicat/diploma/huber2005/images/DGPS.gif>

## 2.3.2 Beobachtungsverfahren

Die Praxis unterscheidet im Ergebnis zwischen zwei Beobachtungsverfahren - dem statischen und dem kinematischen Verfahren. Für eine Abweichung der Koordinatengenauigkeit von 1 cm und weniger kommt das statische Verfahren in Frage. In Qurayyah wurden kurzzeitige statische Beobachtungen (fast static) durchgeführt. Die Messdauer beträgt ca. eine halbe Stunde.

Für die Messung der Referenzstation wurde ein langzeitiges statisches Verfahren verwendet, welches länger als eine halbe Stunde dauert. Bei dem kinematischen Verfahren ist der Empfänger ständig in Bewegung, eine Genauigkeit von 1 cm ist nur mit einem RTK Verfahren zu realisieren (BAUER (2011),339).

## 3 Auswertung

Die Position der Punkte in Qurayyah wurden vor Ort nicht endgültig bestimmt. Dafür fehlten genaue Koordinaten der Referenzstation QRef, deren Position im Nachhinein in Dresden berechnet wurde. Dafür wurde das Prinzip des Precise Point Positioning (PPP) und eine Basislinien Auswertung durchgeführt. Die restlichen Punkte der Messung wurden in TBC durch Basislinienverarbeitungen berechnet.

### 3.1 PPP

Präzise Positionsbestimmungen werden in der Regel durch eine relative Positionsbestimmung erlangt. Eine Alternative dazu ist das Verfahren des Precise Point Positioning, kurz PPP. Das PPP ist ein Verfahren der absoluten Positionsbestimmung, d.h. es werden die Koordinaten des Empfängers absolut bestimmt und nicht relativ zu einer Referenzstation. Der Nutzer sendet die Rohdaten im RINEX Format zu einem Online Anbieter des PPP. Das IGS (International GNSS Service) bietet durch ein weltweites Netz aus Permanentstationen Korrekturwerte an, die mit den Rohdaten des Empfängers verarbeitet werden und eine zentimetergenaue Position liefern. Die Voraussetzungen dafür sind statische Messungen mit Mindestmessdauer von einer Stunde sowie eine Messung in zwei Frequenzen. Außerdem sollte beachtet werden, dass die Ephemeriden nur wöchentlich vom IGS bereit gestellt werden. Eine zeitnahe Auswertung durch PPP kann zu ungenauen Ergebnissen führen. Bei dieser Messung entstand eine Abweichung von 8mm zwischen einer zeitnahen (einen Tag nach der Messung) Auswertung und einer mehrere Wochen danach (HESSELBARTH; WANNINGER (2013)).

Im Internet existieren verschiedene PPP Anbieter, welche die Positionsbestimmung kostenfrei anbieten. Während dieser Arbeit wurden die Anbieter CSRS (Canadian Spatial Reference System) und GAPS (GPS Analysis and Positioning Software) verwendet. CSRS und GAPS sind leicht zu verstehende Internetapplikationen, in denen die Rohdaten der Vermessung im RINEX Format hochgeladen werden.

Innerhalb weniger Minuten werden diese Messdaten mit Korrekturwerte verarbeitet und der Anwender bekommt eine absolute Lage der Punkte (s. Anlage 2).

Untersuchungen von Heßelbarth und Bunn zeigen, dass die Dienste unterschiedliche Genauigkeiten liefern. Bunn zeigt in seiner unveröffentlichten Bachelorarbeit, dass sich GAPS und CSRS in der Höhe stark unterscheiden. Dadurch kann in der Lage mit einem Fehler zwischen ein und zwei Zentimeter gerechnet werden und in der Höhe für CSRS ebenfalls einen Zentimeter. Allerdings zeigt Bunn, dass GAPS in der Höhe eine Standardabweichung von ca. einen Dezimeter aufweist (Messdauer fünf Stunden). Für kinematische Messdaten hat Heßelbarth Abweichungen bis zu 4,1cm in der Lage und 7,8cm in Höhe durch den Anbieter CSRS entdeckt (Bunn, Alexander, (2011), HESSELBARTH; WANNINGER (2013)).

### 3.2 Permanentstation

Um die Methode des differentiellen GPS nutzen zu können, muss eine simultane Messung auf zwei Punkten vorhanden und einer davon bekannt sein. In Saudi – Arabien diente der Punkt QRef als Referenzstation, der Empfänger auf diesem Punkt hat an jeden Tag des angegebenen Zeitraumes eine Messung durchgeführt. Da dieser Punkt unbekannt ist, sind alle Lösungswerte ohne Korrektur und weichen stark voneinander ab (s. Tabelle 1).

*Tabelle 1: Koordinaten QRef*

	E [m]	N [m]	ellips. Höhe [m]	Abweichungen zum Mittelwert		
20151116	215701,639	3200299,056	737,553	-0,316	-0,824	-1,872
qref20151117	215701,421	3200299,013	737,717	-0,098	-0,781	-2,036
qref20151120	215701,254	3200298,302	735,992	0,069	-0,070	-0,311
Qref20151121	215701,290	3200297,856	734,723	0,033	0,376	0,958
QRef20151123	215701,486	3200298,368	735,558	-0,163	-0,136	0,123
QRef20151124	215701,459	3200298,932	735,127	-0,136	-0,700	0,554
QRef20151125	215701,369	3200298,167	735,846	-0,046	0,065	-0,165
QRef20151130	215700,850	3200297,521	735,244	0,473	0,711	0,437
QRef20151201	215701,384	3200298,026	735,627	-0,061	0,206	0,054
QRef20151203	215701,149	3200297,677	734,737	0,174	0,555	0,944
QRef20151205	215701,354	3200297,944	735,395	-0,031	0,288	0,286
QRef20151208	215701,225	3200297,919	734,655	0,098	0,313	1,026
Mittelwert:	215701,3233	3200298,2318	735,6812			



Die verschiedenen Punkte entstehen durch die einzelnen Messtage, da der Empfänger in der Nacht abgeschaltet wurde. Um Korrekturwerte für die Referenzstation zu erhalten, kann neben dem PPP eine relative Positionsbestimmung erfolgen. In der Beschreibung zu PPP (Kapitel 3.1 PPP) wurden schon die Permanentstationen des IGS erwähnt. Diese Stationen bilden ein weltweites Netz (s. Abbildung 5<sup>5</sup>).



Abbildung 5: Übersicht der Permanentstationen

Dieses weltweite Netz der Stationen wird vom IGS verwaltet. Das IGS (International GNSS Service) ist ein Verband aus 200 Forschungsinstituten und Universitäten, die hochpräzise Ephemeriden berechnen und als Opensource für die Öffentlichkeit bereit stellen. Die Positionen der Permanentstationen können als Fehlerfrei betrachtet werden. „Permanent“ bedeutet, dass die GPS Empfänger 24 Stunden am Tag und sieben Tage in der Woche messen. Über das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG, [www.bkg.bund.de](http://www.bkg.bund.de)) können Koordinaten der Permanentstationen im RINEX Format angefordert werden. Die Daten werden im Zeitraum der Messung angefordert, damit bei der Auswertung eine simultane Messung vorliegt. Die Permanentstationen sind Referenzstationen. Um Verwechslungen zu vermeiden, werden in der vorliegenden Arbeit die permanenten Stationen als „Permanentstation“

5 <http://igs.org/about>

bezeichnet und die Station QRef in Saudi – Arabien als „Referenzstation“ (BAUER (2011),168).



Abbildung 6: Permanent-Stationen im Umkreis des Messgebietes

Abbildung 6<sup>6</sup> zeigt einige Stationen im Umkreis des Messgebietes. Zum Zeitpunkt der Messung waren die meisten Stationen inaktiv. Als einzige sinnvolle Referenz kommt die israelische Station *Ramo* in Mitzpe Ramon in Frage.

### 3.3 Berechnung der endgültigen Koordinaten

Die Berechnung der Koordinaten der Referenzstation und der einzelnen Punkte wurde mit TBC (Trimble Business Center) durchgeführt. Der Punkt 111 wurde außerhalb des eigentlichen Messzeitraums gemessen und wird daher nicht in den Berechnungen einbezogen. Die endgültigen Koordinaten sind im UTM Koordinatensystem mit dem Datum *WGS 1984* auf dem Geoid *EGM 2008* in der Epoche des Messzeitpunktes angegeben.

<sup>6</sup> [www.igs.org/network](http://www.igs.org/network)

### 3.3.1 UTM – Koordinatensystem

Das UTM (Universal Transversale Mercator) Koordinatensystem ist ein globales System, das die Erde in einer transversalen Mercator - Projektion abbildet. Bei der Mercator – Projektion wird die Erde auf einem Zylinder projiziert (s. Abbildung 7<sup>7</sup>), die transversale Abbildung bildet kleine Abschnitte mit einem festgelegten Mittelmeridian bzw. Bezugsmeridian ab.

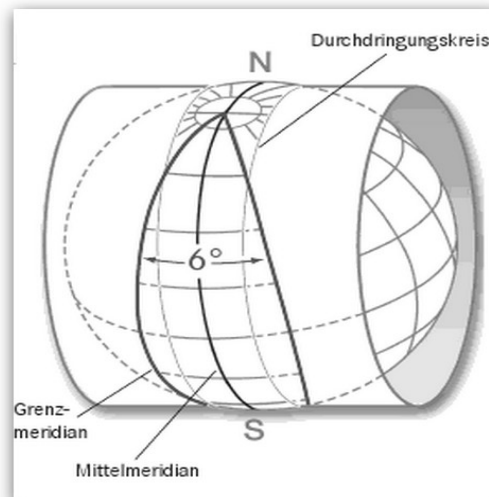


Abbildung 7: Prinzip der Aufteilung in UTM

Der Zylinder berührt die Oberfläche an einem Längengrad und bildet alle 6° einen Mittelmeridian bzw. Bezugsmeridian. Diese Unterteilung wird in Zonen nummeriert, um die Verzeichnung minimal zu halten. Der Bezugsmeridian erfährt eine Stauchung um den Faktor 0,9996. Von Nord nach Süd werden die Zonen alle 8° unterteilt und mit einem Buchstaben bezeichnet.

<sup>7</sup> [http://avweb.service24.rlp.de/tz\\_wiki/images/8/8f/Utm\\_schemabild.png](http://avweb.service24.rlp.de/tz_wiki/images/8/8f/Utm_schemabild.png)

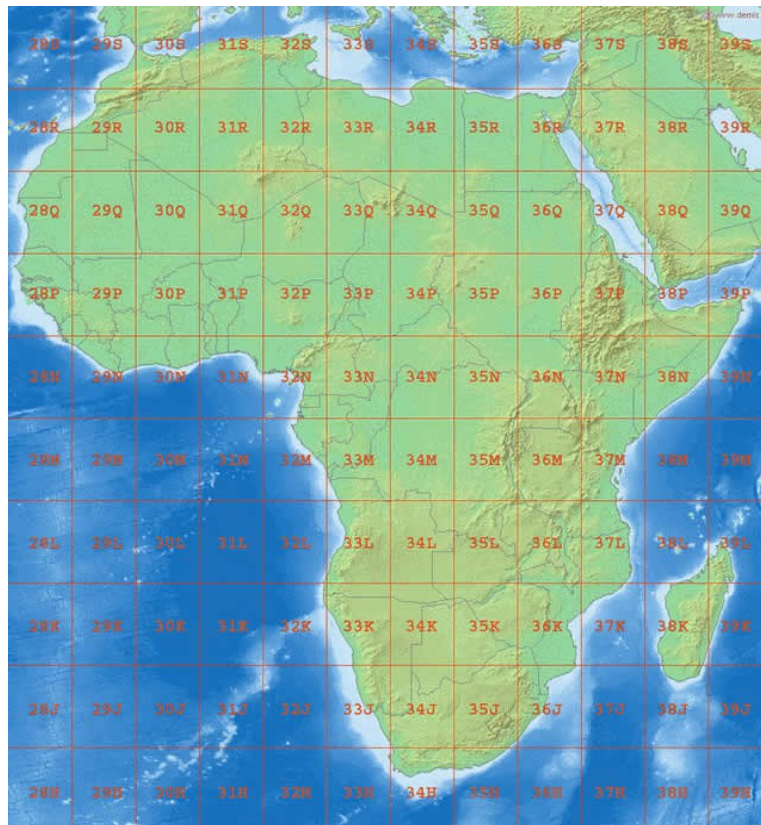


Abbildung 8: Einteilung des UTM in Afrika

Qurayyah liegt in der Zone 37R (s. Abbildung 8<sup>8</sup>). Der Mittelmeridian ist der 39. westliche Längengrad. Die Aufteilung fängt bei der Zone 1 und der östlichen Länge 180° an. Somit ist der Nullmeridian die Grenze zwischen der Zone 30 und 31. Die Koordinaten werden mit Rechtswerten E (East) und Hochwerten N (North) angegeben. Der Wert des Rechtswertes gibt den Abstand zum Mittelmeridian plus 500000m an, um einen negativen Wert links vom Mittelmeridian zu vermeiden. Der Hochwert ist der Abstand zum Äquator (MÖSER (2012), 101).

### 3.3.2 Referenzsysteme und Referenzrahmen

Ein Koordinatensystem alleine ohne jeglichen Bezug ist ein mathematisch abstraktes Gebilde und liegt nicht eindeutig im Raum. Über dessen Lage und Maßstab müssen Definitionen getroffen werden. „Ein geodätisches Referenzsystem ist die Summe der theoretischen Vereinbarungen zur Konkretisierung eines Koordinatensystems für

8 <http://www.africaexpedition.de/wp-content/uploads/LA2-Africa-UTM-zones.jpg>

geodätische Zwecke.“(BAUER (2011),37) In einem Referenzsystem werden die theoretischen Grundlagen sowie der Ursprung des Systems, die Orientierung, das Referenzellipsoid und das Geoid festgehalten. Zur Realisierung dieser Vereinbarungen wird ein reference frame (Referenzrahmen bzw. Referenznetz) benötigt. Der Rahmen verknüpft das Koordinatensystem mit der realen Positionen auf der Erde, durch zum Beispiel auf dem Erdkörper vermarkte Punkte. Die momentan wichtigsten globale Referenzsysteme sind :

- International Earth Rotation Service (IERS) Terrestrial Reference Frame (ITRF)
- World Geodetic System 84 Coordinate System (WGS 84)
- European Terrestrial Reference Frame 89 (ETRF 89)
- Parametri Zemli 90 (PZ90)

Um eine globale Realisierung der Systeme durchzuführen, gibt es das geozentrische kartesische Koordinatensystem mit Ursprung im Massenmittelpunkt der Erde. Die Rotationsachse bildet die Z – Achse, YX – Ebene ist die Äquatorebene (s. Abbildung 9<sup>9</sup>).

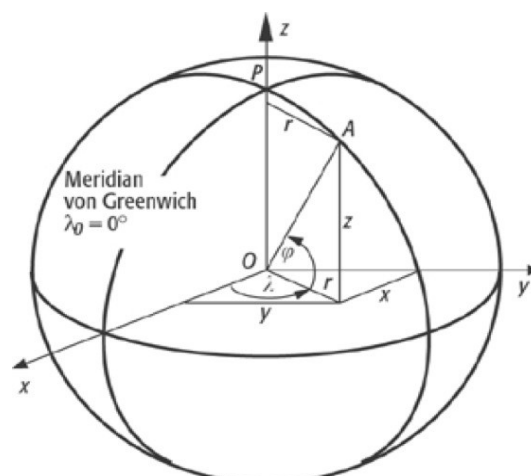
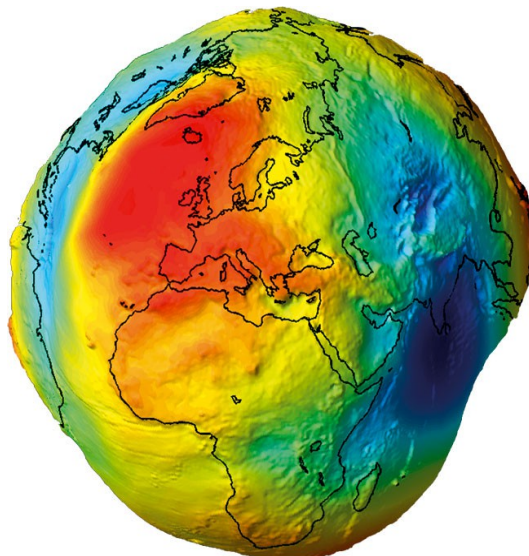


Abbildung 9: kartesisches Koordinatensystem

9 [http://www.spektrum.de/lexika/images/karto/geo\\_koo1\\_w.jpg](http://www.spektrum.de/lexika/images/karto/geo_koo1_w.jpg)

Die oben genannten Systeme sind mittlerweile theoretisch identisch; Unterschiede gibt es im Koordinatenursprung und die Koordinatenachsen fallen nicht exakt zusammen. GPS Messungen werden in UTM Koordinaten angegeben mit dem System WGS 84. Das WGS 84 ist ein Referenzsystem und ein geodätisches Datum. In einem geodätischen Datum wird die Orientierung des Referenzsystems zum globalen geozentrischen Koordinatensystem beschrieben (BAUER (2011),45). Zu den Parametern im WGS 84 gehört auch die Festlegung eines Geoids und Ellipsoids auf welches sich bezogen wird.

Das Geoid ist die in der Geodäsie verwendete Bezugsfläche. Sie wird unter Berücksichtigung des Schwerefeldes dargestellt (s. Abbildung 10<sup>10</sup>).



*Abbildung 10: Geoid*

Abbildung 10 ist mit einer Überzeichnung der Gravitationskraft dargestellt, die Geoidfläche orientiert sich am mittleren Meeresspiegel. Die Höhenangaben, die sich auf das Geoid beziehen, werden als orthometrische Höhen bezeichnet (HECK (2003),4). Aktuelle, sich auf das WGS 84 berufene Vermessungen, nutzen das Gravitationsmodell EGM 08 als Geoid. Dieses ist ein sehr komplexer Körper, sodass es als Annäherung des Rotationsellipsoid definiert ist (s. Abbildung 11<sup>11</sup>).

---

10 <http://planetearth.nerc.ac.uk/images/uploaded/custom/geoid-c2.jpg>

11 [http://satgeo.zum.de/satgeo/methoden/anwendungen/satgeo\\_gravitation/images/geoid.jpg](http://satgeo.zum.de/satgeo/methoden/anwendungen/satgeo_gravitation/images/geoid.jpg)

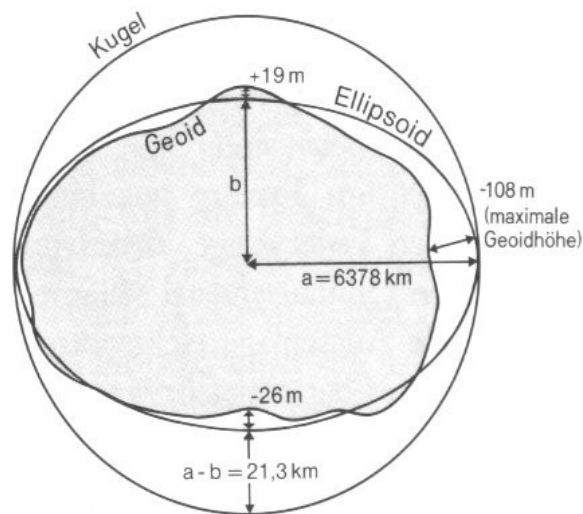


Abbildung 11: Geoid und Ellipsoid

Das Ellipsoid ist eine vereinfachtes Modell des Erdkörpers, dessen Abstand zur Erdoberfläche als ellipsoidische Höhe bezeichnet wird (HECK (2003),11). Die Definition des Ellipsoid erfolgt durch die große und kleine Halbachse.

Durch die Bewegung der tektonischen Platten verändert sich die Position jedes Punktes auf der Erdoberfläche im Laufe der Zeit. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit der Angabe der jeweiligen Epoche zu den Koordinaten. Durch das weltweite Netz der Permanentstationen werden die Bewegungsvektoren bestimmt. Mit der Formel (3.1)

$$X_{YY}^E(t_0) = X_{YY}^E(t_c) + \dot{X}_{YY}^E * (t_0 - t_c) \quad (3.1)$$

können Koordinaten von Epoche zu Epoche transformiert werden. Wobei

$\dot{X}_{YY}^E$  Geschwindigkeitsvektor, YY Jahr des Referenzrahmens

$X_{yy}^E$  Koordinatenvektor, YY Jahr des Referenzrahmens

$t_0$  Zielepoche

$t_c$  Messepoche

ist. Nur Koordinaten in derselben Epoche können sinnvoll miteinander verglichen werden. Messungen über einen längeren Zeitraum müssen auf dieselbe Epoche gerechnet werden. In Qurayyah wurde der Punkt QRef für ca. einen Monat gemessen. Dabei sind Unterschiede zwischen der Position am ersten und der am

letzten Tag feststellbar. Tabelle 2<sup>12</sup> zeigt den jährlichen Bewegungsvektor aus dem Jahr 2008 der Station HALY in Halat Ammar 30km vom Messgebiet entfernt.

*Tabelle 2: Bewegungsvektor der Station HALY*

$V_x$ [mm]	$V_y$ [mm]	$V_z$ [mm]
-24,834	14,944	20,373

Die Messung in Qurayyah hatte eine Dauer von ca. einem Monat. Dadurch entstand eine Bewegung während der Messung in der X - Achse um -2,1mm, in der Y – Achse um 1,3mm und in der Z – Achse um 1,7mm. Diese Abweichungen sind so gering, dass sie in der Auswertung keine Beachtung finden. Alle Koordinaten sind in der Messepoche der Messung angegeben.

### 3.33 Koordinaten der Referenzstation

Die Koordinatenberechnung der Referenzstation QRef erfolgte im Anschluss in Dresden. Eine Permanentstation wurde gesucht, die für QRef als geeignete Referenzstation dienen konnte. Die meisten Permanentstationen auf der arabischen Halbinsel waren während der Messung nicht aktiv. Die am nächsten gelegene Station im israelischen Mitzpe Ramon (RAMO) wurde für die Berechnung mit der Software Trimble Business Center V3.40 (TBC) verwendet.

Simultane Messdaten für die Referenzstation über den Anbieter GDC (GNSS Data Center) wurden im RINEX Format heruntergeladen, die direkt in TBC importiert werden konnten. Beim Import der Dateien fiel auf, dass am 2. Dezember 2015 ab dem Nachmittag für mehrere Stunden keine brauchbaren Daten vorhanden sind.

Eine entsprechende Nachfrage blieb unbeantwortet, vermutlich handelte es sich um einen technischen Ausfall. Die komplette Messung begann am 15. November 2015 um 10:53 Uhr und endete am 10. Dezember 2015 um 12:41. Ein mehrstündiger Ausfall ändert nichts am Ergebnis der 26 – tägigen Messung. Zur Kontrolle wurde die iranische Station ISNA von dem Anbieter CORS (Continuously Operating Reference Station) eingeladen. Diese liegt in der Nähe der fast 900km entfernten Stadt

<sup>12</sup> <http://sideshow.jpl.nasa.gov/post/series.html>



Nadschaf. Für eine sinnvolle Berechnung ist eine Basislinie von 900km Länge weniger geeignet. Für die Überprüfung der Messung am 2.Dezember 2015 ist sie ausreichend und weist keine bedeutende Abweichungen auf (s. Tabelle 3).

*Tabelle 3: Berechnung des Punktes qref20161201*

	RAMO [m]	ISNA [m]	Differenz [m]
E	215700,946	215700,945	0,001
N	3200296,396	3200296,395	0,001
ellips. H	754,861	754,873	-0,012

Aus den RINEX Dateien der GDC ist nicht klar zu erkennen, in welcher Epoche gemessen wurde. Die entsprechende Recherche auf der Homepage der Station brachte ebenfalls kein Ergebnis. Deshalb wurden die RINEX Daten erst zu CSRS nach Kanada geschickt um mittels PPP die richtige Zeitepoche der Koordinaten zu bestimmen. CSRS transformiert die Koordinaten in die Epoche der Messung. Diese Koordinaten wurden in TBC von Hand für RAMO eingegeben.

Anschließend erfolge die Einlesung der Rohdaten der Messung auf der Referenzstation und die Durchführung einer Basislinienverarbeitung. Da die Messung auf der Referenzstation nicht durchgängig vonstatten ging, gibt es 13 einzelne RINEX Dateien (Qref<sup>\*\*\*</sup>) mit anderen Koordinaten für jede Messung (da ohne Referenz gemessen). Die Lage der Punkte weichen vertikal bis zu zwei Meter und horizontal bis zu einem halben Meter voneinander ab. Nach der Verarbeitung der Basislinie liegt die maximale Abweichung zum Mittelwert in der Lage bei 10mm und in der Höhe bei 15mm (s.Tabelle 4). Anschließend wurden die Punkte in TBC gemittelt und zu dem Punkt QRef zusammen geführt.

Tabelle 4: QRef nach der Berechnung mit RAMO

	E [m]	N [m]	ellips. h [m]	diff. E [m]	diff. N [m]	diff. h [m]
111	215700,939	3200296,398	754,861	0,007	-0,002	-0,006
20151116	215700,956	3200296,397	754,840	-0,010	-0,001	0,015
qref20151117	215700,949	3200296,397	754,853	-0,003	-0,001	0,002
qref20151120	215700,945	3200296,394	754,857	0,001	0,002	-0,002
qref20151121	215700,946	3200296,395	754,849	0,000	0,001	0,006
qref20151123	215700,944	3200296,396	754,855	0,002	0,000	0,000
Qref20151124	215700,945	3200296,395	754,860	0,001	0,001	-0,005
Qref20151125	215700,946	3200296,396	754,855	0,000	0,000	0,000
Qref20151130	215700,945	3200296,397	754,856	0,001	-0,001	-0,001
Qref20151201	215700,946	3200296,396	754,861	0,000	0,000	-0,006
Qref20151203	215700,946	3200296,396	754,858	0,000	0,000	-0,003
Qref20151205	215700,948	3200296,397	754,859	-0,002	-0,001	-0,004
Qref20151208	215700,946	3200296,395	754,849	0,000	0,001	0,006
Mittel	<u>215700,946</u>	<u>3200296,396</u>	<u>754,855</u>			

Die Berechnung der Basislinien ergab ein Herausstechen der Basislinien zu den Punkten QRef20151201 und QRef20151208 durch eine zu große Standardabweichung heraus. Bei der Betrachtung des Basislinienverarbeitungsberichts fallen die verwendeten GLONASS Satelliten durch Restklaffen bis zu zwei Metern deutlich auf (s. Abbildung12). Durch das Deaktivieren der GLONASS Satelliten wird ein zufriedenstellendes Ergebnis erlangt.

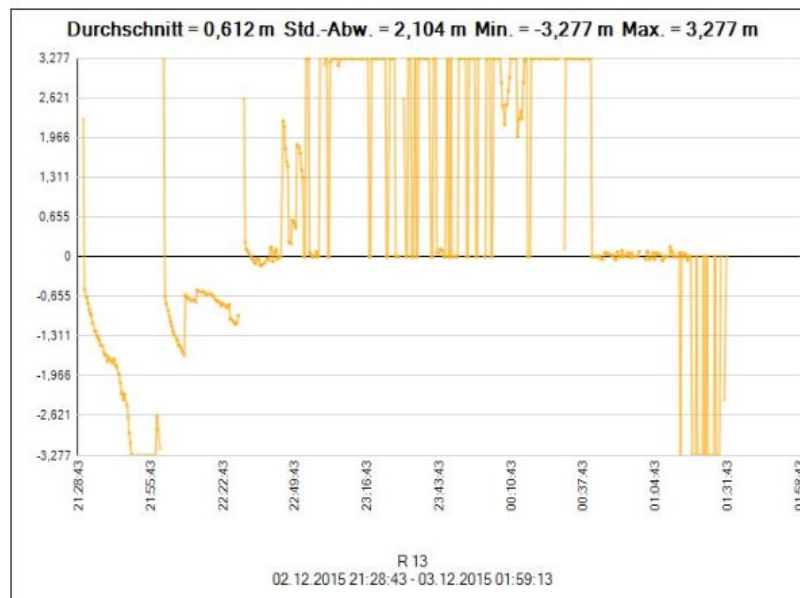


Abbildung 12: Restklaffen eines GLONASS Satelliten

Die Integration der GLONASS Satelliten zum GPS erzielt keine höhere Genauigkeit, nur die Abdeckung des Empfanges wird verbessert. Da in Qurayyah genügend Satelliten des GPS vorhanden waren, konnte auf GLONASS verzichtet werden. Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse mit der teilweisen Verwendung von GLONASS und der Berechnung ausschließlich mit GPS.

*Tabelle 5: Berechnung  $Q_{Ref}$  mit und ohne GLONASS*

	GPS	GPS und GLONASS	Differenz
E [m]	215700,946	215700,946	0,000
N [m]	3200296,396	3200296,396	0,000
ellips. h [m]	754,856	754,855	0,001

Der Versuch einer Beschreibung dieser Problematik war nicht erfolgreich. Die Berechnung der Basislinie am 2. Dezember 2015 mit der Station ISNA wurde mit GLONASS durchgeführt. Diese weist bei der Berechnung keine auffälligen Abweichungen auf. Zum Ausschluss politischer Gründe wurden die Daten der Station DRAG in Metzoki Dragot, Westjordanland in das Projekt importiert. Diese war aus technischen Gründen während der Messung nicht aktiv, lediglich für die letzten zwei Tage der Messung konnte eine Berechnung mit DRAG erfolgen. Diese Berechnung zeigt ebenfalls keine Auffälligkeiten. Es wurde eine weitere Berechnung mit einer Messung im Irak und RAMO zu einem anderen Zeitpunkt (Februar/März 2016) durchgeführt. Die verwendeten GLONASS Satelliten brachten ebenfalls ein unbrauchbares Ergebnis und müssen deaktiviert werden.

Das Problem ist vermutlich am Empfänger in RAMO zu suchen. Es könnte ein technischer Defekt oder eine Störfrequenz sein, die es nicht zulässt, dass die GLONASS Signale empfangen werden können. Eine entsprechende Nachfrage bei der zuständigen Behörde (Survey of Israel) blieb unbeantwortet.

Es kann ohne GLONASS weiter gerechnet werden, da es kein Einfluss auf die Qualität der Ergebnisse hat. Weitere Berechnungen wurden mit GPS und GLONASS durchgeführt. In der Anlage 3 ist der Basislinienverarbeitungsberichts zu finden.

Zur Kontrolle der Ergebnisse wurden die RINEX Dateien der Referenzstation zu den zwei PPP Diensten CSRS und GAPS geschickt. Anschließend erfolgte die Mittlung der einzelnen Koordinaten. Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse.

*Tabelle 6: Vergleich PPP mit TBC*

	E [m]	N [m]	h [m]
TBC	215700,946	3200296,396	754,855
CSRS	215700,951	3200296,390	754,862
	-0,005	0,006	-0,007
GAPS	215700,957	3200296,403	754,930
	-0,011	-0,007	-0,075

Der Student Bunn hat 2011 in seiner unveröffentlichten Bachelorarbeit „Untersuchung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit kostenloser PPP – Dienste als Funktion von Beobachtungszeiten und Abschattungsgraden (Multipatheffekte)“ die Genauigkeit der verschiedenen Anbietern untersucht (Bunn, Alexander,2011). Seine Untersuchungen ergaben, dass CSRS der exakteste Dienst ist und GAPS dies in der Höhe am wenigsten ist. Daher wird größere Priorität auf die Ergebnisse mit CSRS gelegt und die 7,5 cm Differenz in der Höhe aus dem GAPS Dienst lässt sich auf dessen Ungenauigkeit zurückführen.

Es wird mit folgenden Ergebnissen weiter gerechnet:

QRef            215700,946m                            3200296,396m                            754,855m

### 3.3.4 Berechnung der Punkte

Nach der Berechnung von QRef können nun die restlichen Punkte importiert und berechnet werden. Insgesamt wurden 46 Punkte eingelesen. Die Deaktivierung bzw. Löschung eines Punktes erfolgte aufgrund einer zu kurzen Messdauer von ein paar Sekunden und bei einem anderen wegen seiner direkten Position neben der Referenzstation. Dies war vermutlich eine Testmessung.

Die Berechnungen der Basislinien weisen keine Auffälligkeiten auf. Jeder Punkt wurde einmal gemessen, somit kann keine Überprüfung der Messung stattfinden.

Bei der Berechnung von QRef wurden die Ergebnisse der Basislinien auf die Restklaffen der GLONASS Satelliten untersucht und teilweise deaktiviert. Die Messung der anderen Punkte fanden zeitgleich mit der von QRef\*\*\* statt und wurden mit der gleichen Software berechnet. Es waren keine Auffälligkeiten feststellbar.

Die endgültige Positionsbestimmung unter Angabe von UTM Koordinaten und der ellipsoidische Höhen aller Punkte wurde durchgeführt, eine entsprechende Koordinatenliste ist im Anlage 4 zu finden, der Basislinienverarbeitungsbericht ist in der Anlage 5 zu finden.

## **4 Weitere Betrachtung der Ergebnisse**

Neben der Auswertung mit TBC wurde diese Messung mittels Software Leica Geo Office (LGO) mit der Version 8.4 und der älteren Version 7.3 ausgewertet. Für die Berechnung wurden die gleichen Rohdaten verwendet. Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit der Bewertung der verschiedenen Ergebnisse.

### **4.1 Phasenmehrdeutigkeit**

Zur möglichst genaue Positionsbestimmung wird in der Vermessung das Prinzip der Trägerphasenmessung genutzt. Auf den Frequenzen L1 und L2 erfolgt die Sendung einer Sinuswelle, der sogenannte Trägerphase. Die Längen der Wellen sind L1 19,05cm und L2 24,45cm. Am Empfänger wird das Phasenreststück gemessen. Um ein eindeutiges Ergebnis zu erhalten, ist die Anzahl der vollen Wellenstücke wichtig. Deswegen wird bei dieser Methode von einem mehrdeutigen Ergebnis gesprochen. Durch verschiedene Suchalgorithmen und Hilfe statistischer Kriterien kann eine Lösung der Phasenmehrdeutigkeit (auch Ambiguity genannt) erreicht werden. Eine Lösung ohne Phasenmehrdeutigkeit wird fixed genannt, wird diese nicht erreicht, wird von einer float Lösung gesprochen.

## 4.2 Vergleich der Ergebnisse

Zur Berechnung in Leica Geo Office wurden zwei verschiedene Versionen (8.4 und 7.3) der Software benutzt und auf grobe Auffälligkeiten untersucht. Die Punkte GPS03 und GPS05 zeigen jeweils in einer Version eine float Lösung und in der anderen eine fixed Lösung, Tabelle 7 beinhaltet die errechneten Koordinaten der zwei Punkte in den zwei Software Versionen.

*Tabelle 7: Vergleich Punkt GPS03 und GPS05*

Version 8	E [m]	N [m]	h [m]	
GPS03	207921,836	3187453,296	864,276	float
GPS05	207562,048	3187598,963	871,272	fixed
Version 7				
GPS03	207922,530	3187453,330	864,690	fixed
GPS05	207562,720	3187603,110	870,130	float
Differenz	-0,694	-0,034	-0,414	
	-0,672	-4,147	1,142	

Es ist unmöglich, zur Lösung des Problems durch die Oberfläche der Software zu blicken. Die Rohdaten und Berechnungsart sowie der Hersteller der Software sind gleich. Vermutlich fand zwischen den zwei Versionen eine Änderung in der Berechnung der Ambiguity statt. Zum Vergleich gab es bei der Berechnung in TBC nur fixed Lösungen. Dafür gibt es mehrere Möglichkeiten und Rechenwege, auch die Satellitenkonstellation ist von Bedeutung. Wahrscheinlich wurde etwas in der Art der Berechnung zwischen den zwei Versionen verändert.

Für den Vergleich zwischen Leica und Trimble wurden die Ergebnisse aus der Leica Geo Office Version 8.4 und Trimble Business Center Version 3.40 herangezogen.

Als Erstes soll die Differenz zwischen der Referenzstation QRef betrachtet werden. Die Abweichung in der Lage betragen 3 und 8mm, in der Höhe 8mm (s. Tabelle 8).

*Tabelle 8: QRef vergleich in LGO und TBC*

QRef	E [m]	N [m]	h [m]
TBC	215700,946	3200296,396	754,857
LGO	215700,949	3200296,388	754,865
Differenz	-0,003	0,008	-0,008

Diese Unterschiede entstanden wegen der mit Trimble durchgeführten Berechnung von QRef mit der Permanentstation in Israel und der Ermittlung der Koordinaten der

Bearbeiter in Leica mithilfe des PPP Dienst CSRS mit Broadcast Ephemeriden, zumal Leica empfiehlt, Basislinien länger als 80km nicht in LGO zu rechnen (Leica a, (ohne Angabe)). Da es immer Abweichungen geben wird, wenn mit Unterschiedlichen Rechenverfahren gearbeitet wird, kann dieses Ergebnis als ein Erfolgreiches angesehen werden. Über die Anerkennung eines der beiden Ergebnisse als Soll Wert oder die Notwendigkeit einer entsprechenden Mittlung muss von Verfahren zu Verfahren entschieden werden. Da im weiteren Verlauf der Betrachtung Leica Geo Office einige Abweichungen und Mehrdeutigkeiten aufweist, werden die gerechneten Koordinaten aus Trimble Business Center als die Soll-Werte angesehen und die Werte aus Leica als Kontrolle.

Die Auffälligkeit der float Lösungen zwischen den zwei Versionen wurde Anfang des Kapitels 4.2 bereits beschrieben. Leica Geo Office Version 8.4 hat insgesamt zwei Punkte nur mit einer float Lösung gerechnet (s. Tabelle 9).

*Tabelle 9: Vergleich GCP22 und GPS03*

TBC	E [m]	N [m]	h [m]	
GCP22	208739,078	3187445,655	809,584	fixed
GPS03	207922,528	3187453,337	864,666	fixed
LGO				
GCP22	208738,663	3187445,564	809,584	float
GPS03	207921,836	3187453,296	864,276	float
Differenzen				
GCP22	0,415	0,091	0,000	
GPS03	0,692	0,041	0,390	

Es ist nicht möglich, die genaue Rechenart der jeweiligen Software zu ermitteln. Eine Option wäre, dass zu kurz gemessen wurde und/oder die Basislinie zu lang ist. Bei einer Messdauer von 28 und 33 Minuten und Basislinienlängen von 15005,544m und 14606,286m werden beide Möglichkeiten ausgeschlossen. Eine float Lösung beeinträchtigt zudem nicht unbedingt die Genauigkeit des Ergebnisses, doch zeigt Tabelle 9 Unterschiede von 41,5cm und 69,2cm im Rechtswert, sowie eine Abweichung in der Höhe von fast 40cm. Da während der gesamten Messung keine doppelten stattfanden, ist keines der beiden Koordinatenpaare geprüft. Daher wurden die RINEX Daten der besagten Punkte mit dem PPP Dienst CSRS verarbeitet. Tabelle 10 zeigt die Ergebnisse, das CSRS Protokoll ist in Anlage 6 zu finden.

Tabelle 10: Vergleich TBC und CSRS

TBC	E [m]	N [m]	h [m]
GCP22	208739,078	3187445,655	809,584
GPS03	207922,528	3187453,337	864,666
CSRS			
GCP22	208739,084	3187445,654	809,565
GPS03	207922,456	3187453,33	864,625
Differenz			
GCP22	-0,006	0,001	0,019
GPS03	0,072	0,007	0,041

Durch die Abweichungen im Zentimeterbereich (CSRS erreicht erst die Genauigkeit bei Messungen ab einer Stunde (HESSELBARTH; WANNINGER (2013), Protokolle in Anlage 6) zu TBC werden die Werte von TBC als bestätigt betrachtet.

Durch die weitere Betrachtung fallen die Punkte GCP21, GPS16, GPS17, GPS18 und der Punkt Basis auf (s.Tabelle 11).

Tabelle 11: Vergleich der Punkte GCP, GPS16, GPS17, GPS18 und Basis

TBC	E [m]	N [m]	h [m]
GCP21	208767,105	3189041,486	794,663
GPS16	207900,387	3187819,143	808,247
GPS17	208889,141	3189071,469	793,868
GPS18	209493,203	3189194,674	790,828
Basis	208106,042	3187666,936	805,808
LGO			
GCP21	208766,647	3189041,459	794,699
GPS16	207899,939	3187819,108	808,257
GPS17	208888,696	3189071,424	793,869
GPS18	209492,741	3189194,625	790,872
Basis	208105,583	3187666,908	805,848
Differenz			
GCP21	0,458	0,027	-0,036
GPS16	0,448	0,035	-0,010
GPS17	0,445	0,045	-0,001
GPS18	0,462	0,049	-0,044
Basis	0,459	0,028	-0,040

Diese Abweichungen bis hin zu fast einem halben Meter weisen im Normalfall auf einen groben Fehler hin. Aufgrund der exakt gleichen Rohdaten fällt das als Möglichkeit aus; diese Ergebnisse aus zwei unterschiedlichen Saisons würden auf einen technischen Fehler hinweisen (zum Beispiel Abschattung, Multipath oder eine



Fehlerquelle von den Satelliten). Dies ist nicht der Fall, die Anzeichen deutet wieder ein Softwareproblem an. Die Messungen erfolgten am gleichen Tag (7. Dezember) in einfacher Form, deshalb fällt eine Ausgleichung oder Überprüfung aus. Auffällig ist die Ähnlichkeit der Abweichungen, minimal im Hochwert - jedoch im Rechtswert alle ca. 45cm. Dies und die Tatsache, dass alle Punkte an demselben Tag gemessen wurden, weist auf einen systematischen Fehler hin. Die einzige Möglichkeit, diese Punkte zu überprüfen, ist die Dienste des CSRS erneut in Anspruch zu nehmen. Tabelle 12 zeigt, dass bei diesen Punkten TBC die richtigen Koordinaten berechnet hat. (CSRS Protokolle in Anlage 6)

*Tabelle 12: Vergleich CSRS und TBC*

TBC	E [m]	N [m]	h [m]
GCP21	208767,105	3189041,486	794,663
GPS16	207900,387	3187819,143	808,247
GPS17	208889,141	3189071,469	793,868
GPS18	209493,203	3189194,674	790,828
Basis	208106,042	3187666,936	805,808
CSRS			
GCP21	208767,085	3189041,473	794,654
GPS16	207900,365	3187819,149	808,233
GPS17	208889,188	3189071,471	793,816
GPS18	209493,210	3189194,604	790,959
Basis	208105,949	3187666,935	805,706
Differenz			
GCP21	0,020	0,013	0,009
GPS16	0,022	-0,006	0,014
GPS17	-0,047	-0,002	0,052
GPS18	-0,007	0,070	-0,131
Basis	0,093	0,001	0,102

Heßelbarth hat bei ihrer Untersuchung der GNSS Berechnungsdienste festgestellt (HESSELBARTH; WANNINGER (2013)), dass CSRS bei Messepochen unter einer Stunde Abweichungen bis zu zwei Dezimeter aufweist. Bei den besagten Punkten handelt es sich um Messepochen von etwa einer halben Stunde. Da sich eine Systematik hinter den Fehlern befindet, erfolgte eine erneute Berechnung dieser in LGO unter Verwendung von präzisen Ephemeriden. Tabelle 13 zeigt, dass dadurch die Ergebnisse besser zu TBC passen.

Tabelle 13: Zweite Berechnung in LGO

TBC	E [m]	N [m]	h [m]
GCP21	208767,105	3189041,486	794,663
GPS16	207900,387	3187819,143	808,247
GPS17	208889,141	3189071,469	793,868
GPS18	209493,203	3189194,674	790,828
Basis	208106,042	3187666,936	805,808
LGO			
GCP21	208767,099	3189041,466	794,687
GPS16	207900,395	3187819,120	808,250
GPS17	208889,147	3189071,431	793,859
GPS18	209493,192	3189194,632	790,858
Basis	208106,036	3187666,917	805,839
Differenz			
GCP21	0,006	0,020	-0,024
GPS16	-0,008	0,023	-0,003
GPS17	-0,006	0,038	0,009
GPS18	0,011	0,042	-0,030
Basis	0,006	0,019	-0,031

Tabelle 13 weist immer noch Abweichungen bis zu 4,2cm auf. Erfolgreich war die Beseitigung der groben Fehler in der vorherigen Berechnung. Ohne eine Kontrolle der Ergebnisse der ersten Berechnung werden die Fehler nicht erkannt. Folgende Betrachtungen werden mit den neu berechneten Punkte stattfinden. Bei dieser Berechnung wurden für den Punkt QRef die Koordinaten aus der Berechnung in TBC (s. Tabelle 8) verwendet.

LGO zeigt ionosfreie Lösungen bei den Basislinienberechnungen an. In dem Kapitel 2.2.2 über mögliche Fehlereinflüsse wurde auf die ionische Refraktion eingegangen. Vor Ort wurde als Voraussetzung für eine ionosfreie Lösung mit zwei Frequenzen gemessen. Jedoch rechnet LGO nicht automatisch eine ionosfreie Lösung (Leica b, (ohne Angabe),422). Da die Messungen kürzer als 45 Minuten gewesen sind, erzielt LGO nur ionosfreie Lösungen bei 10 Punkten (s.Tabelle 14). Trimble gibt an, in jeder Basislinienberechnung bei einer Messung mit zwei Frequenzen, den Einfluss zu minimieren. Tabelle 14 zeigt, dass die Ionos freie Lösung aus Leica sehr gut zu den Berechnungen aus TBC passen.

Tabelle 14: Ionos freie Lösung

TBC	E [m]	N [m]	h [m]
GCP9	207462,660	3185019,934	823,003
GCP9a	207470,764	3185012,420	823,942
GCP10	209022,957	3185481,711	833,847
GCP12	209118,911	3185267,946	840,653
GCP14	208988,630	3185272,832	838,867
Tempel1	207658,996	3185457,010	834,859
GPS04	207733,679	3187559,429	868,081
GPS05	207562,050	3187598,965	871,255
GPS06	207504,439	3187628,408	869,228
Tempel2	207692,164	3185546,901	835,073
LGO			
GCP9	207462,656	3185019,929	823,007
GCP9a	207470,763	3185012,419	823,945
GCP10	209022,956	3185481,704	833,855
GCP12	209118,908	3185267,931	840,666
GCP14	208988,626	3185272,817	838,875
Tempel1	207658,992	3185457,008	834,867
GPS04	207733,676	3187559,431	868,107
GPS05	207562,045	3187598,971	871,264
GPS06	207504,434	3187628,416	869,250
Tempel2	207692,156	3185546,899	835,082
Differenz			
GCP9	0,004	0,005	-0,004
GCP9a	0,001	0,001	-0,003
GCP10	0,001	0,007	-0,008
GCP12	0,003	0,015	-0,013
GCP14	0,004	0,015	-0,008
Tempel1	0,004	0,002	-0,008
GPS04	0,003	-0,002	-0,026
GPS05	0,005	-0,006	-0,009
GPS06	0,005	-0,008	-0,022
Tempel2	0,008	0,002	-0,009

Bei der zweiten Berechnung in LGO 8.4 ergaben sich drei float Lösungen, GCP22 und GPS03 sowie der Punkt GPS23. Tabelle 15 zeigt die Ergebnisse.

Tabelle 15: Float Lösung

TBC	E [m]	N [m]	h [m]
GCP22	208739,078	3187445,655	809,584
GPS03	207922,528	3187453,337	864,666
GPS23	208697,661	3188352,403	798,911
LGO float			
GCP22	208738,673	3187445,578	809,573
GPS03	207921,833	3187453,304	864,268
GPS23	208697,611	3188352,289	798,904
Differenz			
GCP22	0,405	0,077	0,011
GPS03	0,695	0,033	0,398
GPS23	0,050	0,114	0,007

Bei dem Vergleich zu Tabelle 9 ist festzustellen, dass die Abweichungen der Punkte GCP22 und GPS03 ähnlich sind, nur GPS23 hat sich verschlechtert und anstatt einer fixed Lösung hat dieser Punkt eine float Lösung. Die letzten Abschnitte befassten sich mit den gravierenden und auffallenden Abweichungen. Es gab bei allen Punkten unerklärliche Abweichungen. LGO und TBC rechnen alle Punkte mit einer guten Qualität und Standardabweichung; dennoch gibt es überall teilweise zu hohe Abweichungen. Tabelle 16 zeigt eine Übersicht der noch nicht diskutierten Punkte. Die GCP Punkte wurden für die Georeferenzierung erstellt und da die Pixelauflösung der Luftbilder bei einem halben Meter liegt, reicht eine Genauigkeit von 20-30 cm aus. Die GPS Punkte sind im Gegensatz Bestandteil eines neu gelegten Netzes. Die gelb markierten Zeilen sind Punkte, die nicht ohne Weiteres genutzt werden sollten. Eine Empfehlung wäre, diese vor der Benutzung zu überprüfen. Dies könnte durch eine neue GPS Messung stattfinden oder es werden innerhalb des Netzes einzelne Winkel und Strecken gemessen. Die anderen Punkte sollten überprüft werden. Dabei ist eine geringe Abweichung zwischen TBC und LGO ist nicht mit einer Überprüfung gleichzusetzen. Da es sich in Qurayyah um ein komplett neues Netz ohne Anschluss an bestehende Punkte handelt, sollten die neu gemessenen Punkte überprüft werden. Eine weitere Möglichkeit bestünde in der erneuten Bearbeitung der Daten mit einer wissenschaftlichen Software (z.B. Bernese). Dabei hat der Bearbeiter einen viel größeren Einfluss auf die verschiedenen mathematischen Modelle und Einstellungen. Diese Programme sind sehr kompliziert, für die entsprechende Berechnung fehlte während der Bachelorarbeit die Zeit.

Eine Untersuchung verschiedener Softwares zur Auswertung befasste sich unter anderem mit Leica und Trimble. Es wurde ein Netz mit GPS gemessen und anschließend unter anderem mit LGO und Trimble Total Commander ausgewertet. In diesem Bericht wird betont, dass die Hersteller ihre Rechenmodelle nicht veröffentlichen und endgültige Aussagen nicht getroffen werden können. Es wurden 46 Vektoren gerechnet, dabei kam es zu Abweichungen von mehreren Zentimetern (GUCEVIC; OGRIZOVIC (2015)). Gucevic und Ogrizovic machen in ihrer Arbeit die verschiedenen mathematischen Modelle für die Abweichungen verantwortlich. Diese Vermutung liegt dieser Arbeit ebenfalls nahe. Einige Punkte wurden mit CSRS überprüft, diese Dienste erreichen jedoch nicht ihre Genauigkeit bei Messungen von 30 min Länge. Es kann vermutet werden, dass die Ergebnisse von TBC etwas besser sind (keine float Lösung, alle mit CSRS überprüften Punkte zeigen ein ähnliches Ergebnis wie TBC und ionosfreie Ergebnisse in Leica fast wie TBC). Es gibt keine Gewissheit, dass die Ergebnisse in TBC tatsächlich richtig sind. Eine Liste der Koordinaten aus LGO und TBC mit deren Differenzen ist in Anlage 7 zu finden.

Tabelle 16: Vergleich TBC und LGO 8.4

TBC				LGO			Differenzen		
	E [m]	N [m]	h [m]	E [m]	N [m]	h [m]	E [m]	N [m]	h [m]
nord 1	208080,106	3187555,188	808,836	208080,105	3187555,148	808,835	0,001	0,040	0,001
nord 2	208115,709	3187705,340	807,944	208115,704	3187705,304	807,963	0,005	0,036	-0,019
FIX6	208100,323	3187536,942	809,961	208100,315	3187536,917	809,974	0,008	0,025	-0,013
FIX7	208131,268	3187573,955	808,744	208131,263	3187573,925	808,749	0,005	0,030	-0,005
GPS01	208338,445	3187571,588	820,122	208338,429	3187571,556	820,151	0,016	0,032	-0,029
GPS02	207924,909	3187480,360	864,438	207924,889	3187480,297	864,477	0,020	0,063	-0,039
GPS08	209820,409	3188742,176	809,188	209820,392	3188742,148	809,236	0,017	0,028	-0,048
GPS09	209001,862	3189587,922	813,918	209001,842	3189587,889	813,954	0,020	0,033	-0,036
GPS10	208439,003	3189161,129	807,063	208438,985	3189161,084	807,066	0,018	0,045	-0,003
GPS11	209073,159	3187209,762	826,629	209073,160	3187209,752	826,650	-0,001	0,010	-0,021
GPS12	209081,285	3187447,758	814,853	209081,292	3187447,730	814,823	-0,007	0,028	0,030
GPS13	208345,831	3187949,782	803,285	208345,846	3187949,713	803,263	-0,015	0,069	0,022
GPS014	208056,913	3188539,537	807,398	208056,909	3188539,514	807,414	0,004	0,023	-0,016
GPS15	209618,762	3188127,586	800,260	209618,753	3188127,530	800,283	0,009	0,056	-0,023
GPS20	209416,337	3187717,083	801,492	209416,328	3187717,065	801,508	0,009	0,018	-0,016
GPS21	208931,617	3188093,775	798,869	208931,602	3188093,748	798,878	0,015	0,027	-0,009
GPS22	208572,840	3188703,613	797,636	208572,841	3188703,589	797,652	-0,001	0,024	-0,016
GPS24	209487,888	3188449,937	796,841	209487,884	3188449,921	796,856	0,004	0,016	-0,015
GCP01	211894,270	3189545,221	771,247	211894,276	3189545,197	771,282	-0,006	0,024	-0,035
GCP02B	211135,115	3189097,144	777,484	211135,119	3189097,113	777,500	-0,004	0,031	-0,016
GCP02C	211339,076	3189016,239	774,671	211339,069	3189016,229	774,702	0,007	0,010	-0,031
GCP02E	211130,068	3189095,681	777,665	211130,065	3189095,659	777,676	0,003	0,022	-0,011
GCP111	208159,724	3187607,536	813,010	208159,706	3187607,499	813,033	0,018	0,037	-0,023
Q15-3	209651,405	3188840,125	793,125	209651,383	3188840,040	793,150	0,022	0,085	-0,025
Rover 20151123	208946,582	3188692,526	796,635	208946,574	3188692,509	796,637	0,008	0,017	-0,002
						Mittel:	0,010	0,034	0,021
						Max:	0,022	0,085	0,048

## 5 Abschließende Berechnungen

### 5.1 Transformation

Die Archäologen vor Ort haben einige Punkte tachymetrisch mit lokalen Koordinaten bestimmt, welche in das UTM Koordinatensystem transformiert werden sollen. Dafür hat Teichert vier Passpunkte mit GPS bestimmt. Diese werden identische Punkte genannt, da sie sowohl Koordinaten im UTM System und im lokalen System haben. Es gibt zwei verschiedene Transformationen, da nicht alle Punkte mit der Höhe aufgenommen wurden. Die räumliche Transformation erfolgte durch sieben Parameter. Diese sind:

- drei Mal Rotation:  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  und  $\varepsilon_3$
- drei Mal Translation:  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  und  $\Delta Z$  und
- Maßstabsfaktor  $m$

Für die 2D Transformation ohne Höhe wurde eine Helmert – Transformation mit vier Parameter verwendet, diese sind:

- $a = m * \cos \varepsilon$
- $o = m * \sin \varepsilon$
- zwei Mal Translation  $X_0$  und  $Y_0$

Die Transformation wurde mit dem Onlinerechner In Dubio pro Geo ([www.in-dubio-pro-geo.de](http://www.in-dubio-pro-geo.de)) und mit der Software Jag3D durchgeführt und verglichen.

#### 5.1.1 Ebene Transformation

Da weder die Punkte im Ziel – noch die Punkte im Startsystem überprüft sind, werden beide Koordinaten als gleich ungenau betrachtet. Dadurch entsteht eine Überprüfung und Ausgleichung der identischen Punkte FIX6, FIX7, Basis und GPS01. Um eine Ausgleichung durchzuführen, werden zuerst die

Transformationsformeln aufgestellt (GRUBER; JOECKEL (2012),101). Die Formel der Transformation ist:

$$\begin{aligned} X &= X_0 + m(\cos \varepsilon) * x - m(\sin \varepsilon) * y \\ Y &= Y_0 + m(\sin \varepsilon) * x + m(\cos \varepsilon) * y \end{aligned} \quad (5.1.1.1)$$

X und Y sind die Koordinaten im Zielsystem (UTM), x und y sind die Koordinaten im lokalen Quellsystem. Die Verdrehung des Koordinatensystems  $\varepsilon$  und der Maßstab m können zu den Parametern a und o zusammen gefasst werden. Dadurch entsteht die Formel (5.1.1.2).

$$\begin{aligned} X &= X_0 + a * x - o * y \\ Y &= Y_0 + o * x + a * y \end{aligned} \quad (5.1.1.2)$$

Um diese Parameter berechnen zu können, müssen die Schwerpunktkoordinaten für Quell-  $(x_s, y_s)$  und Zielsystem  $(X_s, Y_s)$  gerechnet werden

$$\begin{aligned} x_s &= \frac{\sum x_i}{n} & y_s &= \frac{\sum y_i}{n} \\ \text{und } X_s &= \frac{\sum X_i}{n} & Y_s &= \frac{\sum Y_i}{n} \end{aligned} \quad (5.1.1.3)$$

mit n = Anzahl der identischen Punkte. Der nächster Schritt ist die Reduktion der Koordinaten auf den Schwerpunkt  $(\bar{x}, \bar{y}; \bar{X}, \bar{Y})$ .

$$\begin{aligned} \bar{x}_i &= x_i - x_s & \bar{y}_i &= y_i - y_s \\ \bar{X}_i &= X_i - X_s & \bar{Y}_i &= Y_i - Y_s \end{aligned} \quad (5.1.1.4)$$

Somit können a und o mit (5.1.1.5) berechnet werden:

$$\begin{aligned} a &= \frac{\sum (\bar{x}_i * \bar{X}_i + \bar{y}_i * \bar{Y}_i)}{\sum (\bar{x}_i^2 + \bar{y}_i^2)} \\ o &= \frac{\sum (\bar{x}_i * \bar{Y}_i - \bar{y}_i * \bar{X}_i)}{\sum (\bar{x}_i^2 + \bar{y}_i^2)} \end{aligned} \quad (5.1.1.5)$$

Die Parameter der Translation  $X_0$  und  $Y_0$  werden mit

$$\begin{aligned} X_0 &= X_s - a * x_s + o * y_s \quad \text{und} \\ Y_0 &= Y_s - a * y_s - o * x_s \end{aligned} \quad (5.1.1.6)$$

gerechnet. Um die Verdrehung  $\varepsilon$  und den Maßstab m berechnen zu können wird (5.1.1.7) verwendet.



$$m = \sqrt{a^2 + o^2}$$

$$\varepsilon = \arctan\left(\frac{o}{a}\right) \quad (5.1.1.7)$$

Um die Transformation zu überprüfen kann die folgende Formel für X und Y angewandt werden.

$$\begin{aligned} \sum(X) &= k * X_0 + a * \sum(x) - o * \sum(y) \\ \sum(Y) &= k * Y_0 + a * \sum(y) + o * \sum(x) \end{aligned} \quad (5.1.1.8)$$

k ergibt die Anzahl der transformierten Punkte. Um die Genauigkeit der Transformation zu bestimmen, werden erst die Abweichungen  $W_{Xi}$  und  $W_{Yi}$  mit

$$\begin{aligned} W_{Xi} &= -X_0 - a * x_i + o * y_i + X_i \\ W_{Yi} &= -Y_0 - a * y_i - o * x_i + Y_i \end{aligned} \quad (5.1.1.9)$$

und anschließend die Standardabweichung  $s_x$  und  $s_y$  berechnet.

$$s_x = s_y = \sqrt{\frac{\sum(W_{Xi}^2) + \sum(W_{Yi}^2)}{2n - 4}} \quad (5.1.1.10)$$

Nachfolgend können n Punkte transformiert werden. Für eine Helmert – Transformation werden mindestens zwei identische Punkte benötigt. In Qurayyah existiert eine Überbestimmung aufgrund vier identischer Punkte, die die Durchführung einer Ausgleichung ermöglichen. Zuerst erfolgt die Aufstellung der einzelnen Matrizen und Vektoren, angefangen mit dem der Näherung der Parameter  $X^\circ$  (NIEMEIER (2008),353), (LEHMANN (Februar 2013)):

$$X^\circ = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ a \\ o \\ \tilde{x}_1 \\ \tilde{y}_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \tilde{x}_4 \\ \tilde{y}_4 \end{pmatrix} \quad (5.1.1.11)$$

$\tilde{x}$  und  $\tilde{y}$  sind die verbesserten Koordinaten aus dem Quellsystem (lokales Koordinatensystem).



Um letztendlich die Ausgangsformel (5.1.1.15) zu erhalten:

$$l + v = A \hat{x} \quad (5.1.1.15)$$

mit

$$\hat{x} = (A^T A)^{-1} A^T l \quad (5.1.1.16)$$

für die Verbesserung der Parameter. Klein l steht für die gekürzten Beobachtungen, l wird mit  $L^\circ$  (Näherungswerte der Beobachtungen und L (5.1.1.13) berechnet).  $L^\circ$  entsteht durch die Berechnung der Beobachtungen mit den Näherungswerten der Parameter. Die Transformation wird für die Punkte im Zielsystem mit den Näherungswerten durchgeführt. Die Punkte im Quellsystem bleiben die Näherungswerte.

$$L^\circ = \begin{pmatrix} X_1 = X_0 + a * x_1 - o * y_1 \\ Y_1 = Y_0 + o * x_1 + a * y_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ x_1 \\ y_1 \\ \vdots \\ \vdots \end{pmatrix} \quad (5.1.1.17)$$

$$l = L - L^\circ \quad (5.1.1.18)$$

Danach folgt die Berechnung der ausgeglichenen Parametern  $\hat{X}$  mit der Verbesserung  $\hat{x}$ .

$$\hat{X} = X^\circ + \hat{x} \quad (5.1.1.19)$$

Durch Umstellen von (5.1.1.15) können die Verbesserungen der Beobachtungen berechnet und in  $\hat{L}$  als ausgeglichene Beobachtungen ausgedrückt werden.

$$\hat{L} = L + v \quad (5.1.1.20)$$

Zum Ausschluss grober Fehler erfolgt abschließend eine Schlussprobe, es werden die Beobachtungen mit den ausgeglichenen Parametern berechnet. Dabei wird die Transformation für X und Y gerechnet, für x und y werden die Parameter aus der Rechnung (5.1.1.19) genommen. Die Differenz zu  $\hat{L}$  sollte kleiner als v sein. Auf den Weg der Qualitätsprüfung der Ausgleichung wird an dieser Stelle im einzelnen

Verzichtet, eine Beschreibung ist im nächsten Kapitel 5.1.2 Räumliche Transformation zu finden.

Somit sind die identischen Punkte ausgeglichen und die Parameter sind Fehlerfrei. Nachfolgend können die restlichen Punkte mit der Formel (5.1.1.2) berechnet werden. Tabelle 17 zeigt die ausgeglichenen Parameter:

*Tabelle 17: Parameter der Transformation*

$X_0$	3177547,0278
$Y_0$	198078,0615
$a$	1,00051022
$o$	-0,00030564
$x_1$	9981,7504
$y_1$	10020,1934
$x_2$	10018,7512
$y_2$	10051,1402
$x_3$	10111,6823
$y_3$	10025,9628
$x_4$	10016,3172
$y_4$	10258,2105

*Tabelle 18: Ergebnis der Helmert Transformation*

	In Dubio Pro Geo		CoordTrans			
	E [m]	N [m]	E [m]	N [m]	delta y	delta x
A_NE	208079,0975	3187585,2015	208079,0975	3187585,2014	0,0000	0,0000
A_NW	208067,0914	3187585,1978	208067,0914	3187585,1978	0,0000	0,0000
A_SE	208079,1012	3187573,1953	208079,1012	3187573,1953	0,0000	0,0000
A_SW	208067,0951	3187573,1917	208067,0951	3187573,1917	0,0000	0,0000
B_MidW1	208081,1126	3187539,1786	208081,1126	3187539,1786	0,0000	0,0000
B_MidW2	208082,1131	3187539,1789	208082,1131	3187539,1789	0,0000	0,0000
B_NE	208092,1167	3187544,1845	208092,1167	3187544,1845	0,0000	0,0000
B_NW	208081,1111	3187544,1811	208081,1111	3187544,1811	0,0000	0,0000
B_SE	208092,1213	3187529,1769	208092,1213	3187529,1768	0,0000	0,0000
B_SW	208082,1162	3187529,1738	208082,1162	3187529,1738	0,0000	0,0000
Basis	208106,0492	3187666,9337	208106,0563	3187666,9314	-0,0072	0,0023
C_NE	208052,0991	3187535,1677	208052,0990	3187535,1677	0,0000	0,0000
C_NW	208042,0940	3187535,1646	208042,0939	3187535,1646	0,0000	0,0000
C_SE	208052,1021	3187525,1626	208052,1021	3187525,1626	0,0000	0,0000
C_SW	208042,0970	3187525,1595	208042,0970	3187525,1595	0,0000	0,0000
D_NE	208192,1301	3187667,2778	208192,1301	3187667,2778	0,0000	0,0000
D_NW	208187,1276	3187667,2763	208187,1276	3187667,2763	0,0000	0,0000
D_SE	208192,1332	3187657,2727	208192,1332	3187657,2727	0,0000	0,0000
D_SW	208187,1306	3187657,2712	208187,1306	3187657,2712	0,0000	0,0000
FIX6	208100,3166	3187536,9337	208100,3101	3187536,9253	0,0064	0,0084
FIX7	208131,2678	3187573,9628	208131,2676	3187573,9706	0,0002	-0,0078
GPS01	208338,4445	3187571,5908	208338,4440	3187571,5937	0,0005	-0,0029

Tabelle 18 zeigt das Ergebnis der ebenen Transformation mit CoordTrans (Jag3D) und mit In Dubio Pro Geo. In Anlage 8 sind die Protokolle aus den jeweiligen Software.

Die Ergebnisse zeigen nur in den identischen Punkten Abweichungen, Jag3D schließt ein Gleichstellung der Genauigkeit beider System aus. Eines muss ein als fix deklariert werden. Als Überprüfung werden einzelne Strecken mit den lokalen und den UTM Koordinaten gerechnet und mit Maßstab  $m=1,000510263$  multipliziert (s. Tabelle 19).

*Tabelle 19: Streckenvergleich*

	UTM [m]	lokal [m]	Differenz [m]
A_NE- B_NW	41,0689	41,0697	-0,0008
B_SW- C_SW	40,2202	40,2200	0,0002
C_NW- D_NW	196,1830	196,1842	-0,0012
D_SE- A_NE	134,0569	134,0572	-0,0003

## 5.1.2 Räumliche Transformation

Es existieren ferner die ebenfalls zu transformierenden Punkte FIX0 bis FIX10. Aufgrund deren Aufnahme mit Höhe erfolgt eine räumliche Transformation mit sieben Parametern, deren Formel lautet (GRUBER; JOECKEL (2012),109):

$$X_Z = \Delta + m * R * X_A \quad (5.1.2.1)$$

mit

$$X_Z = \begin{pmatrix} X_Z \\ Y_Z \\ Z_Z \end{pmatrix} \quad (5.1.2.2)$$

für die Zielkoordinaten und

$$X_A = \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix} \quad (5.1.2.3)$$

für die Koordinaten im Quellsystem.  $R$  bezeichnet die Rotationsmatrix, die für kleine Drehwinkel zu

$$R = \begin{pmatrix} 1 & \varepsilon_3 & -\varepsilon_2 \\ -\varepsilon_3 & 1 & \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 & -\varepsilon_1 & 1 \end{pmatrix} \quad (5.1.2.4)$$

zusammengefasst werden kann. Der Vektor  $\Delta$  sind die drei Translationen

$$\Delta = \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}. \quad (5.1.2.5)$$

Das Ziel besteht in dieser Transformation lokale 3D Koordinaten in das übergeordnete UTM – System zu transformieren. Durch den Ausgleich der identischen Punkte in der 2D Transformation, wird das UTM System als fix angesehen. Zuerst müssen die Parameter von einer Transformation aus dem UTM (Quellsystem) ins lokale System (Zielsystem) berechnet werden, anschließend erfolgt eine Rücktransformation. Bei der 2D Transformation wurde nur die Lage ausgeglichen und nicht die Höhe. Ein Vergleich in In Dubio pro Geo zweier räumlicher Transformationen (einmal das UTM – System fix und einmal beide als gleich ungenau betrachtet) ergab in der Höhe Unterschiede von weniger als einem Millimeter, daher werden die Punkte als ausgeglichen angesehen.

Die Schätzung der Parameter ist in diesem Fall etwas komplexer als bei einer 2D Transformation. Der große Koordinatenunterschied zwischen den lokalen und UTM – Koordinaten würde zu einem sehr großen Translationsvektor führen; dies würde das Rechenverfahren sehr kompliziert machen. Eine Variante wäre es den Nullpunkt des UTM – Koordinatensystem zu verschieben um die Translation zu verringern. Bei dieser Transformation wäre die Verschiebung in Ost -200000m und in Nord -3177500m. Die Höhe kann aufgrund ähnlich Beträge bleiben. Durch diese Verschiebung ist die Translation gering und kann mit 0 geschätzt werden. Der Vektor der Näherung der Parameter  $X^\circ$  ist:

$$X^\circ = \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \\ \Delta m \\ \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \end{pmatrix} \quad (5.1.2.6)$$

Dabei ist  $\Delta m$  :

$$\Delta m = m - 1 \quad (5.1.2.7)$$

Die Formel (5.1.2.1) kann umformuliert wie (5.1.2.8) ausgedrückt werden.

$$\begin{aligned} X_Z &= X_A + \Delta X + \Delta m * X_A + \varepsilon_3 * Y_A - \varepsilon_2 * Z_A \\ Y_Z &= Y_A + \Delta Y - \varepsilon_3 * X_A + \Delta m * Y_A + \varepsilon_1 * Z_A \\ Z_Z &= Z_A + \Delta Z + \varepsilon_2 * X_A - \varepsilon_1 * Y_A + \Delta m * Z_A \end{aligned} \quad (5.1.2.8)$$

Die A Matrix erschließt sich durch die Ableitung der Formel (5.1.2.8) mit den Parametern (5.1.2.6).

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & X_{A1} & 0 & -Z_{A1} & Y_{A1} \\ 0 & 1 & 0 & Y_{A1} & Z_{A1} & 0 & -X_{A1} \\ 0 & 0 & 1 & Z_{A1} & -Y_{A1} & X_{A1} & 0 \\ 1 & 0 & 0 & X_{A2} & 0 & -Z_{A2} & Y_{A2} \\ 0 & 1 & 0 & Y_{A2} & Z_{A2} & 0 & -X_{A2} \\ 0 & 0 & 1 & Z_{A2} & -Y_{A2} & X_{A2} & 0 \\ 1 & 0 & 0 & X_{A3} & 0 & -Z_{A3} & Y_{A3} \\ 0 & 1 & 0 & Y_{A3} & Z_{A3} & 0 & -X_{A3} \\ 0 & 0 & 1 & Z_{A3} & -Y_{A3} & X_{A3} & 0 \\ 1 & 0 & 0 & X_{A4} & 0 & -Z_{A4} & Y_{A4} \\ 0 & 1 & 0 & Y_{A4} & Z_{A4} & 0 & -X_{A4} \\ 0 & 0 & 1 & Z_{A4} & -Y_{A4} & X_{A4} & 0 \end{pmatrix} \quad (5.1.2.9)$$

Somit können die Näherungswerte der Beobachtungen berechnet werden (LEHMANN (Februar 2013)).

$$L^\circ = X_A + A X^\circ \quad (5.1.2.10)$$

L ist wie bei der Ebenen Transformation, der Vektor mit den Koordinaten des Zielsystem; also  $X_Z$ . Mit (5.1.2.11) können die gekürzten Beobachtungen gerechnet werden.

$$l = L - L^\circ \quad (5.1.2.11)$$

Um mit (5.1.2.12) letztendlich die Verbesserung der Parameter zubekommen.

$$\hat{x} = (A^T A)^{-1} A^T l \quad (5.1.2.12)$$

Somit können die Ausgeglichenen Parameter  $\hat{X}$  berechnet werden.

$$\hat{X} = X^\circ + \hat{x} \quad (5.1.2.13)$$

Mit

$$v = A \hat{x} - l \quad (5.1.2.14)$$

können die Verbesserungen der Beobachtungen berechnet werden und auf  $L$  addiert werden. Dadurch ergibt sich  $\hat{L}$ , die ausgeglichenen Beobachtungen, bzw. Koordinaten. Eine Schlussprobe kann durchgeführt werden mit dem Vergleich der Ergebnisse von (5.1.2.1) und dem Vektor  $\hat{L}$ . Um eine Aussage über die Qualität der Ausgleichung zutreffen wird die Kofaktorenmatrix  $Q_{XX}$  benötigt.

$$Q_{XX} = (A^T A)^{-1} \quad (5.1.2.15)$$

Die Standardabweichung der ausgeglichenen Parametern  $\hat{\sigma}_{\hat{x}}$  wird mit

$$\hat{\sigma}_{\hat{x}} = \hat{\sigma}_0 \sqrt{q_{XX}} \quad (5.1.2.16)$$

berechnet. Dabei ist

$$\hat{\sigma}_0 = \sqrt{\frac{v^T v}{n-u}} \quad (5.1.2.17)$$

und  $q_{XX}$  die Diagonale von  $Q_{XX}$ .

Somit sind die Parameter der Transformation berechnet; nun werden durch eine Rücktransformation die Parameter der Rücktransformation berechnet. Dabei wird (5.1.2.1) zu (5.1.2.18) umgeformt.

$$X_A = -m^{-1} R^{-1} \Delta + m^{-1} R^{-1} X_Z \quad (5.1.2.18)$$

Dabei bildet der erste Teil der Rechnung

$$-m^{-1} R^{-1} \Delta \quad (5.1.2.19)$$

den neuen Translationsvektor  $\Delta$ . Der neue Maßstab ist  $m^{-1}$  und die neue Rotationsmatrix ist die Inverse von (5.1.2.4). Somit ergeben sich die Parameter der Rücktransformation (s. Tabelle 20).

*Tabelle 20: Parameter der Rücktransformation*

$\Delta X$	47,327 m
$\Delta Y$	-1921,818 m
$\Delta Z$	-12,043 m
m	1,00050198
$\varepsilon_1$	-0,00009333 rad
$\varepsilon_2$	0,00021534 rad
$\varepsilon_3$	0,00030144 rad

Mit diesen Parameter können alle lokale Koordinaten in das UTM – Koordinatensystem transformiert werden. Zum Schluss wird der Nullpunkt des Systems auf den ursprünglichen Nullpunkt verschoben, dafür werden die Werte



200000m und 3177500m auf die Koordinaten addiert. Diese Transformation wurde ebenfalls mit CoordTrans (Jag3D) und In Dubio Pro Geo gerechnet (s. Tabelle 21 und 22; Anlage 8).

*Tabelle 21: Ergebnisse der Transformation in In Dubio Pro Geo*

In Dubio Pro Geo			
	E [m]	N [m]	orth. h [m]
Basis	208106,0492	3187666,9337	788,4240
FIX0	208080,1081	3187555,1900	791,4496
FIX1	208080,1391	3187748,7869	787,7534
FIX2	208080,0703	3187654,7976	788,6046
FIX3	208041,6736	3187649,4742	789,0741
FIX4	207978,5366	3187604,3234	798,9365
FIX5	208026,3684	3187550,0446	794,4740
FIX6	208100,3165	3187536,9434	792,5750
FIX7	208131,2678	3187573,9628	791,3590
FIX8	208207,0704	3187601,5688	795,0382
FIX9	208147,2561	3187598,0303	788,8948
FIX10	208115,7187	3187705,3422	790,5868
GPS01	208338,4445	3187571,5908	802,7430

*Tabelle 22: Ergebnisse in CoordTrans und Differenz zu In Dubio Pro Geo*

	CoordTrans			Differenzen		
	E [m]	N [m]	orth. h [m]	E [m]	N [m]	orth. h [m]
Basis	208106,0492	3187666,9337	788,4240	0,0000	0,0000	0,0000
FIX0	208080,1081	3187555,1900	791,4496	0,0000	0,0000	0,0000
FIX1	208080,1391	3187748,7869	787,7534	0,0000	0,0000	0,0000
FIX2	208080,0703	3187654,7976	788,6046	0,0000	0,0000	0,0000
FIX3	208041,6736	3187649,4742	789,0741	0,0000	0,0000	0,0000
FIX4	207978,5366	3187604,3234	798,9365	0,0000	0,0000	0,0000
FIX5	208026,3684	3187550,0446	794,4740	0,0000	0,0000	0,0000
FIX6	208100,3166	3187536,9434	792,5750	-0,0001	0,0000	0,0000
FIX7	208131,2678	3187573,9628	791,3590	0,0000	0,0000	0,0000
FIX8	208207,0704	3187601,5688	795,0382	0,0000	0,0000	0,0000
FIX9	208147,2561	3187598,0303	788,8948	0,0000	0,0000	0,0000
FIX10	208115,7187	3187705,3422	790,5868	0,0000	0,0000	0,0000
GPS01	208338,4445	3187571,5908	802,7430	0,0000	0,0000	0,0000

Die identischen Punkte innerhalb der Transformation sind nun ausgeglichen und können als überprüft angesehen werden. Sie werden in Koordinatenliste (s. Anlage 9) übernommen.

## 5.2 Geoidundulation

Es existieren verschiedene Definitionen der Höhenangaben. Eine in Europa häufig genutzte ist die der orthometrischen Höhe, welche durch langjährige Pegelbeobachtungen realisiert wird. „Die orthometrische Höhe ist die Länge der Lotlinie vom Geländepunkt bis zum Geoid.“(BAUER (2011),31) Eine zweite häufig angewandte ist die der ellipsoidische Höhe, die sich auf das Ellipsoid bezieht. Die orthometrischen Höhen berufen sich auf das Erdschwerefeld (Geoid) und sollten für Vermessungsgebiete mit regionaler und globaler Ausdehnung genutzt werden (HECK (2003),12). Die Angaben der Höhen in der Satellitenvermessung erfolgt relativ zum Ellipsoid des jeweiligen Datums. Der Unterschied zwischen ellipsoidischen und orthometrischen Höhen wird Geoidundulation genannt (s. Abbildung 13<sup>13</sup>).

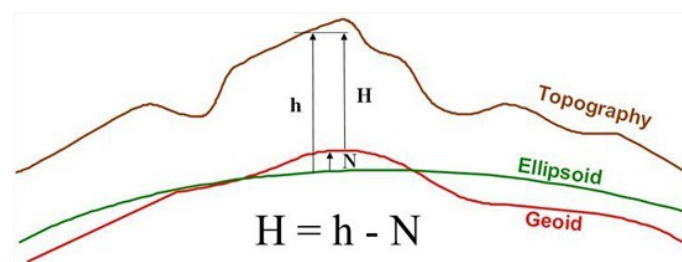


Abbildung 13: Geoidundulation (N)

Deren Größe variiert weltweit und erreicht Werte bis zu 100 m (MANSFELD (2004),34). In Qurayyah beträgt die Geoidundulation im Durchschnitt 17,37 m. Bei der Satellitenortung wird zuerst die ellipsoidische Höhe ermittelt. Durch die errechnete Position wird die Höhe auf das Gravitationsmodell umgewandelt und die Bestimmung der orthometrischen Höhe kann erfolgen. Das WGS 84 bezieht sich auf das Gravitationsmodell EGM 2008, welches 2008 von der US Behörde National Geospatial Intelligence Agency (NGA) als Nachfolgemodell des EGMS 96 entwickelt wurde. Durch Radar und LiDAR Daten erfolgt die Erstellung eines Gravitationsmodells in einem 5x5 Minuten (ca. 9,3km) Raster. Die Genauigkeit der Höhenangaben können demnach nur so genau wie das Geoid sein; die Abweichungen des EGM 2008 betragen 5-10cm (PAVLIS, et al. (2012)). Durch dieses Modell mit seiner vergleichsweise zum EGM 96 verbesserten Auflösung

13 [http://www.aerosat.co.in/Sections/Astronomy/AstronomyNews/pic/Geoid\\_Topo\\_NN\\_en.jpg](http://www.aerosat.co.in/Sections/Astronomy/AstronomyNews/pic/Geoid_Topo_NN_en.jpg)

(15x15 Minuten) und Genauigkeit wurde ein großer technologischer Fortschritt erzielt. Beim ersten Modell EGM 84 betrug die Auflösung 30x30 Minuten. Auf der Homepage der [geographiclib.sourceforge.net](http://geographiclib.sourceforge.net) ist ein Vergleich der unterschiedlichen Undulationen der Modelle zu finden. Abbildung 14<sup>14</sup> zeigt die Geoidundulation des Punktes Qref.

**Online geoid calculations using the [GeoidEval](#) utility**

Position (ex. «16.78 -3.01», «16d46'33"N 3d0.6'W»):

28d53'56.5"N 36d05'04.64"E

Select action:

Geoid height:

```
lat lon = 28.89903 36.08462 (28°53'57"N 036°05'05"E)
geoid heights (m)
  EGM2008 = 17.2891
  EGM96   = 19.4688
  EGM84   = 17.8059
```

*Abbildung 14: Geoidundulation Punkt QRef*

Dieses Ergebnis deckt sich mit dem Ergebnis der errechneten Höhen in TBC (s. Tabelle 23).

*Tabelle 23: Geoidundulationen*

Punktname:	Ellips. Höhe [m]	Orthometr. Höhe [m]	Geoidundulation [m]	Abweichung zum Mittel
QREF	754,857	737,569	17,288	0,082
BASIS	805,811	788,424	17,387	-0,017
FIX6	809,961	792,575	17,386	-0,016
FIX7	808,744	791,359	17,385	-0,015
GCP01	771,247	753,960	17,287	0,083
GCP02B	777,484	760,180	17,304	0,066
GCP02C	774,671	757,372	17,299	0,071
GCP02E	777,665	760,361	17,304	0,066
GCP9	823,003	805,581	17,422	-0,052
GCP9a	823,942	806,521	17,421	-0,051
GCP10	833,847	816,478	17,369	0,001
GCP12	840,653	823,286	17,367	0,003
GCP14	838,867	821,497	17,370	0,000
GCP21	794,663	777,300	17,363	0,007
GCP22	809,584	792,217	17,367	0,003
GCP111	813,010	795,626	17,384	-0,014
GCP-Tempel1	834,859	817,447	17,412	-0,042
GPS01	820,122	802,743	17,379	-0,009
GPS02	864,438	847,046	17,392	-0,022
GPS03	864,666	847,274	17,392	-0,022
GPS04	868,081	850,684	17,397	-0,027

14 <http://geographiclib.sourceforge.net/cgi-bin/GeoidEval?input=&option=Reset>

GPS05	871,255	853,853	17,402	-0,032
GPS06	869,228	851,824	17,404	-0,034
GPS08	809,188	791,852	17,336	0,034
GPS09	813,918	796,563	17,355	0,015
GPS10	807,063	789,691	17,372	-0,002
GPS11	826,629	809,270	17,359	0,011
GPS12	814,853	797,495	17,358	0,012
GPS13	803,285	785,908	17,377	-0,007
GPS014	807,398	790,014	17,384	-0,014
GPS15	800,260	782,918	17,342	0,028
GPS16	808,247	790,856	17,391	-0,021
GPS17	793,868	776,509	17,359	0,011
GPS18	790,828	773,485	17,343	0,027
GPS20	801,492	784,144	17,348	0,022
GPS21	798,869	781,509	17,360	0,010
GPS22	797,636	780,267	17,369	0,001
GPS23	798,911	781,505	17,406	-0,036
GPS24	796,841	779,496	17,345	0,025
nord 1	808,836	791,450	17,386	-0,016
nord 2	807,944	790,559	17,385	-0,015
Q15-3	793,125	775,705	17,420	-0,050
GPS07	796,635	779,277	17,358	0,012
Tempel2	835,073	817,663	17,410	-0,040
BASIS2	805,799	788,424	17,375	-0,005
BASIS3	805,808	788,424	17,384	-0,014
		<b>Mittel</b>	<b>17,370</b>	

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Kapitel 1-5 dieser Arbeit haben sich mit der Theorie und Praxis einer GPS Messung und Auswertung befasst. Es wurde die Referenzstation QRef mit Basislinienberechnungen in TBC berechnet und anschließend mit zwei PPP – Diensten überprüft. Diese Überprüfung brachte ein zufrieden stellendes Ergebnis. Bei der anschließenden Berechnung der 45 Punkte kam es zu einigen Differenzen und Unklarheiten. Durch eine doppelte Messung von vier Punkten (identische Punkte der Transformation) wurde ein Teil der Messung überprüft. Hierbei haben sich Abweichungen bis knapp 4cm herausgestellt. Diese Abweichung sind in der Größenordnung des mittleren Fehler aller Punkte im Vergleich LGO und TBC.

Ausgenommen sind die Punkte GPS03 und GCP 22, da diese durch eine float Lösung in LGO erhebliche Differenzen zu TBC haben. Dieses Problem könnte nicht gelöst werden, jedoch ergab sich durch eine Überprüfung mit CSRS eine Annäherung an TBC.

Des weiteren kam es bei anderen Punkten ebenso zu Abweichungen um die 4-5dm, diese Problem wurde durch eine erneute Berechnung mit präzisen Ephemeriden in LGO beseitigt. Es bleibt eine mittlere Abweichung im Rechtswert von 8mm, Hochwert 2,9cm und in der Höhe 2,6cm.

Ein Nachteil der GPS Auswertung ist der kaum vorhandene Einblick der Basislinienberechnung in der Software. Diese Abweichungen sind vermutlich auf verschiedene Rechenmodelle und Lösungsansätze (Stichwort: Ionosphäre) zurück zuführen.

Dieses Festpunktefeld wurde für eine in der Zukunft einheitliche Vermessung in der Örtlichkeit geschaffen. Dabei müssen zukünftige Bearbeiter je nach Projekt Abwegen, ob diese Festpunkte ohne weiteres verwendet werden können, eine Überprüfung ist dringend empfohlen. Eine Möglichkeit der Überprüfung wäre, die Punkte erneut mit Tachymeter aufzunehmen. Dabei reicht eine Winkel und Streckenmessung durch die ein Netzausgleich passieren könnte ( wie es bei den vier „identischen Punkte“ der Transformation passiert ist). Durch eine weitere GPS Messung könnte, wegen Überbestimmung, ebenfalls eine Überprüfung stattfinden.

Im jeden Fall ist es wichtig, dass Messungen überprüft werden, vor allem bei Umständen wie in Qurayah, wenn kein Anschluss zu bestehenden Festpunkten vorhanden sind.

Abschließend fand eine Transformation lokaler Koordinaten in das übergeordnete UTM – Koordinatensystem statt. Diese Rechnungen wurden im einzelnen beschrieben und mit In Dubio pro Geo und CoordTrans durchgeführt.

Im Sinne der Aufgabenstellung hat diese Arbeit ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt. Im Bezug auf die Messung selber konnten nicht alle Unklarheiten beseitigt werden. Ebenfalls ist eine Aussage über die Qualität der Software LGO und TBC nicht möglich.

## Literaturverzeichnis

BAUER, Manfred,<sup>(6)</sup> 2011): Vermessung und Ortung mit Satelliten, Globale Navigationssatellitensysteme (GNSS) und andere satellitengestützte Navigationssysteme, Berlin.

Bunn, Alexander (2011): Untersuchung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit kostenloser PPP-Dienste als Funktion von Beobachtungszeiten und Abschattungsgraden (Multipatheffekte).

GRUBER, Franz Josef; JOECKEL, Rainer,<sup>(16)</sup> 2012): Formelsammlung für das Vermessungswesen, Wiesbaden.

GUCEVIC, Jelena; OGRIZOVIC, Vukan (2015): Comparison of Different Software for GPS Network Adjustment. From the Wisdom of the Ages to the Challenges of the Modern World.

HECK, Bernhard,<sup>(3)</sup> 2003): Rechenverfahren und Auswertemodelle der Landesvermessung, Klassische und moderne Methoden, Heidelberg.

HESSELBARTH, Anja; WANNINGER, Lambert (2013): GNSS - Berechnungsdienste. GNSS 2013 - Schneller. Genauer. Effizienter. 93–112.

INGRAHAM, Micheal; JOHNSON, Theodore; RIHANI, Baseem; SHATLA, Ibrahim (1981): Saudi Arabian Comprehensive Survey Program, Preliminary Report on a Reconnaissance Survey of the Northwestern Province (with a note on a brief survey of the Northern Province). ATLAS: The Journal of Saudi Arabian Archaeology. 5. 59–84.

Khaled Mohamed Abdel Mageed (2014): Effect of using Klobuchar, CODE, and Nlonosphere Models on Processing Single Frequency GPS Static Medium Baselines. International Journal of Scientific and Engineering Research. 5. 363–371.  
LEHMANN, Rüdiger, (Februar 2013): Vermittelnde Ausgleichung, Formeln und Übersichten, Dresden.

Leica (ohne Angabe): A: Leica GPS1200+ Serie, Leistungsstarkes GNSS – System.  
B: LEICA GEO OFFICE ONLINE HELP.

LUCIANI, Marta; ALSAUD, Abdullah (2015): Qurayyah 2015, 1st Report on the Joint Saudi Arabian - Austrian Archaeological Project. ATLAS: The Journal of Saudi Arabian Archaeology. 27.

MANSFELD, Werner,<sup>(2)</sup> 2004): Satellitenortung und Navigation, Grundlagen und Anwendung globaler Satellitennavigationssysteme, Wiesbaden.

MISRA, Pratap; ENGE, Per,<sup>(2)</sup> 2006): Global positioning system, Signals, measurements, and performance, Lincoln, Mass.

MÖSER, Michael,(<sup>4</sup> 2012): Grundlagen (Hrsg.),Berlin.

NIEMEIER, Wolfgang,(2008): Ausgleichungsrechnung,Statistische Auswertemethoden,Tubingen.

PARR, Peter; HARDING, Lankester; DAYTON, John (1968): Preliminary survey in N.W. Arabia, 1968. Bulletin of the Institute of Archaeology. 193–242.

PAVLIS, Nikolaos K.; HOLMES, Simon A.; KENYON, Steve C.; FACTOR, John K. (2012): The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). Journal of Geophysical Research: Solid Earth. B4.

SCTH, Universität Wien (2015): Joint Saudi Arabian-Austrian Archaeological Expedition at Qurayyah.

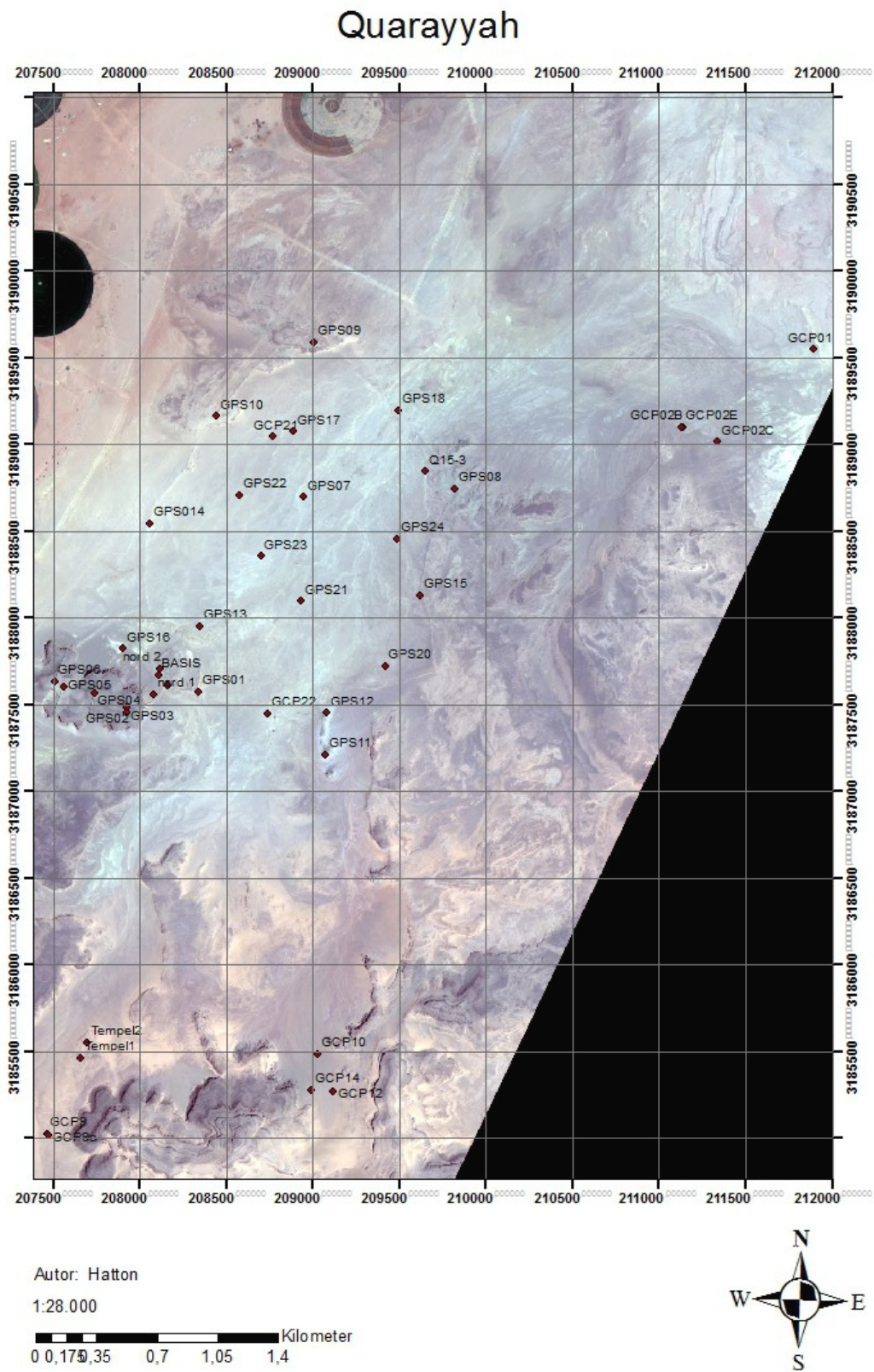
Trimble (ohne Angabe): HD-GNSS Processing.

XU, Guochang,(2003): GPS,Theory, algorithms and applications,Berlin.

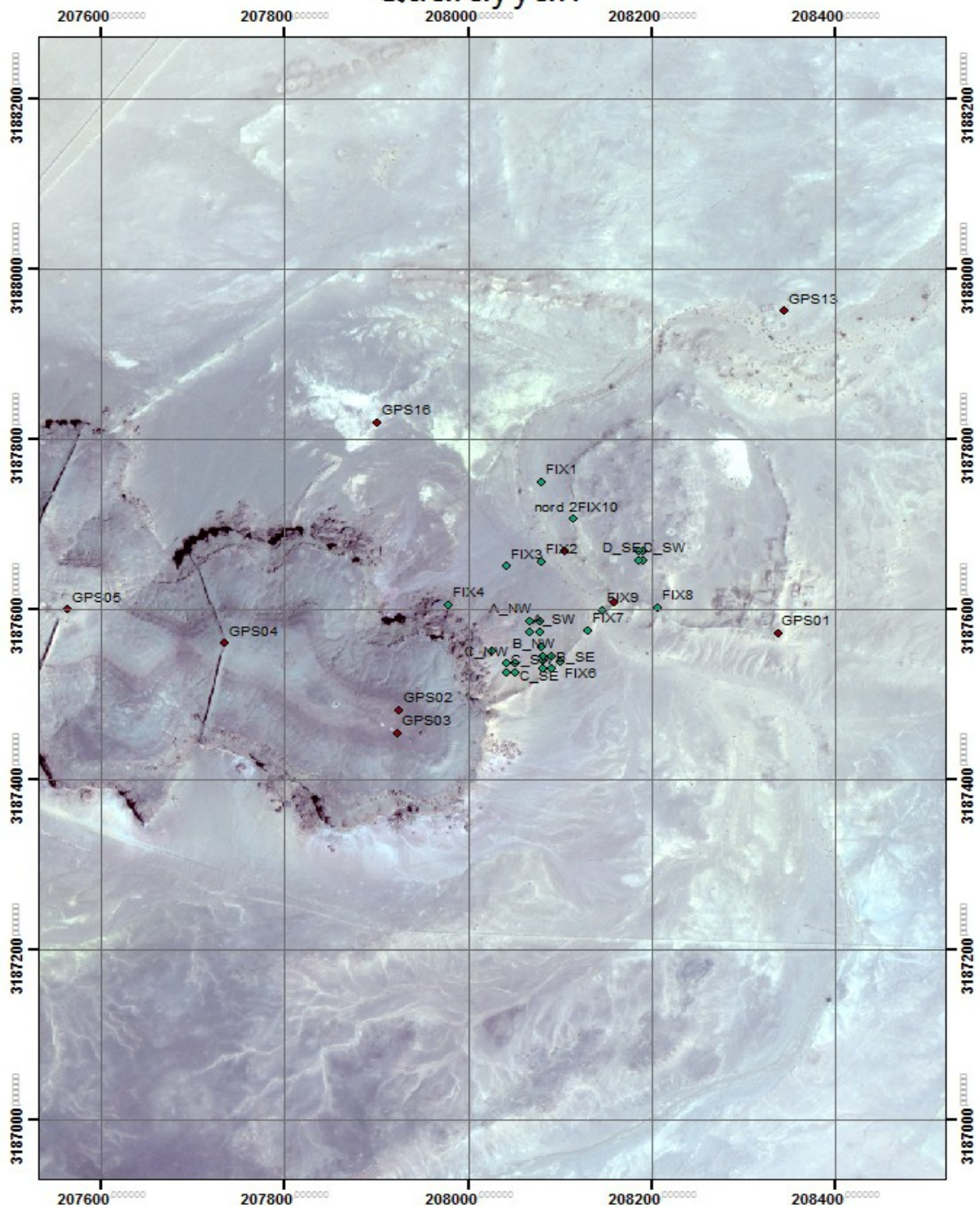


## **Anlagen**

# 1 Anlage 1: Qurayyah

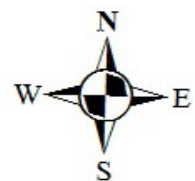
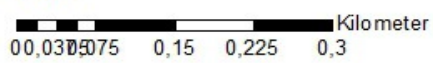


# Punkte der Transformation, Qurayyah



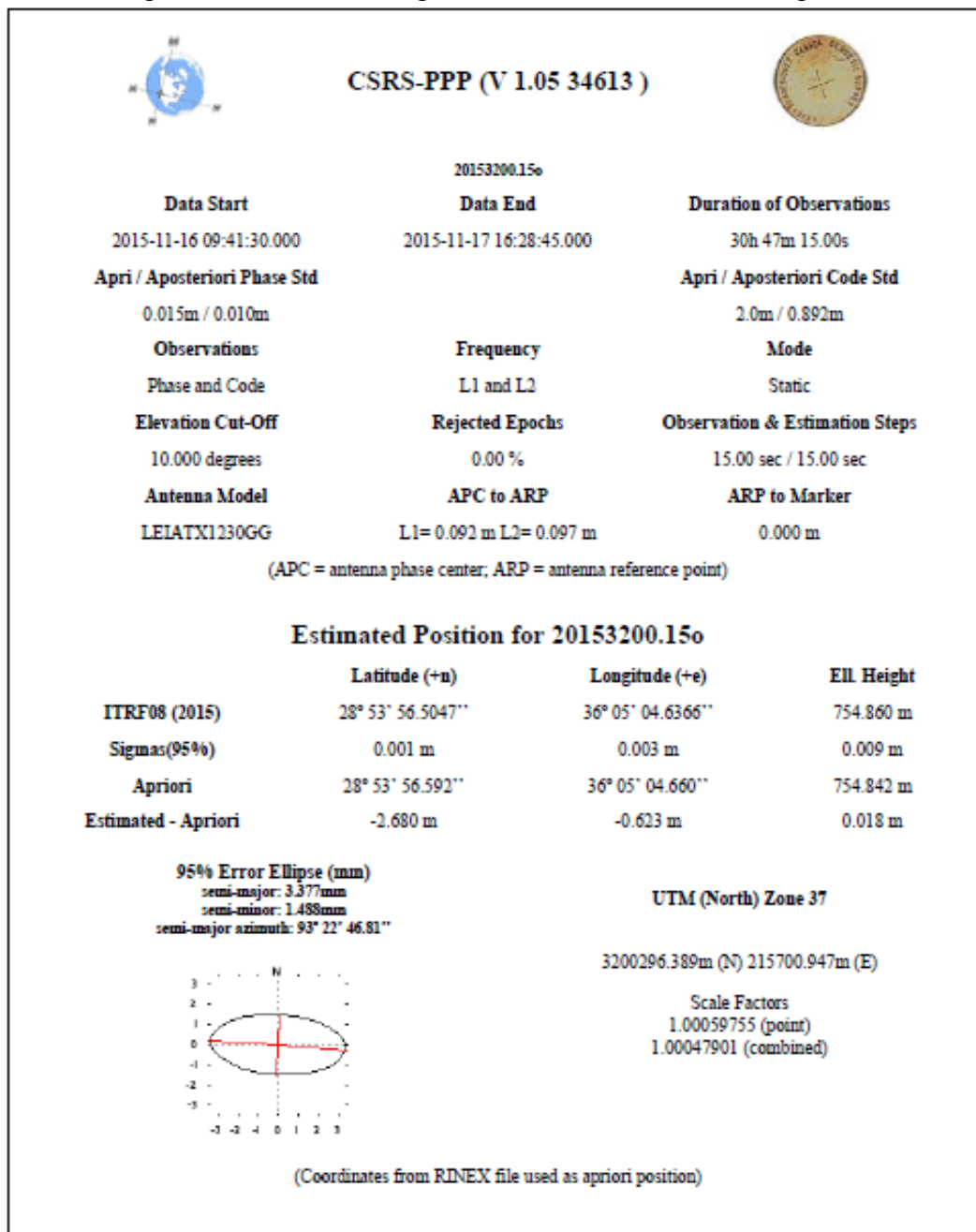
Autor: Hatton

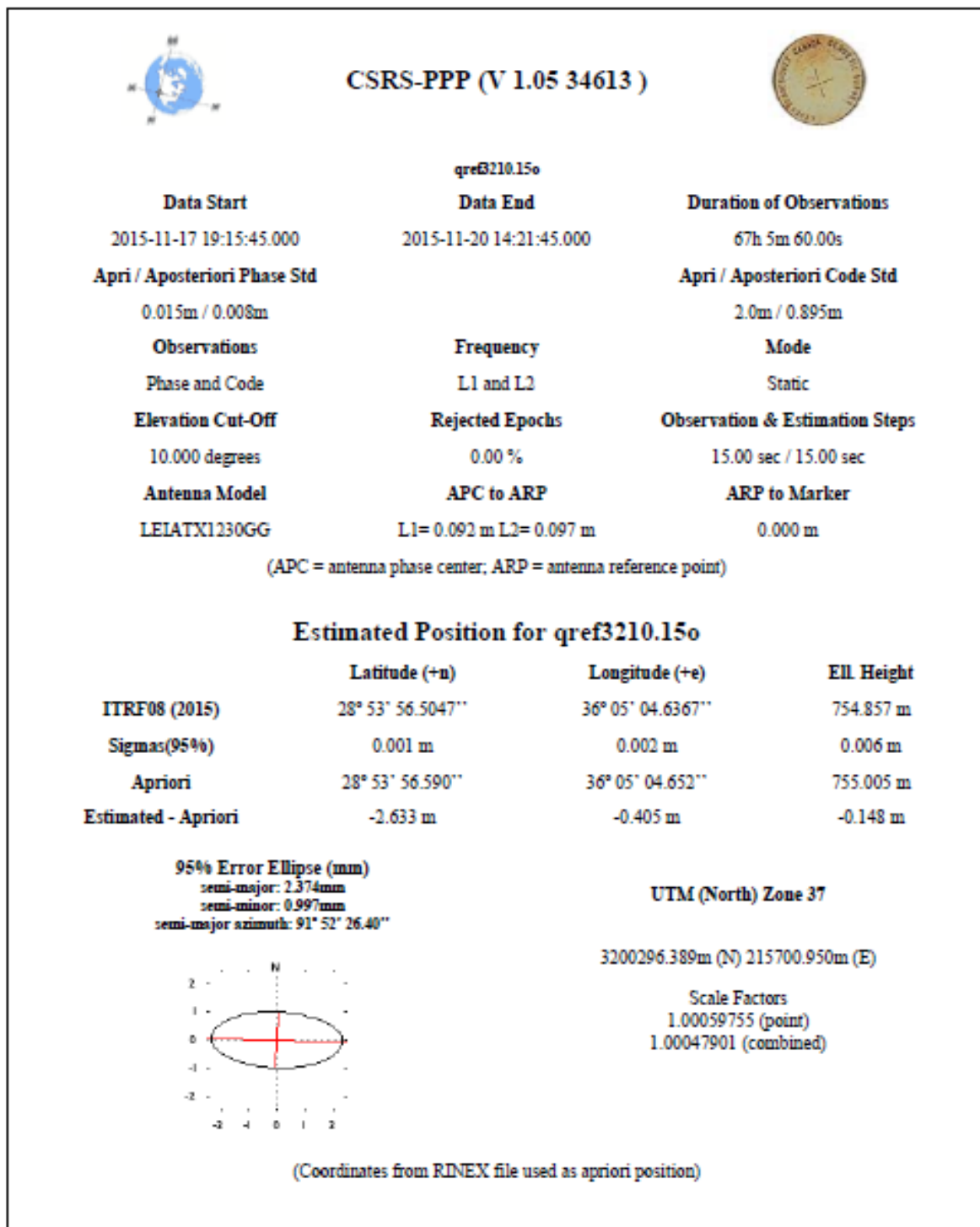
1:6.000

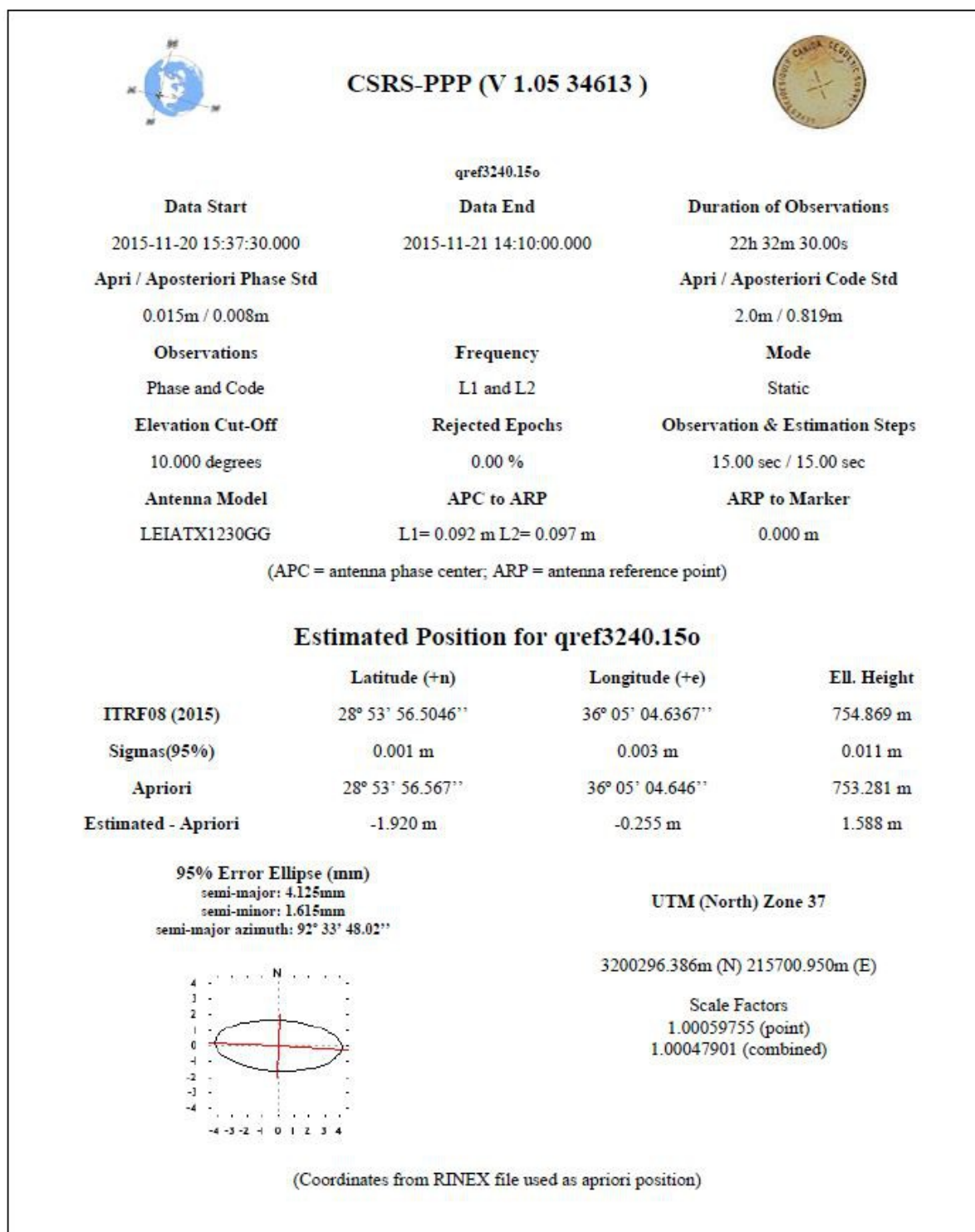


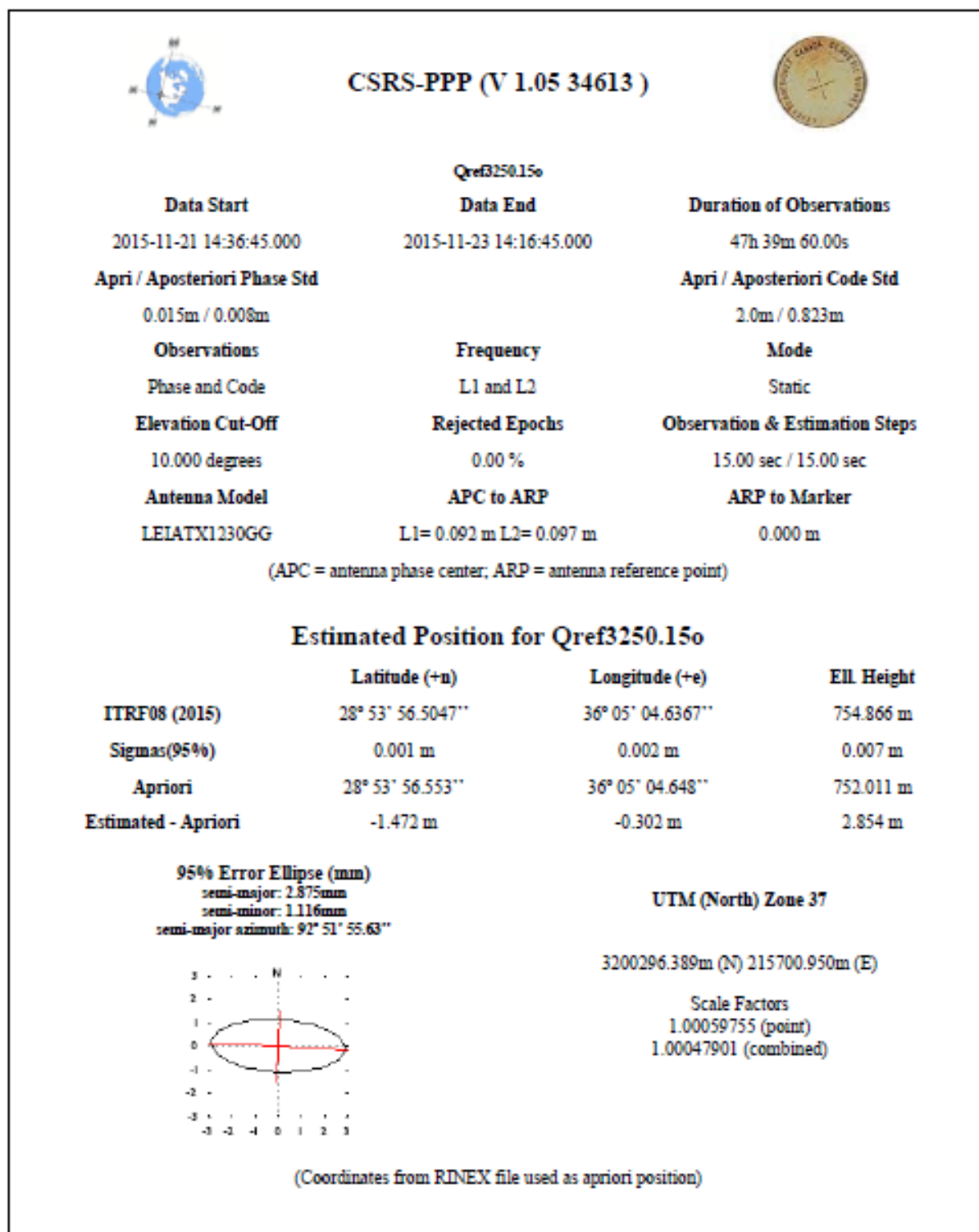
## 2 Anlage 2: Protokolle CSRS und GAPS

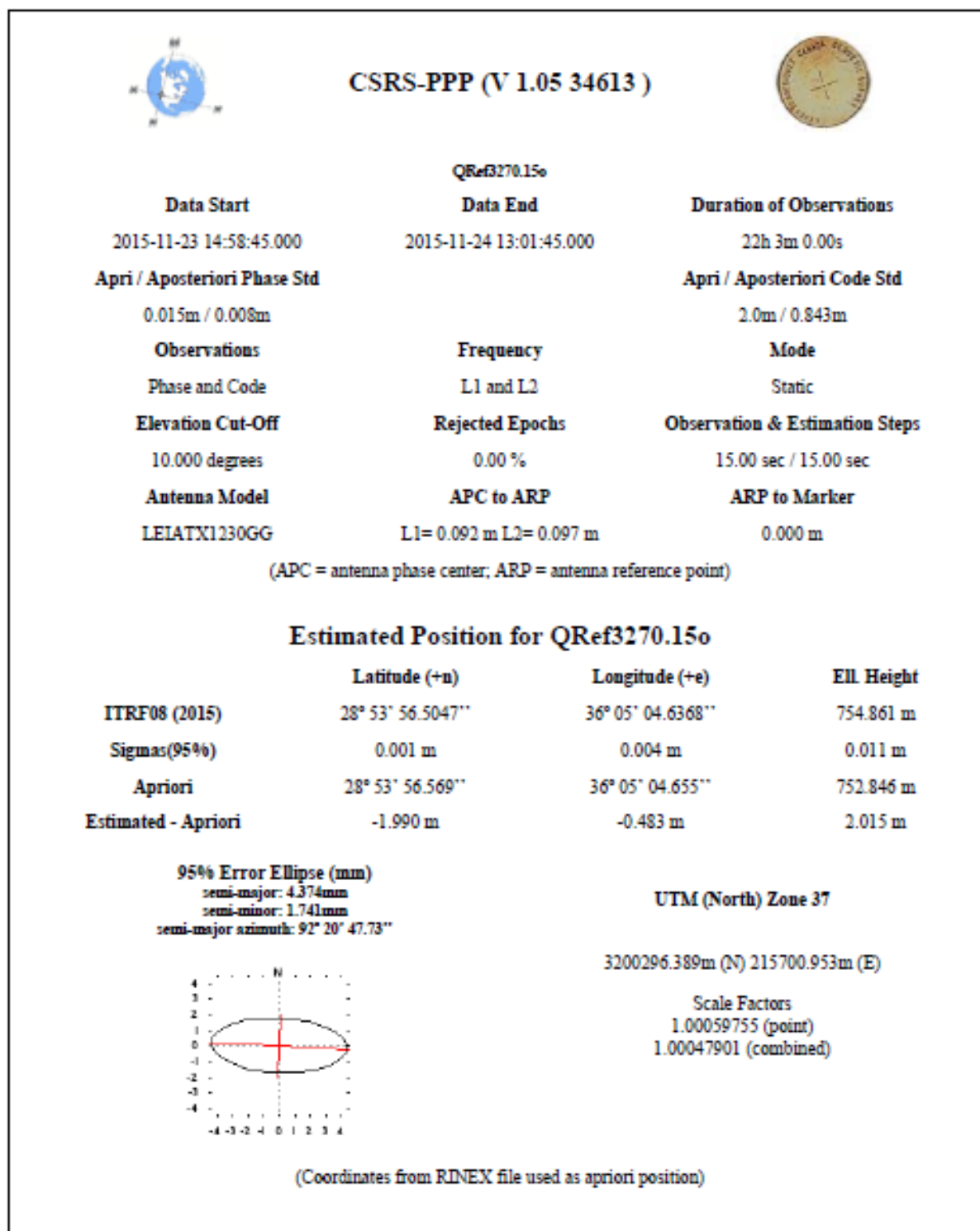
Der volle Umfang der Protokolle in digitaler Form im Ordner „Anlage2“.



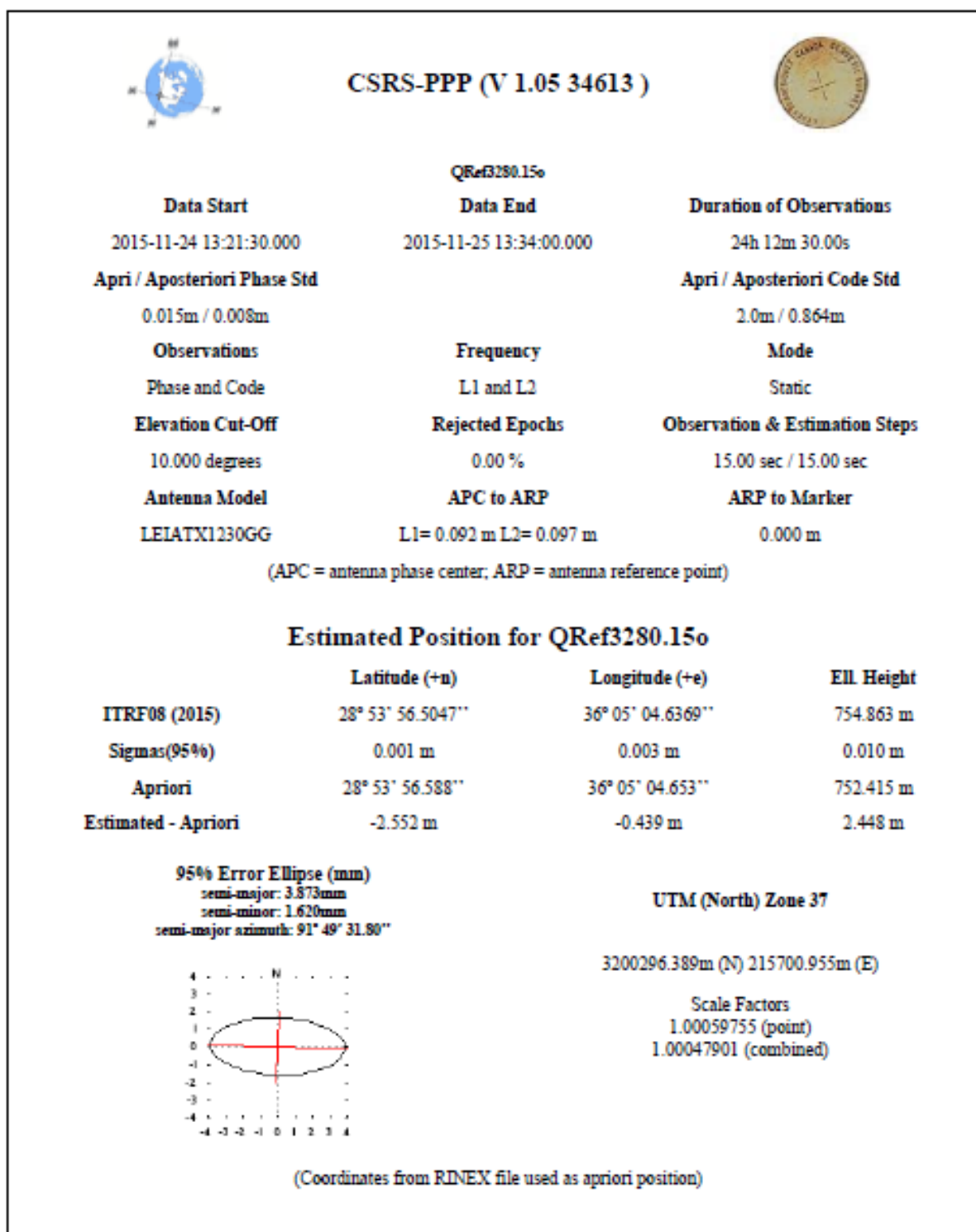


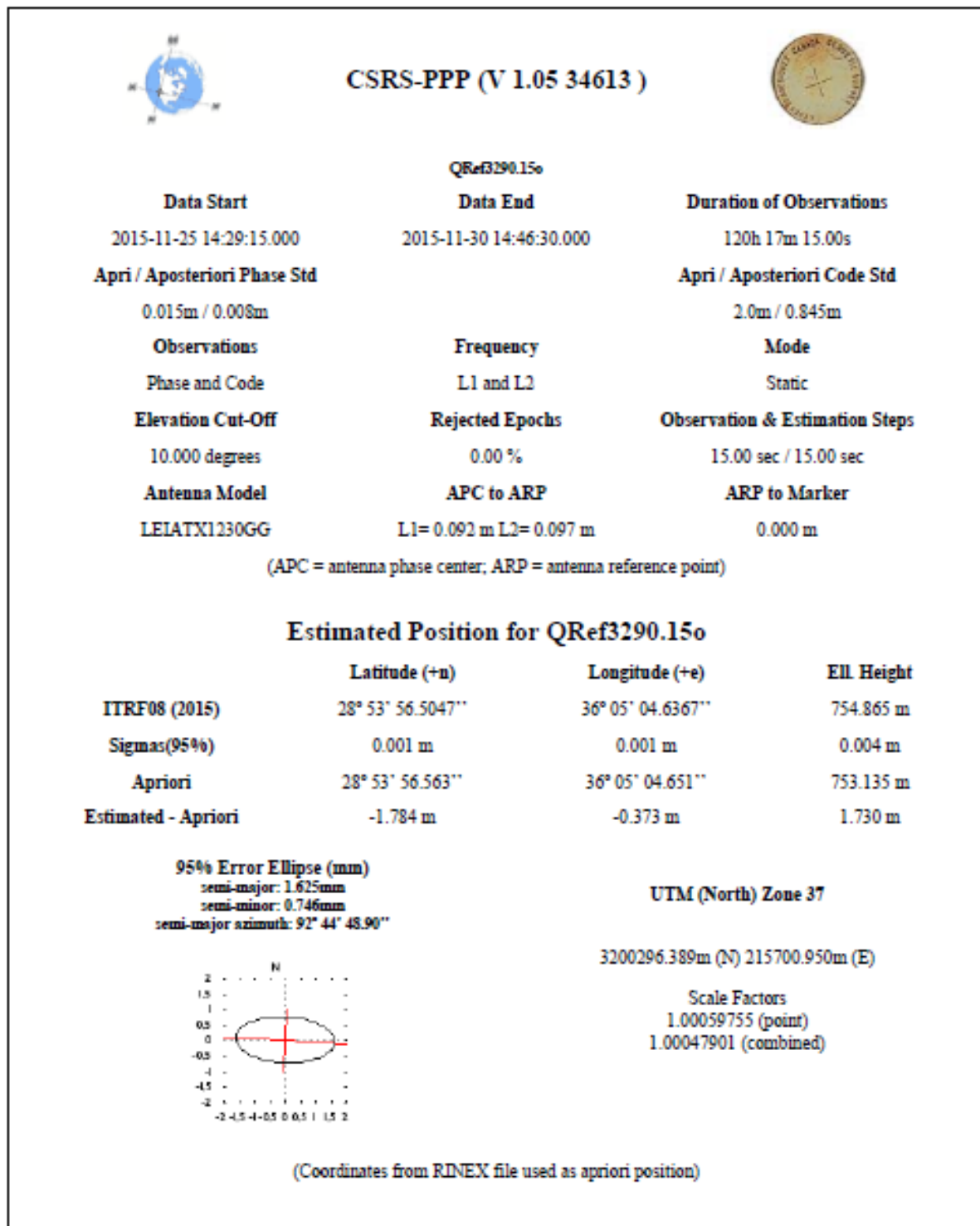


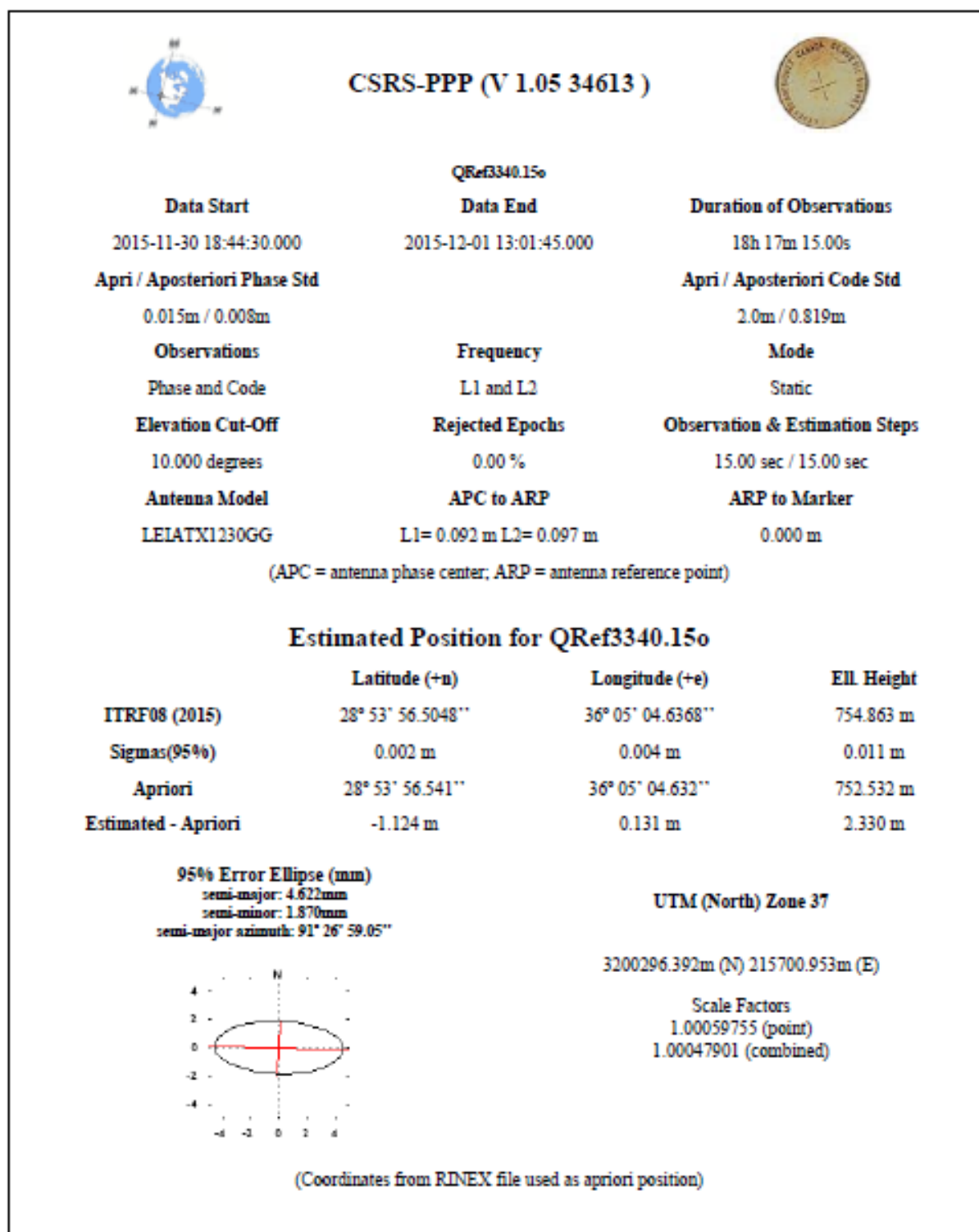


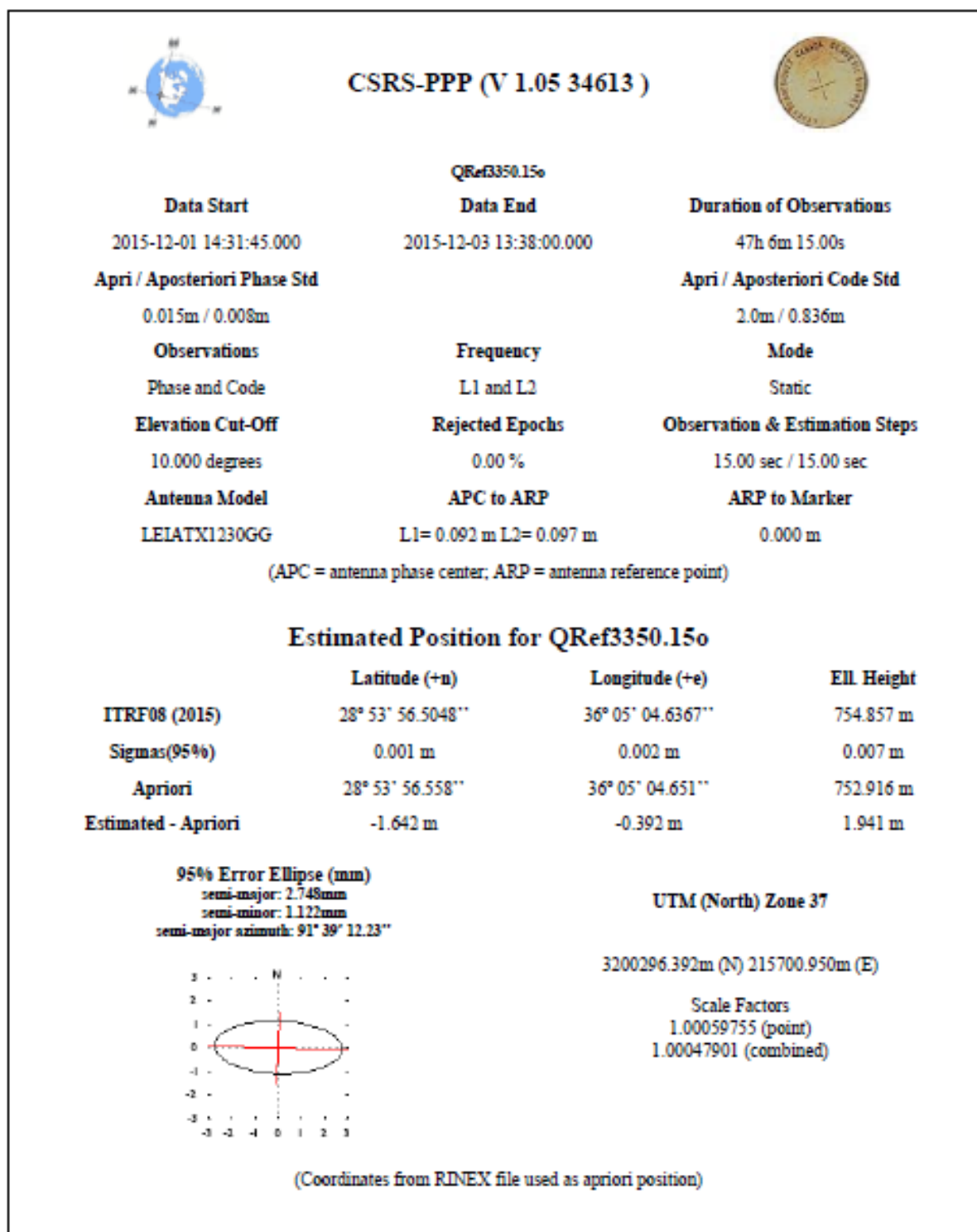


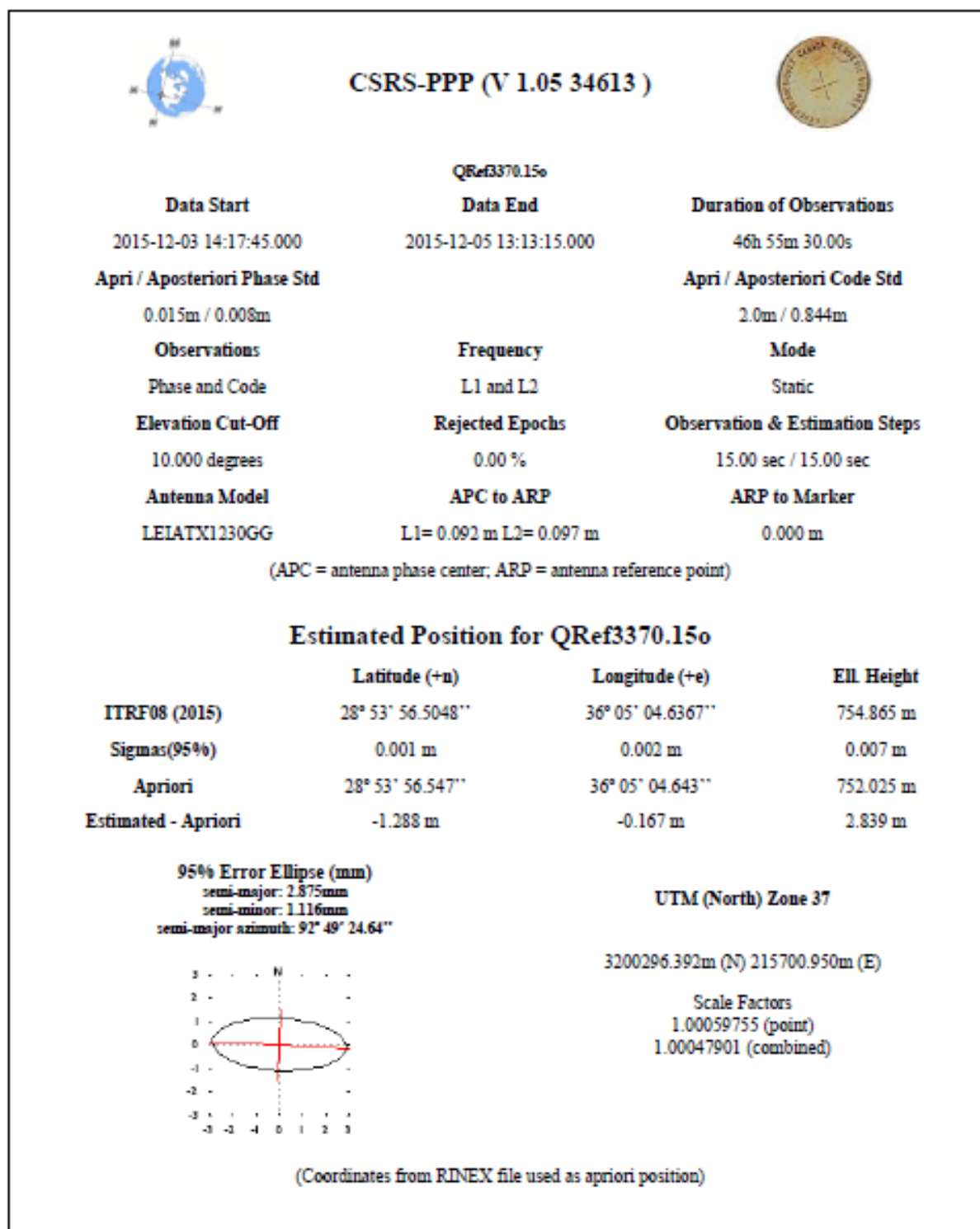


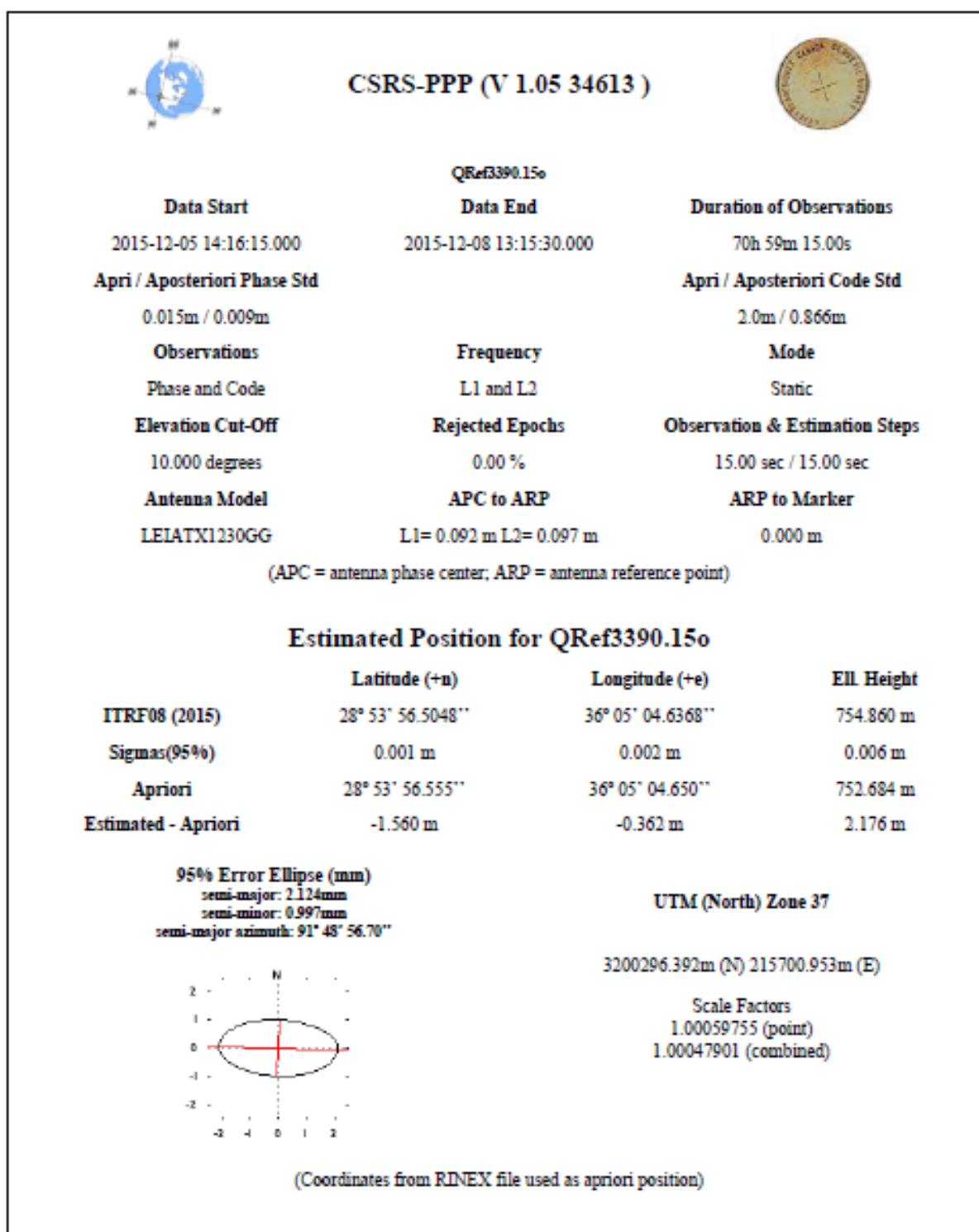


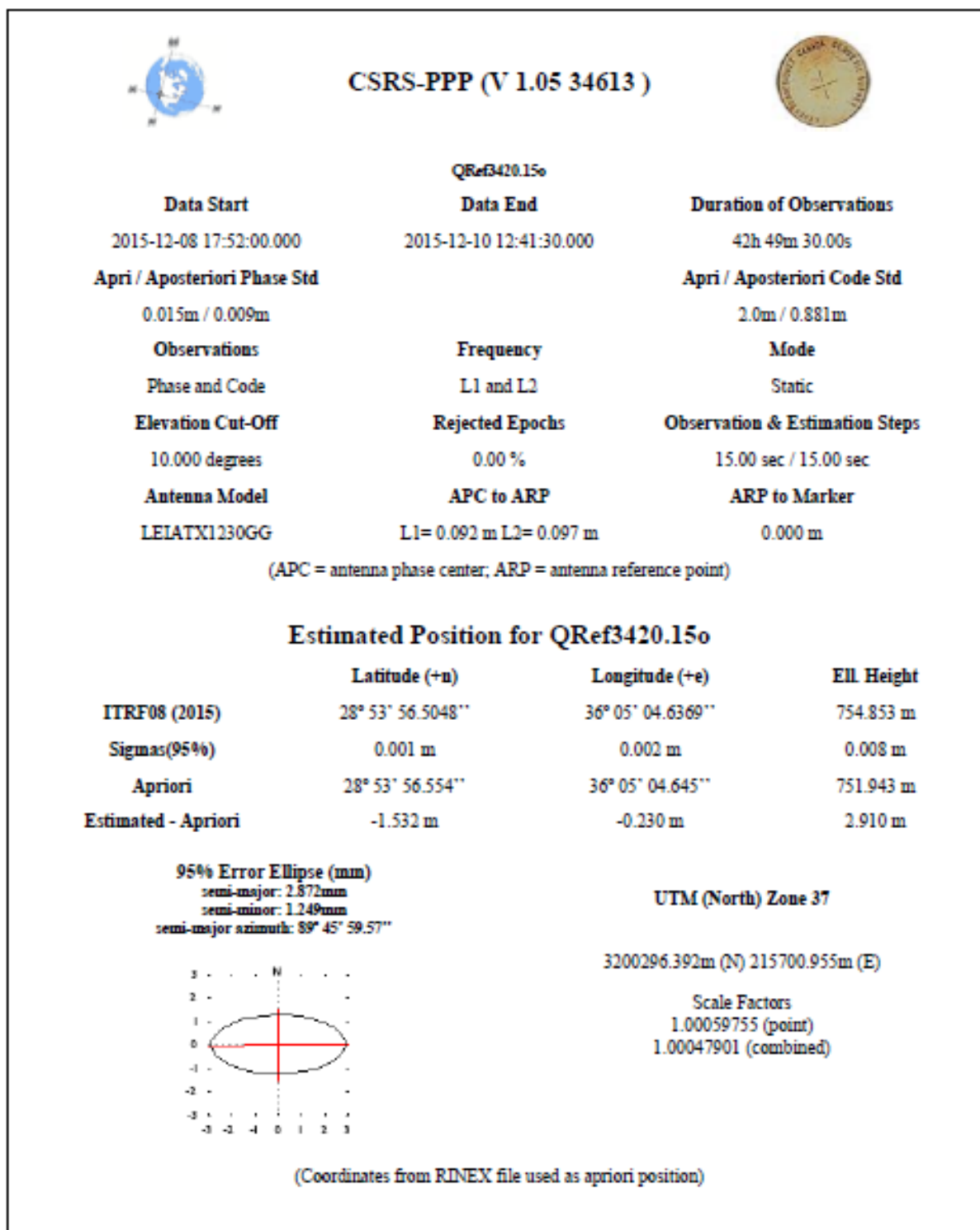












**GAPS v5.9.1 ADVANCED****GENERAL INFO**

Station: 20151116  
Observation File: 20153200.15o  
Begin Processing: 9:41:30  
End Processing: 23:59:45  
Date of Observation: 2015/11/16  
Date of Submission: 30-Jan-2016 12:09:15  
Processing Time: 291.55 seconds

**PROCESSING OPTIONS**

Positioning Type: Static  
GPS Orbit and Clock Products: IGS Precise orbits & IGS Precise clocks  
GPS Observables Processed: Pseudorange (C1/P2) and Carrier-phase (L1/L2)  
Linear Combination: Ionosphere-free  
A-priori Carrier-Phase Std Dev: 0.015 m  
A-priori Pseudorange Std Dev: 2.000 m  
Cutoff Elevation Angle: 10 degrees  
Ocean Tidal Loading: No  
Body Tidal Loading: Yes  
Maximum Iterations: 5  
Positional Convergence Condition: 1 (m)

**EQUIPMENT INFO**

Receiver Name: LEICA GTX1230  
Receiver Type: Non-cross-correlation receiver reporting C1  
Antenna Type: unknown  
**Antenna type not recognized!**  
Antenna Calibration: IGS ANTEX - Absolute  
Marker to ARP: 0.000 m  
ARP to APC: 0.000 m

**NEUTRAL ATMOSPHERE**

NAD model: UNB3m  
Initial A-priori NAD: 2.252 m  
A-priori NAD Std Dev: 0.100 m  
NAD Process Noise: 5.0 mm/sqrt(h)  
Mapping Functions: Niell Mapping Function  
Gradient Estimation: Not Estimated

**A-PRIORI COORDINATES**

Cartesian (X,Y,Z): 4516669.8528 3291756.4769 3064475.6025 (m)  
Geodetic (Lat,Long,h): 28.535659179 36.050465970 754.8418 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)  
A-priori Coordinate Std Dev: unconstrained

**FINAL COORDINATES (IGb08 - Epoch 2015.9)**

Cartesian (X,Y,Z): 4516671.3226 3291756.7819 3064473.3089 (m)  
Std. Dev. (X,Y,Z): 0.0023 0.0019 0.0016 (m)  
Geodetic (Lat,Long,h): 28.535650511 36.050463684 754.9306 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)



**GAPS v5.9.1 ADVANCED****GENERAL INFO**

Station: qref20151117  
Observation File: qref3210A.15o  
Begin Processing: 19:15:45  
End Processing: 23:59:45  
Date of Observation: 2015/11/17  
Date of Submission: 03-Feb-2016 12:14:21  
Processing Time: 386.27 seconds

**PROCESSING OPTIONS**

Positioning Type: Static  
GPS Orbit and Clock Products: IGS Precise orbits & IGS Precise clocks  
GPS Observables Processed: Pseudorange (C1/P2) and Carrier-phase (L1/L2)  
Linear Combination: Iono-free  
A-priori Carrier-Phase Std Dev: 0.015 m  
A-priori Pseudorange Std Dev: 2.000 m  
Cutoff Elevation Angle: 10 degrees  
Ocean Tidal Loading: No  
Body Tidal Loading: Yes  
Maximum Iterations: 5  
Positional Convergence Condition: 1 (m)

**EQUIPMENT INFO**

Receiver Name: LEICA GTX1230  
Receiver Type: Non-cross-correlation receiver reporting C1  
Antenna Type: unknown  
**Antenna type not recognized!**  
Antenna Calibration: IGS ANTEX - Absolute  
Marker to ARP: 0.000 m  
ARP to APC: 0.000 m

**NEUTRAL ATMOSPHERE**

NAD model: UNB3m  
Initial A-priori NAD: 2.251 m  
A-priori NAD Std Dev: 0.100 m  
NAD Process Noise: 5.0 mm/sqrt(h)  
Mapping Functions: Niell Mapping Function  
Gradient Estimation: Not Estimated

**A-PRIORI COORDINATES**

Cartesian (X,Y,Z): 4516670.1148 3291756.3991 3064475.6395 (m)  
  
Geodetic (Lat,Long,h): 28.535659024 36.050465168 755.0050 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)  
  
A-priori Coordinate Std Dev: unconstrained

**FINAL COORDINATES (IGb08 - Epoch 2015.9)**

Cartesian (X,Y,Z): 4516671.3141 3291756.7758 3064473.3023 (m)  
  
Std. Dev. (X,Y,Z): 0.0041 0.0052 0.0034 (m)  
  
Geodetic (Lat,Long,h): 28.535650509 36.050463685 754.9183 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)

**GAPS v5.9.1 ADVANCED****GENERAL INFO**

Station: qref20151117  
Observation File: qref3210B.15o  
Begin Processing: 1:5:45  
End Processing: 23:59:45  
Date of Observation: 2015/11/19  
Date of Submission: 03-Feb-2016 12:27:46  
Processing Time: 350.62 seconds

**PROCESSING OPTIONS**

Positioning Type: Static  
GPS Orbit and Clock Products: IGS Precise orbits & IGS Precise clocks  
GPS Observables Processed: Pseudorange (C1/P2) and Carrier-phase (L1/L2)  
Linear Combination: Ionosphere-free  
A-priori Carrier-Phase Std Dev: 0.015 m  
A-priori Pseudorange Std Dev: 2.000 m  
Cutoff Elevation Angle: 10 degrees  
Ocean Tidal Loading: No  
Body Tidal Loading: Yes  
Maximum Iterations: 5  
Positional Convergence Condition: 1 (m)

**EQUIPMENT INFO**

Receiver Name: LEICA GTX1230  
Receiver Type: Non-cross-correlation receiver reporting C1  
Antenna Type: unknown  
**Antenna type not recognized!**  
Antenna Calibration: IGS ANTEX - Absolute  
Marker to ARP: 0.000 m  
ARP to APC: 0.000 m

**NEUTRAL ATMOSPHERE**

NAD model: UNB3m  
Initial A-priori NAD: 2.250 m  
A-priori NAD Std Dev: 0.100 m  
NAD Process Noise: 5.0 mm/sqrt(h)  
Mapping Functions: Niell Mapping Function  
Gradient Estimation: Not Estimated

**A-PRIORI COORDINATES**

Cartesian (X,Y,Z): 4516670.1148 3291756.3991 3064475.6395 (m)  
  
Geodetic (Lat,Long,h): 28.535659024 36.050465168 755.0050 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)  
  
A-priori Coordinate Std Dev: unconstrained

**FINAL COORDINATES (IGb08 - Epoch 2015.9)**

Cartesian (X,Y,Z): 4516671.3159 3291756.7817 3064473.3057 (m)  
  
Std. Dev. (X,Y,Z): 0.0017 0.0015 0.0012 (m)  
  
Geodetic (Lat,Long,h): 28.535650511 36.050463698 754.9242 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)

**GAPS v5.9.1 ADVANCED****GENERAL INFO**

**Station:** qref20151120  
**Observation File:** qref3240.15o  
**Begin Processing:** 15:37:30  
**End Processing:** 23:59:45  
**Date of Observation:** 2015/11/20  
**Date of Submission:** 30-Jan-2016 12:25:26  
**Processing Time:** 159.18 seconds

**PROCESSING OPTIONS**

**Positioning Type:** Static  
**GPS Orbit and Clock Products:** IGS Precise orbits & IGS Precise clocks  
**GPS Observables Processed:** Pseudorange (C1/P2) and Carrier-phase (L1/L2)  
**Linear Combination:** Ionosphere-free  
**A-priori Carrier-Phase Std Dev:** 0.015 m  
**A-priori Pseudorange Std Dev:** 2.000 m  
**Cutoff Elevation Angle:** 10 degrees  
**Ocean Tidal Loading:** No  
**Body Tidal Loading:** Yes  
**Maximum Iterations:** 5  
**Positional Convergence Condition:** 1 (m)

**EQUIPMENT INFO**

**Receiver Name:** LEICA GTX1230  
**Receiver Type:** Non-cross-correlation receiver reporting C1  
**Antenna Type:** unknown  
**Antenna type not recognized!**  
**Antenna Calibration:** IGS ANTEX - Absolute  
**Marker to ARP:** 0.000 m  
**ARP to APC:** 0.000 m

**NEUTRAL ATMOSPHERE**

**NAD model:** UNB3m  
**Initial A-priori NAD:** 2.250 m  
**A-priori NAD Std Dev:** 0.100 m  
**NAD Process Noise:** 5.0 mm/sqrt(h)  
**Mapping Functions:** Niell Mapping Function  
**Gradient Estimation:** Not Estimated

**A-PRIORI COORDINATES**

**Cartesian (X,Y,Z):** 4516669.2620 3291755.5929 3064474.1807 (m)  
**Geodetic (Lat,Long,h):** 28.535656703 36.050464617 753.2809 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)  
**A-priori Coordinate Std Dev:** unconstrained

**FINAL COORDINATES (IGb08 - Epoch 2015.9)**

**Cartesian (X,Y,Z):** 4516671.3269 3291756.7887 3064473.3125 (m)  
**Std. Dev. (X,Y,Z):** 0.0031 0.0033 0.0023 (m)  
**Geodetic (Lat,Long,h):** 28.535650510 36.050463695 754.9388 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)

## GAPS v5.9.1 ADVANCED

## GENERAL INFO

Station: Qref20151121  
Observation File: Qref3250.15o  
Begin Processing: 14:36:45  
End Processing: 23:59:45  
Date of Observation: 2015/11/21  
Date of Submission: 30-Jan-2016 12:19:18  
Processing Time: 233.94 seconds

## PROCESSING OPTIONS

Positioning Type: Static  
GPS Orbit and Clock Products: IGS Precise orbits & IGS Precise clocks  
GPS Observables Processed: Pseudorange (C1/P2) and Carrier-phase (L1/L2)  
Linear Combination: Ionosphere-free  
A-priori Carrier-Phase Std Dev: 0.015 m  
A-priori Pseudorange Std Dev: 2.000 m  
Cutoff Elevation Angle: 10 degrees  
Ocean Tidal Loading: No  
Body Tidal Loading: Yes  
Maximum Iterations: 5  
Positional Convergence Condition: 1 (m)

## EQUIPMENT INFO

Receiver Name: LEICA GTX1230  
Receiver Type: Non-cross-correlation receiver reporting C1  
Antenna Type: unknown  
**Antenna type not recognized!**  
Antenna Calibration: IGS ANTEX - Absolute  
Marker to ARP: 0.000 m  
ARP to APC: 0.000 m

## NEUTRAL ATMOSPHERE

NAD model: UNB3m  
Initial A-priori NAD: 2.250 m  
A-priori NAD Std Dev: 0.100 m  
NAD Process Noise: 5.0 mm/sqrt(h)  
Mapping Functions: Niell Mapping Function  
Gradient Estimation: Not Estimated

## A-PRIORI COORDINATES

Cartesian (X,Y,Z): 4516668.5100 3291755.1026 3064473.1772 (m)  
Geodetic (Lat,Long,h): 28.535655257 36.050464790 752.0111 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)  
A-priori Coordinate Std Dev: unconstrained

## FINAL COORDINATES (IGb08 - Epoch 2015.9)

Cartesian (X,Y,Z): 4516671.3216 3291756.7871 3064473.3114 (m)  
Std. Dev. (X,Y,Z): 0.0029 0.0029 0.0021 (m)  
Geodetic (Lat,Long,h): 28.535650515 36.050463702 754.9338 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)

**GAPS v5.9.1 ADVANCED****GENERAL INFO**

**Station:** QRef20151123  
**Observation File:** QRef3270.15o  
**Begin Processing:** 14:58:45  
**End Processing:** 23:59:45  
**Date of Observation:** 2015/11/23  
**Date of Submission:** 30-Jan-2016 12:18:31  
**Processing Time:** 214.92 seconds

**PROCESSING OPTIONS**

**Positioning Type:** Static  
**GPS Orbit and Clock Products:** IGS Precise orbits & IGS Precise clocks  
**GPS Observables Processed:** Pseudorange (C1/P2) and Carrier-phase (L1/L2)  
**Linear Combination:** Ionosphere-free  
**A-priori Carrier-Phase Std Dev:** 0.015 m  
**A-priori Pseudorange Std Dev:** 2.000 m  
**Cutoff Elevation Angle:** 10 degrees  
**Ocean Tidal Loading:** No  
**Body Tidal Loading:** Yes  
**Maximum Iterations:** 5  
**Positional Convergence Condition:** 1 (m)

**EQUIPMENT INFO**

**Receiver Name:** LEICA GTX1230  
**Receiver Type:** Non-cross-correlation receiver reporting C1  
**Antenna Type:** unknown  
**Antenna type not recognized!**  
**Antenna Calibration:** IGS ANTEX - Absolute  
**Marker to ARP:** 0.000 m  
**ARP to APC:** 0.000 m

**NEUTRAL ATMOSPHERE**

**NAD model:** UNB3m  
**Initial A-priori NAD:** 2.249 m  
**A-priori NAD Std Dev:** 0.100 m  
**NAD Process Noise:** 5.0 mm/sqrt(h)  
**Mapping Functions:** Niell Mapping Function  
**Gradient Estimation:** Not Estimated

**A-PRIORI COORDINATES**

**Cartesian (X,Y,Z):** 4516668.7909 3291755.5343 3064474.0335 (m)  
**Geodetic (Lat,Long,h):** 28.535656936 36.050465467 752.8462 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)  
**A-priori Coordinate Std Dev:** unconstrained

**FINAL COORDINATES (IGb08 - Epoch 2015.9)**

**Cartesian (X,Y,Z):** 4516671.3232 3291756.7852 3064473.3095 (m)  
**Std. Dev. (X,Y,Z):** 0.0030 0.0031 0.0022 (m)  
**Geodetic (Lat,Long,h):** 28.535650509 36.050463693 754.9330 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)

**GAPS v5.9.1 ADVANCED****GENERAL INFO**

Station: QRef20151124  
Observation File: QRef3280.15o  
Begin Processing: 13:21:30  
End Processing: 23:59:45  
Date of Observation: 2015/11/24  
Date of Submission: 30-Jan-2016 12:38:36  
Processing Time: 173.99 seconds

**PROCESSING OPTIONS**

Positioning Type: Static  
GPS Orbit and Clock Products: IGS Precise orbits & IGS Precise clocks  
GPS Observables Processed: Pseudorange (C1/P2) and Carrier-phase (L1/L2)  
Linear Combination: Ionosphere-free  
A-priori Carrier-Phase Std Dev: 0.015 m  
A-priori Pseudorange Std Dev: 2.000 m  
Cutoff Elevation Angle: 10 degrees  
Ocean Tidal Loading: No  
Body Tidal Loading: Yes  
Maximum Iterations: 5  
Positional Convergence Condition: 1 (m)

**EQUIPMENT INFO**

Receiver Name: LEICA GTX1230  
Receiver Type: Non-cross-correlation receiver reporting C1  
Antenna Type: unknown  
**Antenna type not recognized!**  
Antenna Calibration: IGS ANTEX - Absolute  
Marker to ARP: 0.000 m  
ARP to APC: 0.000 m

**NEUTRAL ATMOSPHERE**

NAD model: UNB3m  
Initial A-priori NAD: 2.249 m  
A-priori NAD Std Dev: 0.100 m  
NAD Process Noise: 5.0 mm/sqrt(h)  
Mapping Functions: Niell Mapping Function  
Gradient Estimation: Not Estimated

**A-PRIORI COORDINATES**

Cartesian (X,Y,Z): 4516668.2900 3291755.1192 3064474.3175 (m)  
Geodetic (Lat,Long,h): 28.535658763 36.050465317 752.4151 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)  
A-priori Coordinate Std Dev: unconstrained

**FINAL COORDINATES (IGb08 - Epoch 2015.9)**

Cartesian (X,Y,Z): 4516671.3206 3291756.7856 3064473.3097 (m)  
Std. Dev. (X,Y,Z): 0.0027 0.0026 0.0019 (m)  
Geodetic (Lat,Long,h): 28.535650513 36.050463700 754.9315 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)

**GAPS v5.9.1 ADVANCED****GENERAL INFO**

Station: QRef20151125  
Observation File: QRef3290A.15o  
Begin Processing: 14:29:15  
End Processing: 23:59:45  
Date of Observation: 2015/11/25  
Date of Submission: 03-Feb-2016 12:17:15  
Processing Time: 405.87 seconds

**PROCESSING OPTIONS**

Positioning Type: Static  
GPS Orbit and Clock Products: IGS Precise orbits & IGS Precise clocks  
GPS Observables Processed: Pseudorange (C1/P2) and Carrier-phase (L1/L2)  
Linear Combination: Ionosphere-free  
A-priori Carrier-Phase Std Dev: 0.015 m  
A-priori Pseudorange Std Dev: 2.000 m  
Cutoff Elevation Angle: 10 degrees  
Ocean Tidal Loading: No  
Body Tidal Loading: Yes  
Maximum Iterations: 5  
Positional Convergence Condition: 1 (m)

**EQUIPMENT INFO**

Receiver Name: LEICA GTX1230  
Receiver Type: Non-cross-correlation receiver reporting C1  
Antenna Type: unknown  
**Antenna type not recognized!**  
Antenna Calibration: IGS ANTEX - Absolute  
Marker to ARP: 0.000 m  
ARP to APC: 0.000 m

**NEUTRAL ATMOSPHERE**

NAD model: UNB3m  
Initial A-priori NAD: 2.248 m  
A-priori NAD Std Dev: 0.100 m  
NAD Process Noise: 5.0 mm/sqrt(h)  
Mapping Functions: Niell Mapping Function  
Gradient Estimation: Not Estimated

**A-PRIORI COORDINATES**

Cartesian (X,Y,Z): 4516669.1405 3291755.6506 3064473.9947 (m)  
Geodetic (Lat,Long,h): 28.535656275 36.050465053 753.1348 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)  
A-priori Coordinate Std Dev: unconstrained

**FINAL COORDINATES (IGb08 - Epoch 2015.9)**

Cartesian (X,Y,Z): 4516671.3194 3291756.7843 3064473.3093 (m)  
Std. Dev. (X,Y,Z): 0.0029 0.0029 0.0021 (m)  
Geodetic (Lat,Long,h): 28.535650515 36.050463699 754.9297 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)

## GAPS v5.9.1 ADVANCED

## GENERAL INFO

Station: QRef20151125  
Observation File: QRef3290B.15o  
Begin Processing: 13:7:45  
End Processing: 23:59:45  
Date of Observation: 2015/11/27  
Date of Submission: 03-Feb-2016 12:26:26  
Processing Time: 257.88 seconds

## PROCESSING OPTIONS

Positioning Type: Static  
GPS Orbit and Clock Products: IGS Precise orbits & IGS Precise clocks  
GPS Observables Processed: Pseudorange (C1/P2) and Carrier-phase (L1/L2)  
Linear Combination: Ionosphere-free  
A-priori Carrier-Phase Std Dev: 0.015 m  
A-priori Pseudorange Std Dev: 2.000 m  
Cutoff Elevation Angle: 10 degrees  
Ocean Tidal Loading: No  
Body Tidal Loading: Yes  
Maximum Iterations: 5  
Positional Convergence Condition: 1 (m)

## EQUIPMENT INFO

Receiver Name: LEICA GTX1230  
Receiver Type: Non-cross-correlation receiver reporting C1  
Antenna Type: unknown  
**Antenna type not recognized!**  
Antenna Calibration: IGS ANTEX - Absolute  
Marker to ARP: 0.000 m  
ARP to APC: 0.000 m

## NEUTRAL ATMOSPHERE

NAD model: UNB3m  
Initial A-priori NAD: 2.247 m  
A-priori NAD Std Dev: 0.100 m  
NAD Process Noise: 5.0 mm/sqrt(h)  
Mapping Functions: Niell Mapping Function  
Gradient Estimation: Not Estimated

## A-PRIORI COORDINATES

Cartesian (X,Y,Z): 4516669.1405 3291755.6506 3064473.9947 (m)  
Geodetic (Lat,Long,h): 28.535656275 36.050465053 753.1348 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)  
A-priori Coordinate Std Dev: unconstrained

## FINAL COORDINATES (IGb08 - Epoch 2015.9)

Cartesian (X,Y,Z): 4516671.3180 3291756.7839 3064473.3117 (m)  
Std. Dev. (X,Y,Z): 0.0027 0.0026 0.0019 (m)  
Geodetic (Lat,Long,h): 28.535650523 36.050463701 754.9297 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)



**GAPS v5.9.1 ADVANCED****GENERAL INFO**

**Station:** QRef20151130  
**Observation File:** QRef3340.15o  
**Begin Processing:** 18:44:30  
**End Processing:** 23:59:45  
**Date of Observation:** 2015/11/30  
**Date of Submission:** 30-Jan-2016 12:07:09  
**Processing Time:** 334.79 seconds

**PROCESSING OPTIONS**

**Positioning Type:** Static  
**GPS Orbit and Clock Products:** IGS Precise orbits & IGS Precise clocks  
**GPS Observables Processed:** Pseudorange (C1/P2) and Carrier-phase (L1/L2)  
**Linear Combination:** Iono-free  
**A-priori Carrier-Phase Std Dev:** 0.015 m  
**A-priori Pseudorange Std Dev:** 2.000 m  
**Cutoff Elevation Angle:** 10 degrees  
**Ocean Tidal Loading:** No  
**Body Tidal Loading:** Yes  
**Maximum Iterations:** 5  
**Positional Convergence Condition:** 1 (m)

**EQUIPMENT INFO**

**Receiver Name:** LEICA GTX1230  
**Receiver Type:** Non-cross-correlation receiver reporting C1  
**Antenna Type:** unknown  
**Antenna type not recognized!**  
**Antenna Calibration:** IGS ANTEX - Absolute  
**Marker to ARP:** 0.000 m  
**ARP to APC:** 0.000 m

**NEUTRAL ATMOSPHERE**

**NAD model:** UNB3m  
**Initial A-priori NAD:** 2.246 m  
**A-priori NAD Std Dev:** 0.100 m  
**NAD Process Noise:** 5.0 mm/sqrt(h)  
**Mapping Functions:** Niell Mapping Function  
**Gradient Estimation:** Not Estimated

**A-PRIORI COORDINATES**

**Cartesian (X,Y,Z):** 4516669.2679 3291755.1212 3064473.1266 (m)  
**Geodetic (Lat,Long,h):** 28.535654134 36.050463198 752.5324 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)  
**A-priori Coordinate Std Dev:** unconstrained

**FINAL COORDINATES (IGb08 - Epoch 2015.9)**

**Cartesian (X,Y,Z):** 4516671.3135 3291756.7802 3064473.3087 (m)  
**Std. Dev. (X,Y,Z):** 0.0041 0.0047 0.0032 (m)  
**Geodetic (Lat,Long,h):** 28.535650524 36.050463699 754.9232 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)

**GAPS v5.9.1 ADVANCED****GENERAL INFO**

Station: QRef20151201  
Observation File: QRef3350.15o  
Begin Processing: 14:31:45  
End Processing: 23:59:45  
Date of Observation: 2015/12/1  
Date of Submission: 30-Jan-2016 11:58:36  
Processing Time: 341.31 seconds

**PROCESSING OPTIONS**

Positioning Type: Static  
GPS Orbit and Clock Products: IGS Precise orbits & IGS Precise clocks  
GPS Observables Processed: Pseudorange (C1/P2) and Carrier-phase (L1/L2)  
Linear Combination: Ionosphere-free  
A-priori Carrier-Phase Std Dev: 0.015 m  
A-priori Pseudorange Std Dev: 2.000 m  
Cutoff Elevation Angle: 10 degrees  
Ocean Tidal Loading: No  
Body Tidal Loading: Yes  
Maximum Iterations: 5  
Positional Convergence Condition: 1 (m)

**EQUIPMENT INFO**

Receiver Name: LEICA GTX1230  
Receiver Type: Non-cross-correlation receiver reporting C1  
Antenna Type: unknown  
**Antenna type not recognized!**  
Antenna Calibration: IGS ANTEX - Absolute  
Marker to ARP: 0.000 m  
ARP to APC: 0.000 m

**NEUTRAL ATMOSPHERE**

NAD model: UNB3m  
Initial A-priori NAD: 2.245 m  
A-priori NAD Std Dev: 0.100 m  
NAD Process Noise: 5.0 mm/sqrt(h)  
Mapping Functions: Niell Mapping Function  
Gradient Estimation: Not Estimated

**A-PRIORI COORDINATES**

Cartesian (X,Y,Z): 4516669.0295 3291755.5927 3064473.7654 (m)  
Geodetic (Lat,Long,h): 28.535655817 36.050465122 752.9156 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)  
A-priori Coordinate Std Dev: unconstrained

**FINAL COORDINATES (IGb08 - Epoch 2015.9)**

Cartesian (X,Y,Z): 4516671.3120 3291756.7737 3064473.3070 (m)  
Std. Dev. (X,Y,Z): 0.0030 0.0030 0.0022 (m)  
Geodetic (Lat,Long,h): 28.535650527 36.050463683 754.9179 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)

**GAPS v5.9.1 ADVANCED****GENERAL INFO**

**Station:** QRef20151203  
**Observation File:** QRef3370.15o  
**Begin Processing:** 14:17:45  
**End Processing:** 23:59:45  
**Date of Observation:** 2015/12/3  
**Date of Submission:** 30-Jan-2016 11:59:38  
**Processing Time:** 279.90 seconds

**PROCESSING OPTIONS**

**Positioning Type:** Static  
**GPS Orbit and Clock Products:** IGS Precise orbits & IGS Precise clocks  
**GPS Observables Processed:** Pseudorange (C1/P2) and Carrier-phase (L1/L2)  
**Linear Combination:** Ionosphere-free  
**A-priori Carrier-Phase Std Dev:** 0.015 m  
**A-priori Pseudorange Std Dev:** 2.000 m  
**Cutoff Elevation Angle:** 10 degrees  
**Ocean Tidal Loading:** No  
**Body Tidal Loading:** Yes  
**Maximum Iterations:** 5  
**Positional Convergence Condition:** 1 (m)

**EQUIPMENT INFO**

**Receiver Name:** LEICA GTX1230  
**Receiver Type:** Non-cross-correlation receiver reporting C1  
**Antenna Type:** unknown  
**Antenna type not recognized!**  
**Antenna Calibration:** IGS ANTEX - Absolute  
**Marker to ARP:** 0.000 m  
**ARP to APC:** 0.000 m

**NEUTRAL ATMOSPHERE**

**NAD model:** UNB3m  
**Initial A-priori NAD:** 2.244 m  
**A-priori NAD Std Dev:** 0.100 m  
**NAD Process Noise:** 5.0 mm/sqrt(h)  
**Mapping Functions:** Niell Mapping Function  
**Gradient Estimation:** Not Estimated

**A-PRIORI COORDINATES**

**Cartesian (X,Y,Z):** 4516668.6710 3291755.0522 3064473.0247 (m)  
**Geodetic (Lat,Long,h):** 28.535654666 36.050464289 752.0253 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)  
**A-priori Coordinate Std Dev:** unconstrained

**FINAL COORDINATES (IGb08 - Epoch 2015.9)**

**Cartesian (X,Y,Z):** 4516671.3196 3291756.7813 3064473.3117 (m)  
**Std. Dev. (X,Y,Z):** 0.0029 0.0029 0.0022 (m)  
**Geodetic (Lat,Long,h):** 28.535650524 36.050463689 754.9296 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)

**GAPS v5.9.1 ADVANCED****GENERAL INFO**

**Station:** QRef20151205  
**Observation File:** QRef3390A.15o  
**Begin Processing:** 14:16:15  
**End Processing:** 23:59:45  
**Date of Observation:** 2015/12/5  
**Date of Submission:** 03-Feb-2016 12:20:46  
**Processing Time:** 305.80 seconds

**PROCESSING OPTIONS**

**Positioning Type:** Static  
**GPS Orbit and Clock Products:** IGS Precise orbits & IGS Precise clocks  
**GPS Observables Processed:** Pseudorange (C1/P2) and Carrier-phase (L1/L2)  
**Linear Combination:** Ionosphere-free  
**A-priori Carrier-Phase Std Dev:** 0.015 m  
**A-priori Pseudorange Std Dev:** 2.000 m  
**Cutoff Elevation Angle:** 10 degrees  
**Ocean Tidal Loading:** No  
**Body Tidal Loading:** Yes  
**Maximum Iterations:** 5  
**Positional Convergence Condition:** 1 (m)

**EQUIPMENT INFO**

**Receiver Name:** LEICA GTX1230  
**Receiver Type:** Non-cross-correlation receiver reporting C1  
**Antenna Type:** unknown  
**Antenna type not recognized!**  
**Antenna Calibration:** IGS ANTEX - Absolute  
**Marker to ARP:** 0.000 m  
**ARP to APC:** 0.000 m

**NEUTRAL ATMOSPHERE**

**NAD model:** UNB3m  
**Initial A-priori NAD:** 2.243 m  
**A-priori NAD Std Dev:** 0.100 m  
**NAD Process Noise:** 5.0 mm/sqrt(h)  
**Mapping Functions:** Niell Mapping Function  
**Gradient Estimation:** Not Estimated

**A-PRIORI COORDINATES**

**Cartesian (X,Y,Z):** 4516668.9142 3291755.4741 3064473.5809 (m)  
**Geodetic (Lat,Long,h):** 28.535655549 36.050465019 752.6837 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)  
**A-priori Coordinate Std Dev:** unconstrained

**FINAL COORDINATES (IGb08 - Epoch 2015.9)**

**Cartesian (X,Y,Z):** 4516671.3201 3291756.7823 3064473.3140 (m)  
**Std. Dev. (X,Y,Z):** 0.0029 0.0029 0.0022 (m)  
**Geodetic (Lat,Long,h):** 28.535650529 36.050463691 754.9314 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)

**GAPS v5.9.1 ADVANCED****GENERAL INFO**

**Station:** QRef20151205  
**Observation File:** QRef33908.15o  
**Begin Processing:** 3:18:15  
**End Processing:** 23:59:45  
**Date of Observation:** 2015/12/7  
**Date of Submission:** 03-Feb-2016 12:21:57  
**Processing Time:** 369.46 seconds

**PROCESSING OPTIONS**

**Positioning Type:** Static  
**GPS Orbit and Clock Products:** IGS Precise orbits & IGS Precise clocks  
**GPS Observables Processed:** Pseudorange (C1/P2) and Carrier-phase (L1/L2)  
**Linear Combination:** Ionosphere-free  
**A-priori Carrier-Phase Std Dev:** 0.015 m  
**A-priori Pseudorange Std Dev:** 2.000 m  
**Cutoff Elevation Angle:** 10 degrees  
**Ocean Tidal Loading:** No  
**Body Tidal Loading:** Yes  
**Maximum Iterations:** 5  
**Positional Convergence Condition:** 1 (m)

**EQUIPMENT INFO**

**Receiver Name:** LEICA GTX1230  
**Receiver Type:** Non-cross-correlation receiver reporting C1  
**Antenna Type:** unknown  
**Antenna type not recognized!**  
**Antenna Calibration:** IGS ANTEX - Absolute  
**Marker to ARP:** 0.000 m  
**ARP to APC:** 0.000 m

**NEUTRAL ATMOSPHERE**

**NAD model:** UNB3m  
**Initial A-priori NAD:** 2.242 m  
**A-priori NAD Std Dev:** 0.100 m  
**NAD Process Noise:** 5.0 mm/sqrt(h)  
**Mapping Functions:** Niell Mapping Function  
**Gradient Estimation:** Not Estimated

**A-PRIORI COORDINATES**

**Cartesian (X,Y,Z):** 4516668.9142 3291755.4741 3064473.5809 (m)  
**Geodetic (Lat,Long,h):** 28.535655549 36.050465019 752.6837 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)  
**A-priori Coordinate Std Dev:** unconstrained

**FINAL COORDINATES (IGb08 - Epoch 2015.9)**

**Cartesian (X,Y,Z):** 4516671.3186 3291756.7841 3064473.3098 (m)  
**Std. Dev. (X,Y,Z):** 0.0018 0.0017 0.0013 (m)  
**Geodetic (Lat,Long,h):** 28.535650517 36.050463700 754.9293 (dd.mmsssss,dd.mmsssss,m)

### 3 Anlage 3: Basislinienverarbeitungsbericht QRef

Vollständiger Bericht in digitaler Form im Ordner „Anlage 3“.

#### Basislinienverarbeitungsbericht

##### Verarbeitungszusammenfassung

Beobachtung	Von	Zu	Lösungstyp	Hz.- Genauigkeit (Meter)	V.- Genauigk. (Meter)	Geodätisch es Azimut	Ellipsoid- Str. (Meter)	$\Delta$ Höhe (Meter)
RAMO Mizpe Ramon --- 20151116 (B1182)	RAMO Mizpe Ramon	20151116	Fixed	0,002	0,006	145°29'51"	227569,20 9	-131,990
RAMO Mizpe Ramon --- qref20151117 (B1183)	RAMO Mizpe Ramon	qref20151117	Fixed	0,002	0,004	145°29'51"	227569,20 7	-131,978
RAMO Mizpe Ramon --- qref20151120 (B1184)	RAMO Mizpe Ramon	qref20151120	Fixed	0,003	0,007	145°29'51"	227569,20 8	-131,976
RAMO Mizpe Ramon --- Qref20151121 (B1185)	RAMO Mizpe Ramon	Qref20151121	Fixed	0,002	0,005	145°29'51"	227569,20 8	-131,984
RAMO Mizpe Ramon --- QRef20151123 (B1186)	RAMO Mizpe Ramon	QRef20151123	Fixed	0,003	0,008	145°29'51"	227569,20 6	-131,978
RAMO Mizpe Ramon --- QRef20151124 (B1187)	RAMO Mizpe Ramon	QRef20151124	Fixed	0,003	0,007	145°29'51"	227569,20 8	-131,975

RAMO Mizpe Ramon --- QRef20151125 (B1188)	RAMO Mizpe Ramon	QRef20151125	Fixed	0,001	0,003	145°29'51"	227569,207	-131,978
RAMO Mizpe Ramon --- QRef20151130 (B1189)	RAMO Mizpe Ramon	QRef20151130	Fixed	0,003	0,008	145°29'51"	227569,205	-131,976
RAMO Mizpe Ramon --- QRef20151201 (B1190)	RAMO Mizpe Ramon	QRef20151201	Fixed	0,003	0,008	145°29'51"	227569,208	-131,969
QRef20151201 --- RAMO Mizpe Ramon (B1191)	RAMO Mizpe Ramon	QRef20151201	Fixed	0,005	0,015	145°29'51"	227569,207	-131,981
QRef20151201 --- RAMO Mizpe Ramon (B1192)	RAMO Mizpe Ramon	QRef20151201	Fixed	0,003	0,008	145°29'51"	227569,208	-131,974
RAMO Mizpe Ramon --- QRef20151201 (B1193)	RAMO Mizpe Ramon	QRef20151201	Fixed	0,004	0,012	145°29'51"	227569,204	-131,974
RAMO Mizpe Ramon --- QRef20151203 (B1194)	RAMO Mizpe Ramon	QRef20151203	Fixed	0,002	0,005	145°29'51"	227569,207	-131,975
RAMO Mizpe Ramon --- QRef20151205 (B1195)	RAMO Mizpe Ramon	QRef20151205	Fixed	0,002	0,004	145°29'51"	227569,207	-131,974
RAMO Mizpe Ramon --- QRef20151208 (B1196)	RAMO Mizpe Ramon	QRef20151208	Fixed	0,004	0,016	145°29'51"	227569,208	-131,990

## 4 Anlage 4: Koordinatenliste des Festpunktefeld

Punktliste

Kennung	Rechtswert (Meter)	Hochwert (Meter)	Orthometrische Höhe (Meter)
111	215701,389	3200298,751	737,265
20151116	215700,953	3200296,398	737,556
qref20151117	215700,948	3200296,397	737,568
qref20151120	215700,945	3200296,394	737,570
Qref20151121	215700,946	3200296,395	737,563
QRef20151123	215700,944	3200296,396	737,569
QRef20151124	215700,946	3200296,394	737,571
QRef20151125	215700,946	3200296,396	737,569
QRef20151130	215700,945	3200296,397	737,570
QRef20151201	215700,946	3200296,396	737,574
QRef20151203	215700,946	3200296,396	737,572
QRef20151205	215700,947	3200296,396	737,573
QRef20151208	215700,944	3200296,394	737,556
RAMO Mizpe Ramon	93655,764	3392664,165	868,216



## 5 Anlage 5: Basislinienverarbeitungsbericht der Punkte

Vollständiger Bericht in digitaler Form im Ordner „Anlage 5“.

### Basislinienverarbeitungsbericht

#### Verarbeitungszusammenfassung

Beobachtung	Von	Zu	Lösungstyp	Hz.- Genauigkeit (Meter)	V.- Genauigk. (Meter)	Geodätisch es Azimut	Ellipsoid- Str. (Meter)	$\Delta$ Höhe (Meter)
QRef — BASIS (B1055)	QRef	BASIS	Fixed	0,005	0,020	209°36'50"	14728,031	50,941
QRef — BASIS (B1057)	QRef	BASIS	Fixed	0,005	0,024	209°36'50"	14728,029	50,951
QRef — BASIS (B1059)	QRef	BASIS	Fixed	0,006	0,010	209°36'50"	14728,023	50,953
QRef — FIX6 (B1061)	QRef	FIX6	Fixed	0,007	0,018	209°22'28"	14842,437	55,104
QRef — FIX7 (B1063)	QRef	FIX7	Fixed	0,006	0,012	209°20'41"	14794,834	53,887
QRef — GCP01 (B1065)	QRef	GCP01	Fixed	0,016	0,032	198°05'24"	11398,234	16,390
QRef — GCP02C (B1067)	QRef	GCP02C	Fixed	0,011	0,016	199°43'59"	12086,717	19,814
QRef — GCP02B (B1069)	QRef	GCP02B	Fixed	0,011	0,024	200°46'22"	12086,799	22,627
QRef — GCP02E (B1071)	QRef	GCP02E	Fixed	0,007	0,019	200°47'32"	12090,057	22,808
QRef — GCP111 (B1073)	QRef	GCP111	Fixed	0,007	0,012	209°18'59"	14751,456	58,153
QRef — GCP12 (B1075)	QRef	GCP12	Fixed	0,010	0,018	202°14'43"	16396,450	85,795
QRef — GCP14 (B1077)	QRef	GCP14	Fixed	0,007	0,016	202°40'03"	16444,650	84,010

QRef — GCP10 (B1079)	QRef	GCP10	Fixed	0,007	0,018	202°51'27"	16240,156	78,989
QRef — GCP21 (B1081)	QRef	GCP21	Fixed	0,007	0,017	210°13'43"	13211,129	39,805
QRef — GCP22 (B1083)	QRef	GCP22	Fixed	0,009	0,016	207°02'21"	14606,286	54,727
QRef — GCP- Tempel1 (B1085)	QRef	GCP-Tempel1	Fixed	0,013	0,026	207°02'52"	16867,839	80,002
QRef — GCP9 (B1087)	QRef	GCP9	Fixed	0,008	0,013	206°55'49"	17345,385	68,146
QRef — GCP9a (B1089)	QRef	GCP9a	Fixed	0,010	0,015	206°53'42"	17348,154	69,085
QRef — GPS01 (B1091)	QRef	GPS01	Fixed	0,007	0,014	208°38'46"	14692,101	65,264
QRef — GPS02 (B1093)	QRef	GPS02	Fixed	0,043	0,045	209°50'23"	14981,216	109,581
QRef — GPS03 (B1095)	QRef	GPS03	Fixed	0,010	0,013	209°47'38"	15005,544	109,808
QRef — GPS04 (B1097)	QRef	GPS04	Fixed	0,012	0,025	210°37'11"	15014,175	113,224
QRef — GPS05 (B1099)	QRef	GPS05	Fixed	0,038	0,025	211°15'08"	15072,547	116,397
QRef — GPS06 (B1101)	QRef	GPS06	Fixed	0,024	0,035	211°29'48"	15078,979	114,371
QRef — GPS08 (B1103)	QRef	GPS08	Fixed	0,008	0,014	205°33'59"	12956,583	54,330
QRef — GPS09 (B1105)	QRef	GPS09	Fixed	0,010	0,016	210°37'19"	12623,434	59,061
QRef — GPS014 (B1107)	QRef	GPS014	Fixed	0,008	0,014	211°37'25"	14014,618	52,541
QRef — GPS10 (B1109)	QRef	GPS10	Fixed	0,008	0,025	211°42'11"	13285,703	52,205
QRef — GPS11 (B1111)	QRef	GPS11	Fixed	0,007	0,014	205°27'11"	14660,169	71,772
QRef — GPS12 (B1113)	QRef	GPS12	Fixed	0,009	0,014	205°51'02"	14444,660	59,995
QRef — GPS15 (B1115)	QRef	GPS15	Fixed	0,007	0,011	205°08'57"	13595,734	45,403
QRef — GPS13 (B1117)	QRef	GPS13	Fixed	0,012	0,027	209°22'33"	14362,425	48,428
QRef — GPS16 (B1119)	QRef	GPS16	Fixed	0,009	0,015	210°36'20"	14705,784	53,390
QRef — GPS17 (B1121)	QRef	GPS17	Fixed	0,015	0,028	209°50'37"	13121,948	39,010
QRef — GPS18 (B1123)	QRef	GPS18	Fixed	0,011	0,018	207°48'18"	12711,571	35,971
QRef — GPS23 (B1125)	QRef	GPS23	Fixed	0,007	0,017	208°58'39"	13837,145	44,053

QRef --- GPS20 (B1126)	QRef	GPS20	Fixed	0,008	0,012	205°08'22"	14053,134	46,635
QRef --- GPS24 (B1127)	QRef	GPS24	Fixed	0,008	0,012	206°16'05"	13368,589	41,984
QRef --- GPS22 (B1128)	QRef	GPS22	Fixed	0,006	0,016	210°10'44"	13600,443	42,778
QRef --- GPS21 (B1129)	QRef	GPS21	Fixed	0,008	0,014	207°36'42"	13945,823	44,012
QRef --- nord 1 (B1131)	QRef	nord 1	Fixed	0,008	0,018	209°28'39"	14837,134	53,979
QRef --- nord 2 (B1133)	QRef	nord 2	Fixed	0,007	0,013	209°39'31"	14690,165	53,086
QRef --- Q15-3 (B1135)	QRef	Q15-3	Fixed	0,021	0,037	206°25'44"	12947,413	38,268
QRef --- Rover20151123 (B1137)	QRef	Rover201511 23	Fixed	0,007	0,014	208°47'43"	13418,173	41,778
QRef --- Tempel2 (B1139)	QRef	Tempel2	Fixed	0,006	0,015	207°05'40"	16773,071	80,216

## 6 Anlage 6: CSRS Protokolle der Punkte mit großer Abweichung

Der volle Umfang der Protokolle in digitaler Form im Ordner „Anlage 6“.



CSRS-PPP (V 1.05 34613 )



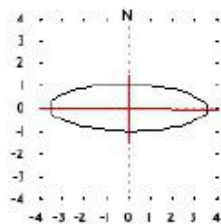
GCP22		
<b>Data Start</b>	<b>Data End</b>	<b>Duration of Observations</b>
2015-12-08 06:37:30.000	2015-12-08 07:05:45.000	0h 28m 15.00s
<b>Apri / Aposteriori Phase Std</b>		<b>Apri / Aposteriori Code Std</b>
0.015m / 0.006m		2.0m / 0.342m
<b>Observations</b>	<b>Frequency</b>	<b>Mode</b>
Phase and Code	L1 and L2	Static
<b>Elevation Cut-Off</b>	<b>Rejected Epochs</b>	<b>Observation &amp; Estimation Steps</b>
10.000 degrees	0.00 %	15.00 sec / 15.00 sec
<b>Antenna Model</b>	<b>APC to ARP</b>	<b>ARP to Marker</b>
LEIATX1230+GNSS	L1= 0.087 m L2= 0.085 m	0.160 m

(APC = antenna phase center; ARP = antenna reference point)

### Estimated Position for GCP23420.15o

	Latitude (+n)	Longitude (+e)	Ell. Height
ITRF08 (2015)	28° 46' 53.8702''	36° 00' 59.8253''	809.565 m
<b>Sigmas(95%)</b>	0.083 m	0.285 m	0.229 m
Apriori	28° 46' 53.905''	36° 00' 59.846''	808.709 m
Estimated - Apriori	-1.077 m	-0.566 m	0.856 m

**95% Error Ellipse (dm)**  
 semi-major: 3.566dm  
 semi-minor: 1.032dm  
 semi-major azimuth: 90° 50' 38.40''



UTM (North) Zone 37

3187445.654m (N) 208739.084m (E)

Scale Factors  
 1.00064704 (point)  
 1.00051990 (combined)

(Coordinates from RINEX file used as apriori position)



**CSRS-PPP (V 1.05 34613 )**



GPS03

<b>Data Start</b>	<b>Data End</b>	<b>Duration of Observations</b>
2015-11-21 09:08:30.000	2015-11-21 09:37:30.000	0h 29m 0.00s
<b>Apri / Aposteriori Phase Std</b>		<b>Apri / Aposteriori Code Std</b>
0.015m / 0.005m		2.0m / 0.262m
<b>Observations</b>	<b>Frequency</b>	<b>Mode</b>
Phase and Code	L1 and L2	Static
<b>Elevation Cut-Off</b>	<b>Rejected Epochs</b>	<b>Observation &amp; Estimation Steps</b>
10.000 degrees	0.00 %	15.00 sec / 15.00 sec
<b>Antenna Model</b>	<b>APC to ARP</b>	<b>ARP to Marker</b>
LEIATX1230+GNSS	L1= 0.087 m L2= 0.085 m	0.180 m

(APC = antenna phase center; ARP = antenna reference point)

**Estimated Position for GPS03252.15o**

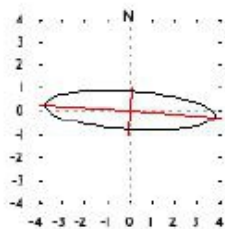
	<b>Latitude (+n)</b>	<b>Longitude (+e)</b>	<b>Ell. Height</b>
<b>ITRF08 (2015)</b>	28° 46' 53.4534''	36° 00' 29.7390''	864.625 m
<b>Sigmas(95%)</b>	0.068 m	0.300 m	0.315 m
<b>Apriori</b>	28° 46' 53.577''	36° 00' 29.827''	863.549 m
<b>Estimated - Apriori</b>	-3.808 m	-2.384 m	1.076 m

**95% Error Ellipse (dm)**  
 semi-major: 3.757dm  
 semi-minor: 0.822dm  
 semi-major azimuth: 93° 28' 47.91''

**UTM (North) Zone 37**

3187453.330m (N) 207922.456m (E)

**Scale Factors**  
 1.00065292 (point)  
 1.00051714 (combined)



(Coordinates from RINEX file used as apriori position)



**CSRS-PPP (V 1.05 34613 )**



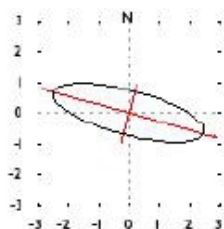
GCP21		
<b>Data Start</b>	<b>Data End</b>	<b>Duration of Observations</b>
2015-12-07 09:29:30.000	2015-12-07 10:00:45.000	0h 31m 15.00s
<b>Apri / Aposteriori Phase Std</b>		<b>Apri / Aposteriori Code Std</b>
0.015m / 0.005m		2.0m / 0.212m
<b>Observations</b>	<b>Frequency</b>	<b>Mode</b>
Phase and Code	L1 and L2	Static
<b>Elevation Cut-Off</b>	<b>Rejected Epochs</b>	<b>Observation &amp; Estimation Steps</b>
10.000 degrees	0.00 %	15.00 sec / 15.00 sec
<b>Antenna Model</b>	<b>APC to ARP</b>	<b>ARP to Marker</b>
LEIATX1230+GNSS	L1= 0.087 m L2= 0.085 m	0.180 m

(APC = antenna phase center; ARP = antenna reference point)

**Estimated Position for GCP23410.15o**

	<b>Latitude (+n)</b>	<b>Longitude (+e)</b>	<b>Ell. Height</b>
<b>ITRF08 (2015)</b>	28° 47' 45.6778''	36° 00' 59.3813''	794.654 m
<b>Sigmas(95%)</b>	0.076 m	0.201 m	0.217 m
<b>Apriori</b>	28° 47' 45.727''	36° 00' 59.381''	789.726 m
<b>Estimated - Apriori</b>	-1.500 m	-0.001 m	4.928 m

**95% Error Ellipse (dm)**  
 semi-major: 2.582dm  
 semi-minor: 0.724dm  
 semi-major azimuth: 104° 30' 44.17''



**UTM (North) Zone 37**

3189041.473m (N) 208767.085m (E)

**Scale Factors**  
 1.00064684 (point)  
 1.00052205 (combined)

(Coordinates from RINEX file used as apriori position)



**CSRS-PPP (V 1.05 34613 )**



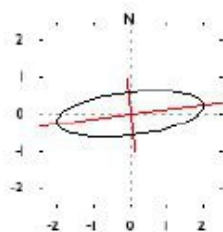
GPS16		
Data Start	Data End	Duration of Observations
2015-12-07 06:23:45.000	2015-12-07 06:57:30.000	0h 33m 45.00s
Apri / Aposteriori Phase Std	Apri / Aposteriori Code Std	
0.015m / 0.007m	2.0m / 0.297m	
Observations	Frequency	Mode
Phase and Code	L1 and L2	Static
Elevation Cut-Off	Rejected Epochs	Observation & Estimation Steps
10.000 degrees	0.00 %	15.00 sec / 15.00 sec
Antenna Model	APC to ARP	ARP to Marker
LEIATX1230+GNSS	L1= 0.087 m L2= 0.085 m	0.180 m

(APC = antenna phase center; ARP = antenna reference point)

**Estimated Position for GPS13410.150**

	Latitude (+n)	Longitude (+e)	Ell. Height
ITRF08 (2015)	28° 47' 05.3062''	36° 00' 28.5862''	808.233 m
Sigmas(95%)	0.049 m	0.162 m	0.157 m
Apriori	28° 47' 05.330''	36° 00' 28.584''	806.517 m
Estimated - Apriori	-0.746 m	0.057 m	1.716 m

**95% Error Ellipse (dm)**  
 semi-major: 2.039dm  
 semi-minor: 0.571dm  
 semi-major azimuth: 83° 25' 22.73''



**UTM (North) Zone 37**

3187819.149m (N) 207900.365m (E)

Scale Factors  
 1.00065308 (point)  
 1.00052615 (combined)

(Coordinates from RINEX file used as apriori position)



**CSRS-PPP (V 1.05 34613 )**



**GPS17**

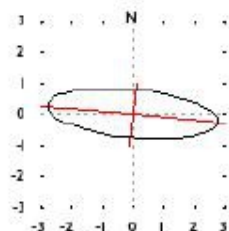
<b>Data Start</b>	<b>Data End</b>	<b>Duration of Observations</b>
2015-12-07 08:52:30.000	2015-12-07 09:22:15.000	0h 29m 45.00s
<b>Apri / Aposteriori Phase Std</b>		<b>Apri / Aposteriori Code Std</b>
0.015m / 0.005m		2.0m / 0.297m
<b>Observations</b>	<b>Frequency</b>	<b>Mode</b>
Phase and Code	L1 and L2	Static
<b>Elevation Cut-Off</b>	<b>Rejected Epochs</b>	<b>Observation &amp; Estimation Steps</b>
10.000 degrees	0.00 %	15.00 sec / 15.00 sec
<b>Antenna Model</b>	<b>APC to ARP</b>	<b>ARP to Marker</b>
LEIATX1230+GNSS	L1= 0.087 m L2= 0.085 m	0.160 m

(APC = antenna phase center; ARP = antenna reference point)

**Estimated Position for GPS13411.15o**

	<b>Latitude (+n)</b>	<b>Longitude (+e)</b>	<b>Ell. Height</b>
<b>ITRF08 (2015)</b>	28° 47' 46.7507''	36° 01' 03.8517''	793.816 m
<b>Sigmas(95%)</b>	0.065 m	0.223 m	0.219 m
<b>Apriori</b>	28° 47' 46.783''	36° 01' 03.849''	792.976 m
<b>Estimated - Apriori</b>	-1.002 m	0.069 m	0.840 m

**95% Error Ellipse (dm)**  
 semi-major: 2.797dm  
 semi-minor: 0.774dm  
 semi-major azimuth: 95° 13' 39.29''



**UTM (North) Zone 37**

3189071.471m (N) 208889.188m (E)

**Scale Factors**  
 1.00064596 (point)  
 1.00052130 (combined)

(Coordinates from RINEX file used as apriori position)





**CSRS-PPP (V 1.05 34613 )**



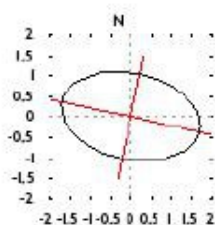
GPS18		
<b>Data Start</b>	<b>Data End</b>	<b>Duration of Observations</b>
2015-12-07 11:09:45.000	2015-12-07 11:34:45.000	0h 25m 0.00s
<b>Apri / Aposteriori Phase Std</b>		<b>Apri / Aposteriori Code Std</b>
0.015m / 0.008m		2.0m / 0.344m
<b>Observations</b>	<b>Frequency</b>	<b>Mode</b>
Phase and Code	L1 and L2	Static
<b>Elevation Cut-Off</b>	<b>Rejected Epochs</b>	<b>Observation &amp; Estimation Steps</b>
10.000 degrees	0.00 %	15.00 sec / 15.00 sec
<b>Antenna Model</b>	<b>APC to ARP</b>	<b>ARP to Marker</b>
LEIATX1230+GNSS	L1= 0.087 m L2= 0.085 m	0.180 m

(APC = antenna phase center; ARP = antenna reference point)

**Estimated Position for GPS13412.15o**

	<b>Latitude (+n)</b>	<b>Longitude (+e)</b>	<b>Ell. Height</b>
<b>ITRF08 (2015)</b>	28° 47' 51.2378''	36° 01' 25.9896''	790.959 m
<b>Sigmas(95%)</b>	0.086 m	0.138 m	0.447 m
<b>Apriori</b>	28° 47' 51.347''	36° 01' 25.986''	788.618 m
<b>Estimated - Apriori</b>	-3.371 m	0.096 m	2.341 m

**95% Error Ellipse (dm)**  
 semi-major: 1.740dm  
 semi-minor: 1.043dm  
 semi-major azimuth: 101° 13' 24.29''



**UTM (North) Zone 37**

3189194.604m (N) 209493.210m (E)

**Scale Factors**  
 1.00064162 (point)  
 1.00051741 (combined)

(Coordinates from RINEX file used as apriori position)



**CSRS-PPP (V 1.05 34613 )**



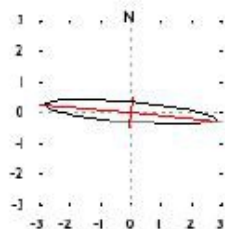
<b>Basis</b>		
<b>Data Start</b>	<b>Data End</b>	<b>Duration of Observations</b>
2015-12-07 07:14:30.000	2015-12-07 08:06:45.000	0h 52m 15.00s
<b>Apri / Aposteriori Phase Std</b>		<b>Apri / Aposteriori Code Std</b>
0.015m / 0.007m		2.0m / 0.361m
<b>Observations</b>	<b>Frequency</b>	<b>Mode</b>
Phase and Code	L1 and L2	Static
<b>Elevation Cut-Off</b>	<b>Rejected Epochs</b>	<b>Observation &amp; Estimation Steps</b>
10.000 degrees	0.00 %	15.00 sec / 15.00 sec
<b>Antenna Model</b>	<b>APC to ARP</b>	<b>ARP to Marker</b>
LEIATX1230+GNSS	L1= 0.087 m L2= 0.085 m	0.180 m

(APC = antenna phase center; ARP = antenna reference point)

**Estimated Position for Basi3410.15o**

	<b>Latitude (+n)</b>	<b>Longitude (+e)</b>	<b>Ell. Height</b>
<b>ITRF08 (2015)</b>	28° 47' 00.5347''	36° 00' 36.2998''	805.706 m
<b>Sigmas(95%)</b>	0.032 m	0.226 m	0.150 m
<b>Apriori</b>	28° 47' 00.569''	36° 00' 36.313''	803.781 m
<b>Estimated - Apriori</b>	-1.041 m	-0.348 m	1.926 m

**95% Error Ellipse (dm)**  
 semi-major: 2.827dm  
 semi-minor: 0.319dm  
 semi-major azimuth: 94° 41' 23.83''



**UTM (North) Zone 37**

3187666.935m (N) 208105.949m (E)

**Scale Factors**  
 1.00065160 (point)  
 1.00052507 (combined)

(Coordinates from RINEX file used as apriori position)



**CSRS-PPP (V 1.05 34613 )**



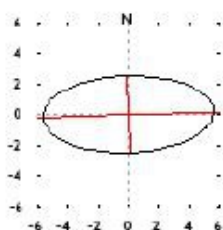
BASIS		
<b>Data Start</b>	<b>Data End</b>	<b>Duration of Observations</b>
2015-11-29 05:34:15.000	2015-11-29 06:38:15.000	1h 3m 60.00s
<b>Apri / Aposteriori Phase Std</b>		<b>Apri / Aposteriori Code Std</b>
0.015m / 0.008m		2.0m / 0.368m
<b>Observations</b>	<b>Frequency</b>	<b>Mode</b>
Phase and Code	L1 and L2	Static
<b>Elevation Cut-Off</b>	<b>Rejected Epochs</b>	<b>Observation &amp; Estimation Steps</b>
10.000 degrees	0.00 %	15.00 sec / 15.00 sec
<b>Antenna Model</b>	<b>APC to ARP</b>	<b>ARP to Marker</b>
LEIATX1230+GNSS	L1= 0.087 m L2= 0.085 m	0.180 m

(APC = antenna phase center; ARP = antenna reference point)

**Estimated Position for BASI3330.15o**

	Latitude (+n)	Longitude (+e)	Ell. Height
<b>ITRF08 (2015)</b>	28° 47' 00.5346''	36° 00' 36.3028''	805.824 m
<b>Sigmas(95%)</b>	0.020 m	0.045 m	0.098 m
<b>Apriori</b>	28° 47' 00.550''	36° 00' 36.308''	804.050 m
<b>Estimated - Apriori</b>	-0.468 m	-0.154 m	1.774 m

**95% Error Ellipse (cm)**  
 semi-major: 5.660cm  
 semi-minor: 2.491cm  
 semi-major azimuth: 87° 57' 6.19''



**UTM (North) Zone 37**

3187666.930m (N) 208106.031m (E)

**Scale Factors**  
 1.00065160 (point)  
 1.00052505 (combined)

(Coordinates from RINEX file used as apriori position)



**CSRS-PPP (V 1.05 34613 )**



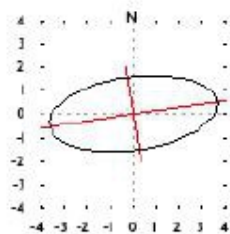
BASIS		
<b>Data Start</b>	<b>Data End</b>	<b>Duration of Observations</b>
2015-12-01 05:38:45.000	2015-12-01 07:06:45.000	1h 27m 60.00s
<b>Apri / Aposteriori Phase Std</b>		<b>Apri / Aposteriori Code Std</b>
0.015m / 0.007m		2.0m / 0.285m
<b>Observations</b>	<b>Frequency</b>	<b>Mode</b>
Phase and Code	L1 and L2	Static
<b>Elevation Cut-Off</b>	<b>Rejected Epochs</b>	<b>Observation &amp; Estimation Steps</b>
10.000 degrees	0.00 %	15.00 sec / 15.00 sec
<b>Antenna Model</b>	<b>APC to ARP</b>	<b>ARP to Marker</b>
LEIATX1230+GNSS	L1= 0.087 m L2= 0.085 m	0.180 m

(APC = antenna phase center; ARP = antenna reference point)

**Estimated Position for BASI3350.15o**

	Latitude (+n)	Longitude (+e)	Ell. Height
ITRF08 (2015)	28° 47' 00.5347''	36° 00' 36.3030''	805.813 m
Sigmas(95%)	0.013 m	0.029 m	0.057 m
Apriori	28° 47' 00.550''	36° 00' 36.308''	804.050 m
Estimated - Apriori	-0.464 m	-0.147 m	1.762 m

95% Error Ellipse (cm)  
 semi-major: 3.687cm  
 semi-minor: 1.559cm  
 semi-major azimuth: 82° 13' 46.04''



UTM (North) Zone 37

3187666.933m (N) 208106.036m (E)

Scale Factors  
 1.00065160 (point)  
 1.00052505 (combined)

(Coordinates from RINEX file used as apriori position)

## 7 Anlage 7: Koordinaten aus LGO und TBC mit deren Differenz

Punktliste

Kennung	Rechtswert (Meter)	Hochwert (Meter)	Orthometrische Höhe (Meter)	Objektcode
111	215701,389	3200298,751	737,285	
4971115_12281303	215673,754	3200298,567	725,645	
BASIS	208106,042	3187686,937	788,424	
FIX6	208100,323	3187536,942	792,575	
FIX7	208131,268	3187573,955	791,359	
GCP01	211894,270	3189545,221	753,960	
GCP02B	211135,115	3189097,144	760,180	
GCP02C	211339,076	3189016,239	757,372	
GCP02E	211130,068	3189095,681	760,361	
GCP9	207462,660	3185019,934	805,581	
GCP9a	207470,764	3185012,420	806,521	
GCP10	209022,957	3185481,711	816,478	
GCP12	209118,911	3185267,946	823,286	
GCP14	208988,630	3185272,832	821,497	
GCP21	208767,105	3189041,486	777,300	
GCP22	208739,078	3187445,655	792,217	
GCP111	208159,724	3187607,536	795,626	
GCP-Tempel 1	207658,996	3185457,010	817,447	
GPS01	208338,445	3187571,588	802,743	
GPS02	207924,909	3187480,360	847,046	
GPS03	207922,528	3187453,337	847,274	

1

GPS04	207733,679	3187559,429	850,684	
GPS05	207562,050	3187598,965	853,853	
GPS06	207504,439	3187628,408	851,824	
GPS07	208946,582	3188692,526	779,277	
GPS08	209820,409	3188742,176	791,852	
GPS09	209001,862	3189587,822	796,563	
GPS10	208439,003	3189161,129	789,691	
GPS11	209073,159	3187209,762	809,270	
GPS12	209081,285	3187447,758	797,495	
GPS13	208345,831	3187949,782	785,908	
GPS014	208056,913	3188539,537	790,014	
GPS15	209618,762	3188127,586	782,918	
GPS16	207900,387	3187819,143	790,856	
GPS17	208889,141	3189071,469	776,509	
GPS18	209493,203	3189194,674	773,485	
GPS20	209416,337	3187717,083	784,144	
GPS21	208931,617	3188093,775	781,509	
GPS22	208572,840	3188703,613	780,267	
GPS23	208697,661	3188352,403	781,545	
GPS24	209487,888	3188449,937	779,496	
nord 1	208080,106	3187555,188	791,450	
nord 2	208115,709	3187705,340	790,559	
Q15-3	209651,405	3188840,125	775,785	
QRef	215700,946	3200296,396	737,569	
RAMO Mizpe Ramon	93655,764	3392664,165	868,216	
Tempe2	207692,164	3185546,901	817,663	

Punkt Nr.	Epoche	Status	Ambiguit	GNSS Typ	Typ	Lungensart	Frequenz	Rechtswert	Hochwert	Ellip. Hh	Hoch	Rechts	Höhe
nord 1	11/17/2015 16:11:28	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	208080,105	3187555,148	808,835	0,001	0,001	0,002
nord 2	11/17/2015 16:48:28	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	208115,704	3187705,304	807,963	0,001	0,000	0,001
RX6	11/19/2015 07:17:43	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	208100,315	3187536,917	809,974	0,000	0,000	0,001
RX7	11/19/2015 07:55:13	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	208131,263	3187573,925	808,749	0,000	0,000	0,001
GP501	11/21/2015 07:47:43	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	208338,429	3187571,556	820,151	0,000	0,000	0,001
GP502	11/21/2015 10:35:13	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: GPS fixiert, L1+L2	L1+L2	207924,889	3187480,297	864,477	0,001	0,001	0,002
GP503	11/21/2015 11:08:13	ja	nein	GPS/GLONASS	Statisch	Float	iono frei (L	207921,833	3187453,304	864,268	0,010	0,035	0,021
GP504	11/21/2015 12:00:28	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	iono frei (L	207733,676	3187559,431	868,107	0,001	0,000	0,002
GP505	11/21/2015 13:06:28	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	iono frei (L	207562,045	3187598,971	871,264	0,000	0,000	0,001
GP506	11/21/2015 13:54:13	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	iono frei (L	207504,434	3187628,416	869,250	0,000	0,000	0,001
Rover2015112	11/23/2015 07:28:58	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	208946,574	3188692,509	796,637	0,000	0,000	0,001
GP508	11/23/2015 10:10:58	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	209820,392	3188742,148	809,236	0,001	0,001	0,002
GP509	11/23/2015 11:20:43	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	209001,842	3189587,889	813,954	0,001	0,001	0,002
GP510	11/23/2015 12:31:13	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	208438,985	3189161,084	807,066	0,001	0,001	0,002
GP511	11/24/2015 07:51:13	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	209073,160	3187209,752	826,650	0,000	0,000	0,001
GP512	11/24/2015 09:05:43	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	209081,292	3187447,730	814,823	0,001	0,001	0,003
GP504	11/25/2015 08:06:28	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	209056,909	3188539,514	807,414	0,000	0,000	0,001
GP515	11/25/2015 10:23:58	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	209618,753	3188127,530	800,283	0,001	0,001	0,002
GP513	11/25/2015 11:50:43	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	208345,846	3187949,713	803,263	0,001	0,001	0,003
BASIS	11/29/2015 07:33:58	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	208106,033	3187666,924	805,834	0,000	0,000	0,001
GCPO1	11/29/2015 11:11:13	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	211894,276	3189546,197	771,282	0,001	0,001	0,002
GCPO9	11/30/2015 10:06:13	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	iono frei (L	207462,656	3188019,929	823,007	0,001	0,001	0,001
GCPOa	11/30/2015 10:34:13	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	iono frei (L	207470,763	3188012,419	823,945	0,001	0,001	0,001
BASIS	12.01.2015 07:38	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	208106,038	3187666,928	805,826	0,000	0,000	0,001
GCPO-Tempel1	12.01.2015 11:06	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	iono frei (L	207658,992	3185457,008	834,867	0,001	0,000	0,001
Tempel2	12.01.2015 11:58	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	iono frei (L	207692,156	3185546,899	835,082	0,000	0,000	0,001
GCPI11	12.03.2015 09:21	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	208159,706	3187607,499	813,033	0,000	0,000	0,001
GCPI2	12.03.2015 10:52	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	iono frei (L	209118,908	3185267,931	840,666	0,000	0,000	0,001
GCPI4	12.03.2015 11:26	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	iono frei (L	208988,626	3185272,817	838,875	0,000	0,000	0,001
GCPI0	12.03.2015 12:03	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	iono frei (L	209022,956	3185481,704	833,855	0,000	0,000	0,001
GCPO2C	12.05.2015 10:25	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	211339,069	3189016,229	774,702	0,000	0,000	0,001
GCPO2B	12.05.2015 11:05	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	211135,119	3189097,113	777,500	0,001	0,001	0,002
GCPO2E	12.05.2015 11:34	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	211130,065	3189095,659	777,676	0,000	0,000	0,001
GPS16	12.07.2015 08:23	ja	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	207900,395	3187819,120	808,250	0,001	0,001	0,001

Basis	12.07.2015 09:14	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	208106,036	3187666,917	805,839	0,000	0,000	0,001
GPS17	12.07.2015 10:52	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	208889,147	3189071,431	793,859	0,000	0,000	0,001
GPS21	12.07.2015 11:29	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	208767,099	3189041,466	794,687	0,000	0,000	0,001
GPS18	12.07.2015 13:09	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	209493,192	3189194,632	790,858	0,001	0,001	0,002
GPS22	12.08.2015 08:37	nein	GPS/GLONASS	Statisch	Float	L1+L2	208738,673	3187445,578	809,573	0,009	0,030	0,015
GPS23	12.08.2015 11:16	nein	GPS/GLONASS	Statisch	Float	L1+L2	208697,611	3188352,289	798,904	0,009	0,027	0,014
Q15-3	12.08.2015 13:08	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: GPS fixiert	L1+L2	209651,383	3188840,040	793,150	0,002	0,001	0,003
GPS20	12.09.2015 08:48	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	209416,328	3187717,065	801,508	0,000	0,000	0,001
GPS24	12.10.2015 08:38	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	209487,884	3188449,921	796,856	0,000	0,000	0,001
GPS22	12.10.2015 11:20	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	208572,841	3188703,589	797,652	0,001	0,001	0,002
GPS21	12.10.2015 12:29	ja	GPS/GLONASS	Statisch	Phase: Alle fixiert	L1+L2	208931,602	3188093,748	798,878	0,000	0,000	0,001

Abweichung der Koordinaten			
Punkt Nr.	Rechtswert	Hochwert	Ellip. Höhe
nord 1	-0,001	-0,040	-0,001
nord 2	-0,005	-0,036	0,019
FIX6	-0,008	-0,025	0,013
FIX7	-0,005	-0,030	0,005
GPS01	-0,016	-0,032	0,029
GPS02	-0,020	-0,063	0,039
GPS03	-0,695	-0,033	-0,398
GPS04	-0,003	0,002	0,026
GPS05	-0,005	0,006	0,009
GPS06	-0,005	0,008	0,022
GPS07	-0,008	-0,017	0,002
GPS08	-0,017	-0,028	0,048
GPS09	-0,020	-0,033	0,036
GPS10	-0,018	-0,045	0,003
GPS11	0,001	-0,010	0,021
GPS12	0,007	-0,028	-0,030
GPS014	-0,004	-0,023	0,016
GPS15	-0,009	-0,056	0,023
GPS13	0,015	-0,069	-0,022
BASIS	-0,011	-0,018	0,023
GCP01	0,006	-0,024	0,035
GCP9	-0,004	-0,005	0,004
GCP9a	-0,001	-0,001	0,003
BASIS	-0,003	-0,007	0,027
GCP-Tempel1	-0,004	-0,002	0,008
Tempel2	-0,008	-0,002	0,009
GCP111	-0,018	-0,037	0,023
GCP12	-0,003	-0,015	0,013
GCP14	-0,004	-0,015	0,008
GCP10	-0,001	-0,007	0,008
GCP02C	-0,007	-0,010	0,031
GCP02B	0,004	-0,031	0,016
GCP02E	-0,003	-0,022	0,011
GPS16	0,008	-0,023	0,003
Basis	-0,006	-0,019	0,031
GPS17	0,006	-0,038	-0,009
GCP21	-0,006	-0,020	0,024
GPS18	-0,011	-0,042	0,030
GCP22	-0,405	-0,077	-0,011
GPS23	-0,050	-0,114	-0,007
Q15-3	-0,022	-0,085	0,025
GPS20	-0,009	-0,018	0,016
GPS24	-0,004	-0,016	0,015
GPS22	0,001	-0,024	0,016
GPS21	-0,015	-0,027	0,009



## 8 Anlage 8: Protokoll aus In Dubio pro Geo und CoordTrans



### Koordinatenlisten : Beide Listen

#### Seiteninhalt

22 Punkte: System 1, kartesisches Linkssystem

22 Punkte: System 2, kartesisches Linkssystem

Koordinatendifferenzen von 22 namenaglichen Punkten

Bearbeiten, filtern, sortieren und speichern Sie Koordinatenlisten für die spätere Verwendung in den Berechnungen.

#### 22 Punkte: System 1, kartesisches Linkssystem

PName	X	Y
A_NE	9999.000000000	10030.000000000
A_NW	9987.000000000	10030.000000000
A_SE	9999.000000000	10018.000000000
A_SW	9987.000000000	10018.000000000
B_MidW1	10001.000000000	9984.000000000
B_MidW2	10002.000000000	9984.000000000
B_NE	10012.000000000	9989.000000000
B_NW	10001.000000000	9989.000000000
B_SE	10012.000000000	9974.000000000
B_SW	10002.000000000	9974.000000000
Basis	10025.962832000	10111.682320000
C_NE	9972.000000000	9980.000000000
C_NW	9962.000000000	9980.000000000
C_SE	9972.000000000	9970.000000000
C_SW	9962.000000000	9970.000000000
D_NE	10112.000000000	10112.000000000
D_NW	10107.000000000	10112.000000000
D_SE	10112.000000000	10102.000000000
D_SW	10107.000000000	10102.000000000
FIX6	10020.193451000	9981.750349000
FIX7	10051.140207000	10018.751177000
GPS01	10258.210510000	10016.317154000

Diese Liste in [Liste 1 bearbeiten / filtern / speichern / ansehen](#)

#### 22 Punkte: System 2, kartesisches Linkssystem

PName	X	Y
A_NE	208079.09754000	3187585.20140000
A_NW	208067.09142000	3187585.19780000
A_SE	208079.10121000	3187573.19530000
A_SW	208067.09509000	3187573.19170000
B_MidW1	208081.11262000	3187539.17860000
B_MidW2	208082.11313000	3187539.17890000
B_NE	208092.11671000	3187544.18450000
B_NW	208081.11109000	3187544.18110000
B_SE	208092.12129000	3187529.17680000
B_SW	208082.11619000	3187529.17380000
Basis	208106.04917000	3187666.93370000

C\_NE 208052.09905000 3187535.16770000  
 C\_NW 208042.09395000 3187535.16460000  
 C\_SE 208052.10210000 3187525.16260000  
 C\_SW 208042.09700000 3187525.15950000  
 D\_NE 208192.13013000 3187667.27780000  
 D\_NW 208187.12758000 3187667.27630000  
 D\_SE 208192.13319000 3187657.27270000  
 D\_SW 208187.13064000 3187657.27120000  
 FIX6 208100.31655000 3187536.93370000  
 FIX7 208131.26779000 3187573.96280000  
 GPS01 208338.44449000 3187571.59080000

Diese Liste in [Liste 1 bearbeiten / filtern / speichern / ansehen](#) [laden](#) 

[Eingaben ändern](#) [mit Leinwand ansehen](#)

#### **Koordinatendifferenzen von 22 namensgleichen Punkten**

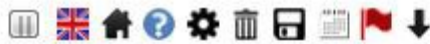
PName	X	Y
A_NE	198080.1	3.178e+6
A_NW	198080.1	3.178e+6
A_SE	198080.1	3.178e+6
A_SW	198080.1	3.178e+6
B_MidW1	198080.1	3.178e+6
B_MidW2	198080.1	3.178e+6
B_NE	198080.1	3.178e+6
B_NW	198080.1	3.178e+6
B_SE	198080.1	3.178e+6
B_SW	198080.1	3.178e+6
Basis	198080.1	3.178e+6
C_NE	198080.1	3.178e+6
C_NW	198080.1	3.178e+6
C_SE	198080.1	3.178e+6
C_SW	198080.1	3.178e+6
D_NE	198080.1	3.178e+6
D_NW	198080.1	3.178e+6
D_SE	198080.1	3.178e+6
D_SW	198080.1	3.178e+6
FIX6	198080.1	3.178e+6
FIX7	198080.1	3.178e+6
GPS01	198080.2	3.178e+6

Bei namensgleichen Punkten [Koordinatenmittelbildung](#) und

Beide Listen [zusammenführen](#)

Beide Listen in *Koordinatentransformationen über identische Punkte* [laden](#)





**Koordinatenlisten : Beide Listen**

**Seiteninhalt**

13 Punkte: System 1, kartesisches Linkssystem  
 13 Punkte: System 2, kartesisches Linkssystem  
 Koordinatendifferenzen von 13 namensgleichen Punkten

Bearbeiten, filtern, sortieren und speichern Sie Koordinatenlisten für die spätere Verwendung in den Berechnungen.

**13 Punkte: System 1, kartesisches Linkssystem**

PName	X	Y	Z
Basis	208106.0491700	3187666.9337000	788.4240000
FIX0	208080.1080500	3187555.1900000	791.4496029
FIX1	208080.1390600	3187748.7869000	787.7534402
FIX10	208115.7187400	3187705.3422000	790.5868292
FIX2	208080.0702800	3187654.7976000	788.6046213
FIX3	208041.6735700	3187649.4742000	789.0741247
FIX4	207978.5365800	3187604.3234000	798.9364537
FIX5	208026.3683600	3187550.0446000	794.4739936
FIX6	208100.3165500	3187536.9434000	792.5750000
FIX7	208131.2677900	3187573.9628000	791.3590000
FIX8	208207.0704400	3187601.5688000	795.0382474
FIX9	208147.2560700	3187598.0303000	788.8948172
GPS01	208338.4444900	3187571.5908000	802.7430000

Diese Liste in

**13 Punkte: System 2, kartesisches Linkssystem**

PName	X	Y	Z
Basis	10025.96150100	10111.67915800	796.94942976
FIX0	10000.00000000	10000.00000000	800.00000000
FIX1	10000.08900000	10193.49900000	796.26400000
FIX10	10035.63800000	10150.06600000	799.10200000
FIX2	9999.99200000	10099.55700000	797.13500000
FIX3	9961.61300000	10094.24800000	797.60900000
FIX4	9898.49500000	10049.14100000	807.48200000
FIX5	9946.28600000	9994.87400000	803.02900000
FIX6	10020.19296100	9981.75668700	801.12687439
FIX7	10051.13971700	10018.74797500	799.90062226
FIX8	10126.91300000	10046.31800000	803.56500000
FIX9	10067.12700000	10042.79800000	797.43100000
GPS01	10258.21282000	10016.31718000	811.26007359

Diese Liste in

**🚩 ↑ Koordinatendifferenzen von 13 namensgleichen Punkten**

PName	X	Y	Z
-------	---	---	---

Basis -198080.1 -3.178e+6 8.525430  
FIX0 -198080.1 -3.178e+6 8.550397  
FIX1 -198080.1 -3.178e+6 8.510560  
FIX10 -198080.1 -3.178e+6 8.515171  
FIX2 -198080.1 -3.178e+6 8.530379  
FIX3 -198080.1 -3.178e+6 8.534875  
FIX4 -198080.0 -3.178e+6 8.545546  
FIX5 -198080.1 -3.178e+6 8.555006  
FIX6 -198080.1 -3.178e+6 8.551874  
FIX7 -198080.1 -3.178e+6 8.541622  
FIX8 -198080.2 -3.178e+6 8.526753  
FIX9 -198080.1 -3.178e+6 8.536183  
GPS01 -198080.2 -3.178e+6 8.517074

Bei namensgleichen Punkten [Koordinatenmittelbildung](#) und

Beide Listen [zusammenführen](#)

Beide Listen in *Koordinatentransformationen über identische Punkte* [laden](#)



## CoordTrans - Report

freie Ausgleichungssoftware zur Schätzung von 1D, 2D und 3D Transformationsparametern

### Allgemeines

CoordTrans	:	v2.2.20160131
Transformationstyp	:	2D-Transformation
Bearbeitungsdatum	:	11.05.2016 - 23:58:31
Ausgleichungsmodus	:	Methode der kleinsten Quadrate (Gauß-Helmert-Modell)
Restklaffenverteilung	:	keine Verteilung der Restklaffen
Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha$ [%]	:	0.1
Macht des Tests $\beta$ [%]	:	80.0
Quadratsumme der Verbesserungen $\Omega$	:	0.000475146993
Freiheitsgrad $f = n - u + d = \text{spur}(R)$	:	4
$\sigma^2_{\text{a-priori}} : \sigma^2_{\text{a-posteriori}}$	:	1 : 0.000
Globaltest $T_{\text{Global}} \leq F_{t, n-1, \alpha}   H_0$	:	$H_0$ nicht verworfen, da $0.000 \leq 3.909$ ( $\alpha_G = 0.4\%$ )
Punkttestgröße $K_{\text{prio}} (F_{2, n-1, \alpha})$	:	6.908 ( $\alpha_{\text{prio}} = 0.1\%$ )
Punkttestgröße $K_{\text{post}} (F_{2, f-2, 1-\alpha})$	:	5.781 ( $\alpha_{\text{post}} = 14.7\%$ )

### Transformationsparameter – 2D-Transformation

Name	Wert	$\sigma_{\text{par}}$	Signifikant
Tx	198078.061414011	1.000519073	✓
Ty	3177547.027736703	1.000519073	✓
a11	1.000510228	0.000070320	✓
a12	0.000305645	0.000070320	✓
a21	0.000305645	0.000070320	✓
a22	1.000510228	0.000070320	✓
Mx	1.000510272	0.000070320	✓
My	1.000510272	0.000070320	✓
Rz	0.000305489	0.000070284	✓
Sz	0.000000000	0.000000000	✗

### Schätzung der Varianzanteile der Systeme

System	$r_G$	$\Omega_G$	$1 : \sigma^2_G$	$K_G (F_{r_G, n-1, \alpha_G})$	$T_G \leq K_G   H_0$
Startsystem	2.0010	0.0002	0.0001	6.9047	✓
Zielsystem	1.9990	0.0002	0.0001	6.9108	✓

### Startsystem

Pkt.nr.	$X_0$	$Y_0$	X	Y	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$r_x$	$r_y$
FIX6	10020.187000	9981.742000	10020.193451	9981.750349	0.009121	0.009121	0.299688	0.2996
FIX7	10051.140000	10018.759000	10051.140207	10018.751177	0.008729	0.008729	0.358510	0.3585
Basis	10025.970000	10111.680000	10025.982832	10111.682320	0.009324	0.009324	0.268130	0.2681
GPS01	10258.210000	10016.320000	10258.210510	10016.317154	0.010487	0.010487	0.074182	0.0741

### Zielsystem

Pkt.nr.	$X_0$	$Y_0$	X	Y	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$r_x$
FIX6	208100.323000	3187536.942000	208100.316554	3187536.933654	0.009123	0.009123	0.299383
FIX7	208131.268000	3187573.955000	208131.267791	3187573.962819	0.008732	0.008732	0.358144
Basis	208108.042000	3187666.936000	208108.049165	3187666.933683	0.009326	0.009326	0.267856
GPS01	208338.445000	3187571.588000	208338.444490	3187571.590844	0.010487	0.010487	0.074108

### Transformierte Punkte

Pkt.nr.	$X_s$	$Y_s$	$X_T$	$Y_T$	$\sigma_x$	$\sigma_y$
FIX6	10020.187000	9981.742000	208100.310102	3187536.925298	0.014636	0.014636
FIX7	10051.140000	10018.759000	208131.267581	3187573.970646	0.013648	0.013648
Basis	10025.970000	10111.680000	208108.056338	3187666.931364	0.015139	0.015139
GPS01	10258.210000	10016.320000	208338.443979	3187571.593692	0.017926	0.017926
A_NE	9999.000000	10030.000000	208079.097542	3187585.201445	0.014775	0.014775
A_NW	9987.000000	10030.000000	208067.091419	3187585.197778	0.015155	0.015155
A_SW	9987.000000	10018.000000	208067.095087	3187573.191655	0.015187	0.015187
A_SE	9999.000000	10018.000000	208079.101210	3187573.195323	0.014807	0.014807
B_NE	10012.000000	9989.000000	208092.116707	3187544.184499	0.014723	0.014723
B_NW	10001.000000	9989.000000	208081.111094	3187544.181137	0.015024	0.015024
B_MidW1	10001.000000	9984.000000	208081.112622	3187539.178586	0.015099	0.015099
B_MidW2	10002.000000	9984.000000	208082.113132	3187539.178892	0.015070	0.015070
B_SW	10002.000000	9974.000000	208082.116189	3187529.173790	0.015243	0.015243
B_SE	10012.000000	9974.000000	208092.121291	3187529.176846	0.014975	0.014975
C_NE	9972.000000	9980.000000	208052.099048	3187535.167682	0.016103	0.016103
C_NW	9962.000000	9980.000000	208042.093946	3187535.164625	0.016473	0.016473
C_SW	9962.000000	9970.000000	208042.097002	3187525.159523	0.016644	0.016644
C_SE	9972.000000	9970.000000	208052.102105	3187525.162579	0.016278	0.016278
D_NE	10112.000000	10112.000000	208192.130135	3187667.277822	0.014578	0.014578
D_NW	10107.000000	10112.000000	208187.127584	3187667.276293	0.014543	0.014543
D_SW	10107.000000	10102.000000	208187.130640	3187657.271191	0.014286	0.014286
D_SE	10112.000000	10102.000000	208192.133191	3187657.272719	0.014322	0.014322

### Kovarianzmatrix

#	Tx	Ty	a11	a12	a21	a22	Mx	My
Tx	+1.0010e+00	+0.0000e+00	-4.9888e-05	+4.9607e-05	+4.9607e-05	-4.9888e-05	-4.9873e-05	-4.9873

#	Tx	Ty	a11	a12	a21	a22	Mx	My
Ty	+0.0000e+00	+1.0010e+00	-4.9607e-05	-4.9888e-05	-4.9888e-05	-4.9607e-05	-4.9622e-05	-4.9622e-05
a11	-4.9888e-05	-4.9607e-05	+4.9448e-09	-1.6665e-25	-1.1152e-25	+4.9448e-09	+4.9448e-09	+4.9448e-09
a12	+4.9607e-05	-4.9888e-05	-1.6665e-25	+4.9448e-09	+4.9448e-09	+4.0247e-25	+1.5106e-12	+1.5106e-12
a21	+4.9607e-05	-4.9888e-05	-1.1152e-25	+4.9448e-09	+4.9448e-09	+5.0308e-25	+1.5106e-12	+1.5106e-12
a22	-4.9888e-05	-4.9607e-05	+4.9448e-09	+4.0247e-25	+5.0308e-25	+4.9448e-09	+4.9448e-09	+4.9448e-09
Mx	-4.9873e-05	-4.9622e-05	+4.9448e-09	+1.5106e-12	+1.5106e-12	+4.9448e-09	+4.9448e-09	+4.9448e-09
My	-4.9873e-05	-4.9622e-05	+4.9448e-09	+1.5106e-12	+1.5106e-12	+4.9448e-09	+4.9448e-09	+4.9448e-09
Rz	+4.9697e-05	-4.9847e-05	-1.5098e-12	+4.9423e-09	+4.9423e-09	-1.5098e-12	-1.1148e-25	+5.0265e-25
Sz	-5.4680e-21	+1.5750e-21	+5.5132e-26	-8.2706e-25	+1.5361e-28	+1.0178e-25	+5.4830e-26	+1.0158e-26

### Rotationsmatrix

+9.9999995333820270e-01	-3.0548910381219190e-04
+3.0548910381219190e-04	+9.9999995333820270e-01

### Transformationsmatrix

+1.0005102257568506e+00	-3.0564498648333850e-04	+1.9807806141401088e+05
+3.0564498648333850e-04	+1.0005102257568506e+00	+3.1775470277367034e+06
+0.0000000000000000e+00	+0.0000000000000000e+00	+1.0000000000000000e+00

## CoordTrans - Report

freie Ausgleichungssoftware zur Schätzung von 1D, 2D und 3D Transformationsparametern

### Allgemeines

CoordTrans	:	v2.2.20160131
Transformationstyp	:	3D-Transformation
Bearbeitungsdatum	:	12.05.2016 - 00:07:08
Ausgleichsmodus	:	Methode der kleinsten Quadrate (Gauß-Helmert-Modell)
Restklaffenverteilung	:	keine Verteilung der Restklaffen
Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha$ [%]	:	0.1
Macht des Tests $\beta$ [%]	:	80.0
Quadratsumme der Verbesserungen $\Omega$	:	0.000000000000
Freiheitsgrad $f = n - u + d = \text{spur}(R)$	:	5
$\sigma^2_{\text{a-priori}} : \sigma^2_{\text{a-posteriori}}$	:	1 : 1.000
Globaltest $T_{\text{Global}} \leq F_{t, \infty, 1-\alpha}   H_0$	:	$H_0$ nicht verworfen, da $1.000 \leq 3.619$ ( $\alpha'_G = 0.3\%$ )
Punkttestgröße $K_{\text{prio}} (F_{3, \infty, 1-\alpha})$	:	5.422 ( $\alpha_{\text{prio}} = 0.1\%$ )
Punkttestgröße $K_{\text{post}} (F_{3, f, 1-\alpha})$	:	4.461 ( $\alpha_{\text{post}} = 18.9\%$ )

### Transformationsparameter – 3D-Transformation

Name	Wert	$\sigma_{\text{Par}}$	Signifikant
Tx	198078.181737646	92.288948940	✓
Ty	3177547.326432389	91.912761915	✓
Tz	-12.042572589	179.660063751	X
q0	-0.999999982	0.000001026	X
q1	-0.000107713	0.007466849	X
q2	0.000046733	0.003656833	X
q3	-0.000150801	0.003240570	X
a11	1.000501924	0.008444167	X
a12	0.000000000	0.000000000	X
a13	0.000000000	0.000000000	X
a22	1.000501924	0.008444167	X
a23	0.000000000	0.000000000	X
a33	1.000501924	0.008444167	X
Mx	1.000501924	0.008444167	X
My	1.000501924	0.008444167	X
Mz	1.000501924	0.008444167	X
Rx	6.282969886	0.014931944	X
Ry	0.000093433	0.007311204	X
Rz	6.282883695	0.008481232	X
Sx	0.000000000	0.000000000	X



Name	Wert	$\sigma_{\text{Par}}$	Signifikant
Sy	3.141592654	0.000000000	X

### Kovarianzmatrix

#	Tx	Ty	Tz	q0	q1	q2	q3	a
Tx	+8.5169e+03	+2.7376e+01	-1.3845e+03	+3.9356e-05	-5.6899e-02	+2.8697e-02	-2.1145e-01	-4.1
Ty	+2.7376e+01	+8.4480e+03	-5.2222e+02	-2.6861e-05	-4.1300e-02	+1.4333e-03	+2.0806e-01	-4.1
Tz	-1.3845e+03	-5.2222e+02	+3.2278e+04	-1.5817e-04	+1.2271e+00	-3.7721e-01	+5.5472e-02	-3.3
q0	+3.9356e-05	-2.6861e-05	-1.5817e-04	+1.0517e-12	-6.6162e-09	+1.2549e-09	-1.8591e-09	-5.0
q1	-5.6899e-02	-4.1300e-02	+1.2271e+00	-6.6162e-09	+5.5739e-05	-5.3514e-06	+2.4027e-06	+2.4
q2	+2.8697e-02	+1.4333e-03	-3.7721e-01	+1.2549e-09	-5.3514e-06	+1.3365e-05	-3.5767e-07	-3.4
q3	-2.1145e-01	+2.0806e-01	+5.5472e-02	-1.8591e-09	+2.4027e-06	-3.5767e-07	+1.0501e-05	+5.0
a11	-4.1883e-01	-4.1673e-01	-3.3447e-02	-5.0822e-21	+2.4453e-21	-3.4139e-21	+5.0822e-21	+4.1
a12	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0
a13	+1.0208e-16	+5.3921e-18	-2.7319e-15	+4.4585e-24	-1.9012e-20	+4.7482e-20	-1.2707e-21	+1.6
a22	-4.1883e-01	-4.1673e-01	-3.3447e-02	+6.7763e-21	-5.5090e-22	-1.4997e-21	+0.0000e+00	+4.1
a23	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0
a33	-4.1883e-01	-4.1673e-01	-3.3447e-02	-5.0822e-21	+2.4453e-21	-3.4139e-21	+5.0822e-21	+4.1
Mx	-4.1883e-01	-4.1673e-01	-3.3447e-02	-5.0822e-21	+2.4453e-21	-3.4139e-21	+5.0822e-21	+4.1
My	-4.1883e-01	-4.1673e-01	-3.3447e-02	+6.7763e-21	-5.5090e-22	-1.4997e-21	+0.0000e+00	+4.1
Mz	-4.1883e-01	-4.1673e-01	-3.3447e-02	-5.0822e-21	+2.4453e-21	-3.4139e-21	+5.0822e-21	+4.1
Rx	-1.1383e-01	-8.2581e-02	+2.4543e+00	-1.3233e-08	+1.1148e-04	-1.0707e-05	+4.8065e-06	+4.8
Ry	+5.7331e-02	+2.8991e-03	-7.5404e-01	+2.5075e-09	-1.0686e-05	+2.6729e-05	-7.1236e-07	-6.8
Rz	-4.2290e-01	+4.1612e-01	+1.1114e-01	-3.7191e-09	+4.8118e-06	-7.1872e-07	+2.1003e-05	+1.0
Sx	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0
Sy	-1.0203e-16	-5.3894e-18	+2.7305e-15	-4.4562e-24	+1.9003e-20	-4.7469e-20	+1.2701e-21	+5.8
Sz	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0000e+00	+0.0

### Rotationsmatrix

+9.9999995015003140e-01	-3.0161256599478016e-04	-9.3433371314142640e-05
+3.0159243096364297e-04	+9.9999993131365770e-01	-2.1544067781510958e-04
+9.3498344512201570e-05	+2.1541248827781080e-04	+9.9999997242775950e-01

### Transformationsmatrix

+1.0005018741066143e+00	-3.0176395257480600e-04	-9.3480267763887300e-05	+1.9807818173784697e+05
+3.0174380743741380e-04	+1.0005018552607860e+00	-2.1554881265791796e-04	+3.1775473264323890e+06
+9.3545273573552500e-05	+2.1552060897161437e-04	+1.0005018963955241e+00	-1.2042572599404934e+01
+0.0000000000000000e+00	+0.0000000000000000e+00	+0.0000000000000000e+00	+1.0000000000000000e+00

## 9 Anlage 9: Ausgegliche Koordinaten

<b>Ausgegliche Koordinaten</b>			
<b>Punktname</b>	<b>E [m]</b>	<b>N [m]</b>	<b>orthmetr. Höhe [m]</b>
FIX6	208100,31655	3187536,94337	792,575
FIX7	208131,26779	3187573,96282	791,359
Basis	208106,04917	3187666,93368	788,424
GPS01	208338,44449	3187571,59084	802,743
<b>Koordinaten aus Messung</b>			
FIX6	208100,315	3187536,917	792,575
FIX7	208131,263	3187573,925	791,359
Basis	208106,042	3187666,938	788,424
GPS01	208338,429	3187571,556	802,743
<b>Differenz</b>			
FIX6	0,0015	0,0264	0,0000
FIX7	0,0048	0,0378	0,0000
Basis	0,0072	-0,0043	0,0000
GPS01	0,0155	0,0348	0,0000

## Eidesstattliche Erklärung

Erklärung über die eigenständige Erstellung der Arbeit

Hiermit erkläre ich, dass ich die die vorgelegte Arbeit mit dem Titel

**Auswertung eines GPS – Festpunktfeldes als Grundlage für archäologische Ausgrabung in Qurayyah, Saudi Arabien**

selbständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie alle wörtlich oder sinngemäß übernommenen Stellen in der Arbeit als solche und durch Angabe der Quelle gekennzeichnet habe.

Dies gilt auch für Zeichnungen, Skizzen, bildliche Darstellungen sowie für Quellen aus dem Internet.

Mir ist bewusst, dass die Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden Prüfungsarbeiten stichprobenartig mittels der Verwendung von Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift Student