



## **JAHRESBERICHT 2013**

**Verein „Freunde des Studiengangs Geodäsie und  
Geoinformatik der Universität Stuttgart e.V. (F2GeoS)“**

**[www.f2geos.de](http://www.f2geos.de)**

Herausgeber: Verein „Freunde des Studiengangs Geodäsie und Geoinformatik der  
Universität Stuttgart e.V. (F2GeoS)“  
p.A. Dipl.-Ing. Hansjörg Schönherr, Büchsenstr. 54  
70174 Stuttgart

Bankverbindung: Landesbank Baden-Württemberg Stuttgart  
Kto. 2 088 549      BLZ 600 501 01

Layout: Sabine Feirabend

## Vorwort

Liebe Freundinnen und Freunde des F2GeoS,  
sehr geehrte Damen und Herren,

man muss es mittlerweile mehr oder weniger allen Verantwortlichen aufs Höchste anrechnen, dass sie nicht nur begriffen haben, wie wichtig Ausbildung ist, sondern entscheidende Maßnahmen unternehmen, um das Niveau und die Art und Weise der Ausbildung deutlich zu heben und zu verbessern. Wie selbstverständlich haben sich sogenannte Ausbildungspools gebildet, in denen jeweils mehrere Ausbildungsstellen aktiv zusammenarbeiten und die Ausbildung der ihnen anvertrauten Auszubildenden gemeinsam schultern. Keineswegs außergewöhnlich ist es deshalb, wenn ein Auszubildender eines Vermessungsamts eines Landratsamts in einem Teilabschnitt seiner Ausbildung auch im ÖbV-Büro tätig wird und umgekehrt. Großartig! Dass die Anzahl der Ausbildungs- und Studierwilligen insgesamt selbst einem niedrig angesetzten zukünftigen Bedarf nicht genügt, lässt sich andererseits auch nicht von der Hand weisen. Um diesen Trend umzukehren, bedarf es offensichtlich eines langen Atems und eines fortwährenden und beharrlichen Werbens.

Allen Freundinnen und Freunden, die mit der Führung des Liegenschaftskatasters und der Durchführung von Liegenschaftskatastervermessungen zu tun haben, wurde in den vergangenen Monaten einiges zugemutet, nämlich die Migration vom Automatisierten Liegenschaftsbuch und der Automatisierten Liegenschaftskarte in das Amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS). Mit dem Ende der Migration ist der erste und entscheidende Schritt getan. Bis ALKIS zur Zufriedenheit aller läuft, braucht es wohl auch noch eines längeren Atems.

Satzungsgemäß sind bei der diesjährigen Mitgliederversammlung auch wieder Wahlen der Vorstandsmitglieder und der Kassenprüfer. Dies sollte zusätzlicher Anreiz sein, dass noch mehr Freundinnen und Freunde als gewöhnlich die Mitgliederversammlung besuchen, zumal die diesjährigen Wahlen gewiss kein routinemäßiger Vorgang sind: Unser Schatzmeister und einer der Beisitzer, beides Freunde der ersten Stunde, haben auf der Vorstandssitzung am 21. März 2013 erklärt, nicht mehr zu kandidieren. Dass dies zu bedauern ist, versteht sich von selbst. Gleichwohl überwiegt bei weitem der Dank für alles, was Walter Köpf und Roland Mayer-Föll für den Verein F2GeoS geleistet haben.

Auch ich werde nicht mehr kandidieren. Ich bedanke mich bei Ihnen allen für die vielen angenehmen Stunden, die ich im Kreise der F2GeoS-Freundinnen und -Freunde verbringen durfte. Gerade die zahlreichen persönlichen Begegnungen werden mir sicherlich fehlen. Aber alles hat seine Zeit. Und mir liegt einfach sehr viel daran, die Funktion des Vorsitzenden noch während meiner aktiven Dienstzeit in jüngeren Händen zu wissen.

So gesehen bin ich mir sicher: Das Leben bleibt interessant und spannend. Besser so, als anders!

Mit herzlichen Grüßen und nur guten Wünschen

A handwritten signature in black ink, reading "Klaus Jörg Altmann". The signature is written in a cursive style with some capital letters.

Vorsitzender

# Inhaltsverzeichnis

## Administratives

Vorwort.....	III
Einladung.....	1
Protokoll der Mitgliederversammlung 2012.....	2
Geschäftsbericht 2013.....	6
Kassenbericht 2012.....	7
Satzung.....	8

## Neues aus Forschung und Lehre

Integriertes Praktikum 2012: Planung und Messung einer Wasserleitung.....	12
Erfahrungsbericht des Auslandsstudiums an der University of Calgary von Janina Friedrich.....	102
Kurzbericht über die im Jahr 2012 mit dem Preis des Vereins F2GeoS ausgezeichnete Diplomarbeit von Thomas Friederichs.....	114

## Anhang

Adressliste des Vorstandes.....	127
Adressliste der Rechnungsprüfer und des Geschäftsführers.....	129
Liste der Mitglieder.....	130
Beitrittserklärung.....	134



## Einladung

Liebe Freundinnen und Freunde des F2GeoS,  
sehr geehrte Damen und Herren,

ich lade Sie sehr herzlich zur **19. Mitgliederversammlung** unseres Vereins der Freunde des Studiengangs Geodäsie und Geoinformatik der Universität Stuttgart e.V. ein.

Diese findet statt

**am Freitag, dem 12. Juli 2013  
ab 14:00 Uhr  
in Stuttgart  
in der Geschwister-Scholl-Str. 24/D  
im Raum M24.01.**

### Tagesordnung

1. Begrüßung
2. Genehmigung der Tagesordnung
3. Genehmigung des Protokolls der 18. Mitgliederversammlung vom 13. Juli 2012
4. Verleihung des Diplom-Preises
5. Bericht des Vorsitzenden
6. Bericht des Schatzmeisters (Kassenbericht 2012)
7. Bericht der Rechnungsprüfer
8. Aussprache über die Berichte
9. Entlastung des Vorstands
10. Beschluss über den Haushaltsplan 2013
11. Neuwahlen (Vorsitzender, stellvertr. Vorsitzender, Schatzmeister, Schriftführer, Beisitzer (mind. 3, höchstens 6) und zwei Kassenprüfer)
12. Anträge (Bitte **bis spätestens 5. Juli 2013** schriftlich beim Vorsitzenden einreichen)
13. Bericht des diesjährigen Diplom-Preisträgers
14. Verschiedenes

Im Anschluss an die Mitgliederversammlung stellt uns Herr Prof. Dr.-Ing. Fritsch sein Institut für Photogrammetrie vor.

Ab ca. 16:30 Uhr werden fachliche Gespräche verbunden mit einem kleinen Imbiss und Getränken unsere Mitgliederversammlung ausklingen lassen.

Wegen der zu treffenden Vorbereitungen bitte ich Sie, sich entsprechend beiliegendem Antwortschreiben bis spätestens 8. Juli 2013 anzumelden.

Mit freundlichen Grüßen



Vorsitzender

# **Protokoll der Mitgliederversammlung 2012**

Datum: 13.07.2011

Ort: Raum M24.01., Geschwister-Scholl-Str. 24 D in Stuttgart

Anwesend: rund 40 Mitglieder

## **TOP 1: Begrüßung**

Um 14<sup>00</sup> Uhr eröffnet der Vorsitzende Hansjörg Schönherr die 18. Mitgliederversammlung und begrüßt die Anwesenden. Er stellt fest, dass die Einladung satzungsgemäß erfolgt ist. Der Postversand erfolgte am 30.05.2012.

Besonders willkommen heißt der Vorsitzende Herrn Prof. Dr.-Ing. Nico Sneeuw. Er dankt ihm für die Bereitschaft, das Geodätische Institut und dessen Arbeit im Anschluss an diese Versammlung vorzustellen sowie für die Bewirtung beim nachfolgenden Ausklang. Ebenfalls besonders willkommen heißt der Vorsitzende Prof. Dr.-Ing. Friedrich Ackermann.

Entschuldigt fehlen die Vorstandsmitglieder Mayer-Föll und Jäger.

## **TOP 2: Genehmigung der Tagesordnung**

Auf Frage des Vorsitzenden wird die Tagesordnung ohne Gegenstimmen bei einer Enthaltung genehmigt.

## **TOP 3: Genehmigung des Protokolls der 17. Mitgliederversammlung vom 15.07.2011**

Das Protokoll ist im Jahresbericht 2012 abgedruckt, der den Mitgliedern zugestellt wurde.

Das Protokoll wird von den Anwesenden einstimmig genehmigt.

## **TOP 4: Verleihung des Vordiplomprieses 2012**

Der Vorsitzende berichtet, dass der Verein mangels geeigneter Kandidaten dieses Jahr keinen Vordiplompriess verliehen hat. Diese Entscheidung wurde vom Vorstand in der letzten Vorstandssitzung beschlossen.

## **TOP 5: Bericht des Vorsitzenden**

Zum Mitgliederstand berichtet der Vorsitzende, dass derzeit

- 128 natürliche Personen und
- 5 juristische Personen

Mitglieder des Vereins sind.

Die Firma Trimble hat zum 31.12.2012 ihre Mitgliedschaft gekündigt.

Der Vorsitzende teilt weiterhin mit, dass von mehreren Mitgliedern keine aktuellen Adressen vorliegen und die versandten Unterlagen regelmäßig zurückkommen. Trotzdem ist es teilweise möglich, die Mitgliedsbeiträge einzuziehen.

Herr Schönherr betont, wie wichtig die Mitgliederwerbung ist und appelliert an alle, gezielt Kolleginnen und Kollegen sowie Bekannte anzusprechen, die in Stuttgart Geodäsie studiert haben und noch kein Mitglied im Verein F2GeoS sind.

Anschließend gibt der Vorsitzende einen kurzen Bericht zu den beiden letzten Vorstandssitzungen vom 27.10.2011 und 22.03.2012:

Das letzte Jahr war ein Geschäftsjahr ohne besondere herausragende Ereignisse; auch die Förderungen fielen dieses Jahr eher bescheiden aus, da wenige Anträge gestellt wurden. Die in der letzten Mitgliederversammlung beschlossene Satzungsänderung ist nun formal abgeschlossen und im Vereinsregister eingetragen. Der Vorstand hat nach eingehender Diskussion beschlossen, zwei Mitglieder nach §5 Abs. 2 der Satzung aus dem Verein auszuschließen; von diesen wurden seit 2009 bzw. 2010 keine Beiträge mehr bezahlt und sind auch Anschriften oder Aufenthaltsorte unbekannt. Neben dem allgemeinen Dank an die Vorstandskolleginnen und -kollegen für die gute Zusammenarbeit richtet der Vorsitzende einen besonderen Dank an Herrn Prof. Keller für die Geschäftsführung des Vereins, an Frau Feirabend für die Erstellung des Jahresberichts und an die Herren Waldbauer und Kohler für Ihre Arbeit als Rechnungsprüfer.

#### **TOP 6: Bericht des Schatzmeisters (Kassenbericht 2010)**

Herr Köpf weist auf den im Jahresbericht 2012 abgedruckten Kassenbericht 2011 hin und trägt die wesentlichen Positionen vor:

Gesamteinnahmen von 9.430,- € stehen Gesamtausgaben von 6.727,52 € gegenüber. Der Kassenstand am 31.12.2011 betrug somit 5.085,72 €.

Des Weiteren gibt Herr Köpf nachrichtlich bekannt, dass sich das Sparguthaben des Vereins mit Stand 31.12.2011 auf 33.396,91 € belief.

#### **TOP 7: Bericht der Rechnungsprüfer**

Herr Waldbauer berichtet, dass am 13.06.2012 im Büro von Herrn Köpf die Kasse durch die Rechnungsprüfer eingehend geprüft wurde und keine Beanstandungen gefunden wurden.

Die Rechnungsprüfer empfehlen daher vorbehaltlos die Entlastung des Schatzmeisters.

#### **TOP 8: Aussprache über die Berichte**

Es erfolgt keine Wortmeldung.

#### **TOP 9: Entlastung des Vorstands**

Herr Prof. Dr.-Ing. Ackermann hat sich bereit erklärt, diese Aufgabe zu übernehmen. Er weist mit wenigen Worten auf die gute Arbeit des Vorstands hin und schlägt vor, den Vorstand und die Rechnungsprüfer enbloc zu entlasten. Die Mitglieder stimmen diesem Vorschlag zu.

Die Entlastung erfolgt ohne Gegenstimmen bei Enthaltung der Betroffenen.

#### **TOP 10: Beschluss über den Haushaltsplanentwurf 2013**

Der Schatzmeister stellt den Entwurf des Haushaltsplans für 2013 vor. Er enthält folgende Positionen:

## **Einnahmen**

Mitgliedsbeiträge	4.380,00 €
Spenden	600,00 €
Zinsen	600,00 €
Entnahme Festgeld	4.000,00 €
	<hr/>
Gesamteinnahmen	<b>9.580,00 €</b>

## **Ausgaben**

Große geodätische Exkursion	1.000,00 €
Integriertes Praktikum	700,00 €
Grundpraktikum	300,00 €
Zuschüsse Fachschaft	500,00 €
Zuschuss Argeos	1.000,00 €
Diplom-Preis	1.000,00 €
Vordiplom-Preis	500,00 €
Zuschuss Auslandsstudium	4.000,00 €
INTERGEO-Zuschuss	500,00 €
Konto-Abrechnung	95,00 €
Strato-Internetpaket	84,00 €
Mitteilungsblatt	380,00 €
Portokosten Einladungen + Jahresbericht	250,00 €
	<hr/>
Gesamtausgaben	<b>10.309,00 €</b>
	<hr/>
Unterdeckung	<b>729,00 €</b>

Es werden die folgenden Fragen zum Haushaltsplan 2013 gestellt:

- "Sollte der Vordiplompreis künftig in Bachelorpreis umbenannt werden?" Herr Schönherr sagt zu, dieses Thema in einer der nächsten Vorstandssitzungen zu besprechen.
- "Ist der INTERGEO-Zuschuss im Verhältnis zum Vordiplomspreis nicht zu hoch?" Der Vorsitzende gibt zu bedenken, dass üblicherweise mehrere Studierende zur INTERGEO anreisen und vor Ort übernachten, so dass der Gesamtbetrag nicht zu hoch sei.

Nachdem kein weiterer Diskussionsbedarf besteht, wird der Haushaltsplan 2013 einstimmig genehmigt.

## **TOP 11: Anträge**

Keine Anträge.

## **TOP 12: Verschiedenes**

Herr Prof. Dr.-Ing. Völter teilt mit, dass es einen Nachdruck seines Berichts über den Berufsstand der Geodäten gibt. Er hat einige Exemplare zur Verteilung mitgebracht.

### TOP 13: Bericht des diesjährigen Preisträgers

Der diesjährige Preisträger, Herr Thomas Friederichs, stellt seine Arbeit "Entwicklung eines Algorithmus zur Bestimmung der Objektlage und Position im dreidimensionalen Raum" vor.

Diese Diplomarbeit wurde bei der Bosch Engineering GmbH in der Abteilung Sensor Systems angefertigt. Hier werden u.a. Sensorsystemlösungen für Nutzfahrzeuge, Bau- und Landmaschinen, Schienenfahrzeuge, Freizeitfahrzeuge, maritime und industrielle Anwendungen entwickelt.

Unter den Sensoren spielen besonders die Inertialsensoren - also Sensoren, die der Messung translatorischer und rotatorischer Beschleunigungen dienen - eine große Rolle. Im Verbund mit anderen Sensoren kann ein ganzes Sensorsystem erstellt werden, das durch die Kopplung der unterschiedlichen Sensoren mächtiger und mehr Informationen liefern kann, als jeder Sensor für sich alleine genommen.

Im Rahmen eines Entwicklungsprojekts werden u.a. Bosch-Inertialsensoren verwendet, um ein Inertialnavigationssystem namens Motion Control Unit (MCU) zu entwickeln.

Der Prototyp einer solchen MCU nutzt GPS-Daten, stützt diese mit inertialen Messgrößen (6-dimensional) sowie Magnetfeld (3-dimensional) und barometrischer Höhe.

Das Ziel der Diplomarbeit besteht darin, all die Sensordaten, die fehlerhaft sein können, so zu fusionieren, dass im Zielzustand möglichst genau die Lage, Geschwindigkeit und Position im Raum zu jedem Zeitpunkt bestimmt und ausgegeben werden. Der Kern der Abschlussarbeit liegt somit in der Entwicklung eines Algorithmus zur Sensordatenfusion und Zustandsbestimmung. Auf Basis von Matlab Simulink wurde ein Regleransatz mit Zustandsbeobachter gewählt. Hierfür wurden geeignete Filter aus der Gruppe der Sigma-Punkt-Kalman-Filter (z.B. Central Difference Kalman-Filter) entwickelt und implementiert. Durch den Einbau der Messinstrumente (u.a. MCU und ein hochgenaues Referenzmessgerät) in ein Fahrzeug wurden Testmessungen durchgeführt, um entsprechende Datensätze zu generieren. Anhand dieser Daten wurden die entwickelten, unterschiedlichen Algorithmus-Architekturen getestet und analysiert.

Angedachte Anwendungs- und Einsatzgebiete für eine MCU: Zum einen können unterschiedlichste Fahrzeuge mit einer MCU ausgerüstet und deren Position und Bewegungsverhalten erfasst und ausgewertet werden. Auch beim Aufbau von Offshore-Windkraftanlagen oder für die Stabilisierung von Hubschrauberlandeplätzen auf Schiffen kann ein Messsystem wie die MCU für Zeitersparnis und damit Kostenersparnis sorgen.

Zum Abschluss dankt der Vorsitzende Herrn Friederichs für seinen Vortrag und weist darauf hin, dass der Preisträger Urkunde und den dazugehörigen Scheck im Rahmen des GAERO-Festes am 22.06.2012 erhielt.

Die Mitgliederversammlung wird um 15<sup>10</sup> Uhr geschlossen.

Der Vorsitzende



Die Schriftführerin

gez. Andrea Heidenreich

## Geschäftsbericht 2013

Im Geschäftsjahr 2012/2013 wurde die wissenschaftliche Aus- und Weiterbildung im Studiengang Geodäsie und Geoinformatik der Universität Stuttgart wie folgt gefördert:

### Zuschüsse

Vom Vorstand wurden folgende Zuschüsse beschlossen:

1. Grundpraktikum und Integriertes Praktikum		1000,00 €
2. Forum für Internationale Studierende der Universität Stuttgart		102,04 €
3. Konferenz der Geodäsie Studierenden	1. Rate	6450,00 €
	2. Rate	1650,00 €
4. Konferenz der Geodäsie Studierenden		1000,00 €
5. Sport- und Begegnungsforum für Internationale Master-Studierende der Universität Stuttgart		150,00 €

### Diplompreis 2012

Der Prämierungsausschuss entschied sich für die Auszeichnung der Diplomarbeit von **Herrn Thomas Friederichs** mit dem Titel:

„Entwicklung eines Algorithmus zur Bestimmung der Objektlage und Position im dreidimensionalen Raum“.

Der F2GeoS-Diplompreis 2012 in Höhe von 1000.- € wurde von Vorstandsfreund Roland Mayer-Föll am 22.06.2012 im Rahmen des GaErO-Festes überreicht.

### Förderung von Studienaufenthalten im Ausland

Vom Vorstand wurde beschlossen, **Frau Janina Friedrich** für deren Studienaufenthalt in Calgary in Kanada einen Zuschuss in Höhe von 2500.- € zu gewähren.

## Kassenbericht 2012

Kassenstand am 31.12.2011 € **5.085,72**

### Einnahmen:

Mitgliedsbeiträge	
131 Mitglieder je € 30,- (natürliche Personen)	€ 3.930,00
5 Mitglieder je € 120,- (juristische Personen)	€ 600,00
Rückzahlung Große Geodätische Exkursion	€ 272,00
Spenden	€ 1.870,00
Entnahme Sparguthaben	€ 4000,00
Zinsen	€ 148,00
	<hr/>
Gesamteinnahmen	€ <b>10.820,00</b>

### Ausgaben:

Zuschuss IGSM	€ 750,00
Zuschuss Intergeo	€ 250,00
Grundpraktikum 2. Semester	€ 1.000,00
Integriertes Praktikum	
Integrierte Praktika 2011, 2012	€ 1.000,00
Zuschuss Auslandssemester	€ 2.500,00
Diplompreis	€ 1.000,00
Waste Club Forum für Internationale Studierende	€ 102,04
Jahresbericht 2012	€ 223,87
Porto Jahresbericht und sonstiges Porto	€ 178,73
Kontoabrechnung und LBBW Card	€ 99,00
Strato – Internetpaket	€ 106,80
	<hr/>
Gesamtausgaben	€ <b>6.960,44</b>
Kassenstand am 31.12.2012	€ <b>8.945,28</b>

Nachrichtlich: Sparguthaben 31.12.2009 € 36028,00  
Sparguthaben 31.12.2010 € 36748,56  
Sparguthaben 31.12.2011 € 33396,91  
Sparguthaben 31.12.2012 € 29980,73

gez. Köpf  
Schatzmeister

# **Verein "Freunde des Studiengangs Geodäsie und Geoinformatik der Universität Stuttgart e.V. (F2GeoS)"**

## **Satzung**

### **§ 1 Name, Sitz, Geschäftsjahr**

(1) Der Verein führt den Namen "Freunde des Studiengangs Geodäsie und Geoinformatik der Universität Stuttgart e.V. (F2GeoS)", hat seinen Sitz in Stuttgart und soll in das Vereinsregister eingetragen werden.

(2) Geschäftsjahr ist das Kalenderjahr.

### **§ 2 Zweck**

(1) Zweck des Vereins ist die Förderung der wissenschaftlichen Aus- und Weiterbildung und die fachliche Kontaktpflege mit allen Studiengängen, die von jenen Instituten der Universität Stuttgart angeboten werden, die der Geodäsie und Geoinformatik zuzurechnen sind.

(2) Der Satzungszweck wird verwirklicht indem insbesondere Fachexkursionen der Studierenden und Vorträge im Rahmen des Geodätischen Kolloquiums sowie Maßnahmen der beruflichen Fortbildung durch Bereitstellung von Mitteln unterstützt werden.

(3) Alle Leistungen des Vereins erfolgen freiwillig; ein Rechtsanspruch besteht nicht.

### **§ 3 Gemeinnützigkeit**

(1) Der Verein verfolgt ausschließlich und unmittelbar gemeinnützige Zwecke im Sinne des Abschnitts "Steuerbegünstigte Zwecke" der Abgabenordnung.

(2) Der Verein ist selbstlos tätig; er verfolgt nicht in erster Linie eigenwirtschaftliche Zwecke. Mittel des Vereins dürfen nur für die satzungsmäßigen Zwecke verwendet werden. Die Mitglieder erhalten keine Zuwendung aus Mitteln des Vereins.

(3) Es darf keine Person durch Ausgaben, die dem Zweck des Vereins fremd sind, oder durch unverhältnismäßig hohe Vergütungen begünstigt werden.

### **§ 4 Mitgliedschaft**

(1) Die Mitgliedschaft wird erworben durch Beitrittserklärung und deren Annahme durch den Vorstand. Mitglieder können alle jetzigen und ehemaligen Angehörigen der Universität Stuttgart werden, sowie Freunde und Gönner aller Studiengänge, die von jenen Instituten der Universität Stuttgart angeboten werden, die der Geodäsie und Geoinformatik zuzurechnen sind; Studierende können erst nach ihrem Abschlussexamen beitreten. Neben natürlichen steht auch für juristische Personen die Mitgliedschaft offen.

(2) Ein Aufnahmeanspruch besteht nicht.

(3) Die Mitgliedschaft verpflichtet zur Beitragszahlung.

(4) Personen können in Anerkennung ihrer außergewöhnlichen Verdienste um

Organisation, Aufbau und Zweck des Vereins auf einstimmigen Beschluss des Vorstands vom Vorsitzenden zum Ehrenmitglied ernannt werden. Ehrenmitglieder haben sämtliche Mitgliederrechte, sind jedoch von der Pflicht zur Zahlung des Mitgliedsbeitrags befreit.

## **§ 5 Beendigung der Mitgliedschaft**

(1) Die Mitgliedschaft erlischt im Falle des Todes oder durch schriftliche, an den Vorstand zu richtende Austrittserklärung, auf das Ende des Kalenderjahres sowie durch Ausschluss.

(2) Aus dem Verein kann durch Beschluss des Vorstands ausgeschlossen werden, wer gegen Ziele oder Beschlüsse des Vereins verstößt oder wer mit der Zahlung von mehr als einem Jahresbeitrag im Rückstand ist. Der Ausschluss kann außerdem erfolgen, wenn ein sonstiger wichtiger Grund vorliegt.

## **§ 6 Einkünfte des Vereins**

Die Einkünfte des Vereins bestehen aus den Mitgliedsbeiträgen und freiwilligen Zuwendungen von Mitgliedern und Nichtmitgliedern sowie aus den Erträgen des Vereinsvermögens.

## **§ 7 Organe des Vereins**

Organe des Vereins sind die Mitgliederversammlung und der Vorstand.

## **§ 8 Mitgliederversammlung**

(1) Die Mitgliederversammlung tritt auf Einladung des Vorsitzenden mindestens einmal jährlich zusammen. Die Einladung hat mindestens einen Monat vorher unter Bekanntgabe der Tagesordnung durch schriftliche Benachrichtigung oder Veröffentlichung im Informationsblatt des Vereins zu erfolgen. Die Leitung der Mitgliederversammlung hat der Vorsitzende, bei seiner Verhinderung sein Stellvertreter.

(2) Der Mitgliederversammlung obliegt

- a) die Festlegung der Richtlinien der Vereinsarbeit;
- b) die Wahl des Vorstandes auf die Dauer von drei Jahren. Solange keine Neuwahl des Vorstandes stattgefunden hat, werden die Geschäfte vom bisherigen Vorstand durchgeführt;
- c) die Wahl von zwei Rechnungsprüfern, die nicht dem Vorstand angehören dürfen;
- d) die Entgegennahme der Jahresberichte des Vorsitzenden, des Schatzmeisters und der Rechnungsprüfer;
- e) die Entlastung des Vorstandes;
- f) der Beschluss über den Haushaltsplan;
- g) die Festsetzung der Mitgliedsbeiträge;
- h) der Beschluss von Satzungsänderungen.

(3) Über die Versammlung und die gefassten Beschlüsse ist vom Schriftführer eine Niederschrift zu fertigen, die von ihm und einem weiteren Vorstandsmitglied zu unterzeichnen ist.

(4) Die Beschlüsse der Mitgliederversammlung werden mit einfacher Stimmenmehrheit gefasst; bei Stimmengleichheit entscheidet die Stimme des Vorsitzenden. Bei Wahlen entscheidet bei Stimmengleichheit das Los. Zur Änderung der Satzung und zur Auflösung des Vereins bedarf es einer Mehrheit von drei Vierteln der anwesenden Mitglieder.

(5) Eine außerordentliche Mitgliederversammlung kann in derselben Form vom Vorstand einberufen werden. Eine solche muss innerhalb von drei Monaten einberufen werden, wenn die Mehrheit des Vorstandes oder mindestens ein Drittel der Mitglieder des Vereins unter Angabe des Grundes dies beantragen.

(6) Jede ordnungsgemäß einberufene Mitgliederversammlung ist unabhängig von der Zahl der anwesenden Mitglieder beschlussfähig.

## **§ 9 Vorstand**

(1) Der Vorstand besteht aus

dem Vorsitzenden,  
dem stellvertretenden Vorsitzenden,  
dem Schatzmeister,  
dem Schriftführer,  
mindestens drei, höchstens sechs Beisitzern.

(2) Hauptberuflich Beschäftigte der Universität Stuttgart dürfen nicht dem Vorstand angehören.

(3) Der Vorstand beschließt über alle Angelegenheiten des Vereins, soweit nicht die Mitgliederversammlung zuständig ist. Ihm obliegt die Leitung des Vereins; er überwacht den Vollzug der Beschlüsse.

(4) Der Vorstand verwaltet das Vermögen des Vereins.

(5) Der Vorstand ist beschlussfähig, wenn mindestens drei Mitglieder, darunter der Vorsitzende oder im Falle seiner Verhinderung sein Stellvertreter, anwesend sind. Bei Stimmengleichheit entscheidet die Stimme des Vorsitzenden. Eine Befragung der Vorstandsmitglieder auf schriftlichem oder telefonischem Wege ist zulässig.

(6) Der Vorstand beschließt über die Anträge auf Zuwendungen an die Institute, an die Fachschaft und an einzelne Studierende der Studiengänge, die von jenen Instituten der Universität Stuttgart angeboten werden, die der Geodäsie und Geoinformatik zuzurechnen sind.

(7) Der Vorstand im Sinne des § 26 BGB besteht aus dem Vorsitzenden und dem stellvertretenden Vorsitzenden. Sie vertreten den Verein - je einzeln - gerichtlich und außergerichtlich.

## **§ 10 Geschäftsführer**

Der Vorstand bestellt zur Wahrnehmung der täglichen Geschäfte einen Geschäftsführer. Dieser kann der Universität Stuttgart angehören.

## **§ 11 Auflösung des Vereins**

(1) Der Verein kann durch die Mitgliederversammlung nach den Bestimmungen des § 8, Abs. 4 aufgelöst werden.

(2) Bei Auflösung oder Aufhebung des Vereins F2GeoS e.V. oder bei Wegfall dessen steuerbegünstigter Zwecke fällt das Vermögen des Vereins F2GeoS e.V. an eine juristische Person des öffentlichen Rechts oder eine andere steuerbegünstigte Körperschaft zwecks Verwendung für die Förderung von Wissenschaft und Forschung.

## **§ 12 Ermächtigung des Vorstands**

Der Vorstand wird ermächtigt, eventuell vom Registergericht oder Finanzamt beanstandete Satzungsbestandteile abzuändern.

---

Die Satzung wurde in dieser Form während der Mitgliederversammlung am 15.07.2011 von den anwesenden Mitgliedern beschlossen und ist vom Amtsgericht Stuttgart - Registergericht - unter der Registernummer VR 5670 in das Vereinsregister eingetragen.

## **Integriertes Praktikum 2012: Planung und Messung einer Wasserleitung**

Die Aufgabe im integrierten Praktikum im SS2012 war die Planung einer neuen Wasserleitung für das Pumpspeicherkraftwerk in Glems. Hierfür sollten am unteren Reservoir und am oberen Rückhaltebecken Portalnetze eingemessen werden. Aufgrund zu erwartender Deformationen im Bereich des Damms des unteren Reservoirs musste das bestehende Punktnetz hier für die Überwachung verdichtet werden. Weiterhin sollten die bestehenden Gebäude des Pumpspeicherkraftwerks neu aufgenommen werden.

Das gesamte Projekt wurde in mehrere Arbeitspakete (AP) unterteilt, die jeweils mehrere Teilaufgaben beinhalteten und von mindestens zwei Studenten (GuG und GEO gemischt) bearbeitet wurden. Vor der Durchführung im Feld mussten diese Arbeitspakete von den zuständigen Studenten vorbereitet und dokumentiert werden. Zur Koordination der Arbeitspakete untereinander gab es ein zusätzliches Arbeitspaket, dessen Ziel nur die Koordinierung und das Management aller Beteiligten des Projekts war.

Neben den Arbeitspaketen, die die Arbeiten vor Ort betrafen, gab es auch Arbeitspakete, in denen vorab benötigte Informationen aufbereitet werden mussten. Hierbei wurden ein Orthophoto und ein digitales Höhenmodell zum Zweck der Planung und Visualisierung (AP1) sowie ein dreidimensionaler Referenzrahmen (AP2) und ein schwerebezogenes Höhennetz (AP3) erstellt. Zur Planung der neuen Wasserleitung wurde eine trigonometrische Höhenübertragung (AP4) für den steilsten Teil der Strecke durchgeführt, Informationen über bestehende Straßen und Points-of-Interest (POI) für die Baustelleneinrichtung und Planung von Transportwegen gesammelt (AP5, AP6) und die Portalnetze angelegt und vermarktet (AP7). Mit diesen Informationen konnte nun die Trassenberechnung (AP8) sowie die Absteckung neuer Gebäude (AP9) erfolgen. Alle relevanten Informationen wurden in einem Geoinformationssystem (GIS) in einem geeigneten Format für Planung, Analyse und Visualisierung zusammengetragen (AP10).

Für die Überwachung von Gebäuden wurden Lage und Geometrie der Bauwerke im potentiell gefährdeten Bereich mit terrestrischem Laserscanning (AP14) und Nahbereichsphotogrammetrie (AP13) erfasst. Um diese Information nutzen zu können, musste diese georeferenziert bereitgestellt werden (AP11), wozu auch eine Verdichtung des Referenznetzes nötig war. Tachymetrisch aufgenommene Punkte an bzw. in unmittelbarer Umgebung der Gebäude sollten ebenfalls mit den Scans in ein Koordinatensystem transformiert werden (AP12), um die Genauigkeit zu gewährleisten. Diese Punkte wurden auch für Qualitätsabschätzungen der anfangs erzeugten Orthophotos und Geländemodelle verwendet.

Nach Abschluss der Arbeiten wurden die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete durch die zuständigen Studenten präsentiert.

**Besonderer Dank gilt allen beteiligten Betreuern und Studenten für den reibungslosen Ablauf im Praktikum!**

# **1 Orthophotogenerierung**

Betreuer: M. Cramer (IFP)  
Bearbeiter: Alexander Grenz (GuG)  
Jing Li (GEO)

## **1.1 Einleitung**

Das Ziel dieses Arbeitspaketes war auf der Grundlage eines Digitalen Geländemodells (DGM) und Luftbildern ein hochauflösendes Orthophotomosaik für das Praktikumsgebiet zu erzeugen, um in Zusammenarbeit mit dem GIS-Arbeitspaket die Basisinformation für die anderen Arbeitspakete für Planungs-, Analyse- und Visualisierungszwecke zu schaffen.

Im Rahmen des Integrierten Praktikums sollte die Qualität des zugrunde gelegten Höhenmodells und der generierten Orthophotos überprüft werden.

## **1.2 Vorgehensweise**

### **1.2.1 Prinzip der Orthophotogenerierung**

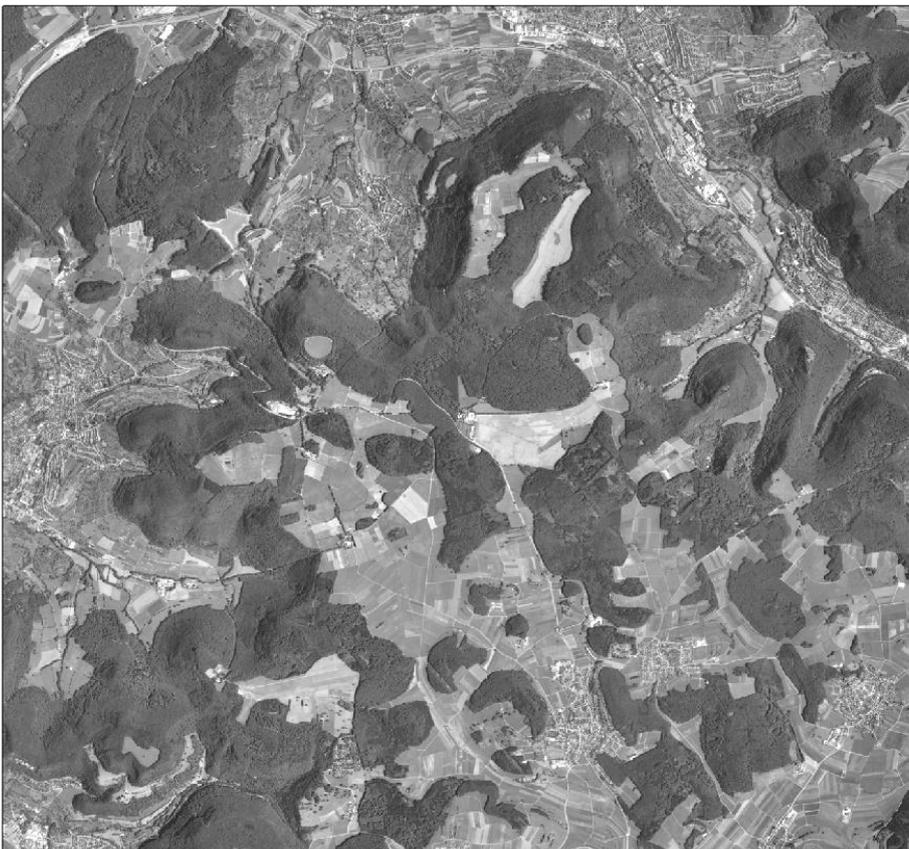
Ein Orthophoto ist ein durch Differenzialentzerrung verändertes, photographisches Bild, das geometrisch weitgehend einer orthogonalen Projektion des Objekts auf eine abwickelbare Bezugsfläche entspricht. Dieses Bild ist bereits entzerrt und auf ein orthogonales Koordinatensystem transformiert. Wegen Verkippungen der Kamera während der Aufnahme und durch mögliche Höhenunterschiede im Gelände werden die Flächen nicht exakt maßstäblich abgebildet. Man nimmt die Luftbilder, in denen die entsprechende Geländeflächen zentralperspektivisch abgebildet sind, und kombiniert sie mit einem Höhenmodell (DGM/DOM) und wandelt sie durch rechnerische Entzerrung in eine Orthogonalprojektion um.

### **1.2.2 Prinzip des Orthophotomosaiking**

Ein Orthophotomosaik ist ein Orthophotoplan, dessen Montage mit einem Gitternetz kontrolliert wird, oder ein mittels digitaler Bildtransformation aus mehreren Orthophotos oder deren Teilen zusammengesetztes gesamtes Orthophoto mit oder ohne Randgestaltung. Um ein Orthophotomosaik prozessieren zu können, berechnet man die sogenannten Bildpyramiden, wobei man je nach bei der Orthophotogenerierung verwendetem Höhenmodell die günstigste Verlaufskonstellation der Seamlines anstrebt. In diesem Schritt werden auch die radiometrische Korrekturen vorgenommen. Im Endeffekt entsteht nach dem Orthophotomosaiking eine homogene Bildübersicht (Abb. 1.1b).



*Abb. 1.1a: Einzelne Orthophotos*



*Abb. 1.1b: Orthophotomosaik*

Die Ausgangsdaten wurden vom Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg zur Verfügung gestellt.

### 1.2.3 Luftbilder

- Verwendungszweck: Das Biosphärengebiet war ein Teil der durchschnittlichen drei-jährigen zyklischen Befliegung des LGL nach AdV Standard. Zusätzlich kam ein Interesse des Regierungspräsidiums Stuttgart dazu, die für Biotop- und Nutzungskartierung im Biosphärengebiet Schwäbische Alb eine eigene Befliegung durchführen wollten. Das LGL sieht sich aber als öffentlicher photogrammetrischer Dienstleister und hat deshalb dem Regierungspräsidium Stuttgart angeboten diesen speziellen Bildflug in das Bildflugprogramm des LGL aufzunehmen.
- Flugplanung: Die Flugplanung wurde nach den Vorgaben des LGL durch die Bildflugfirma (BSF) erstellt.
- Flugdatum: 20.07.2010 und 21.07.2010
- Kamera: UltraCam-Xp
- Überlappung: 30% quer und 60% längs
- Bodenauflösung(GSD): 20cm
- Format: TIFF, 16 Bit (wurden auf 8 Bit reduziert)

Insgesamt hatten wir 70 digitale auf fünf Streifen verteilte Luftbilder mit bereits bekannten inneren und äußeren Orientierungsparametern.

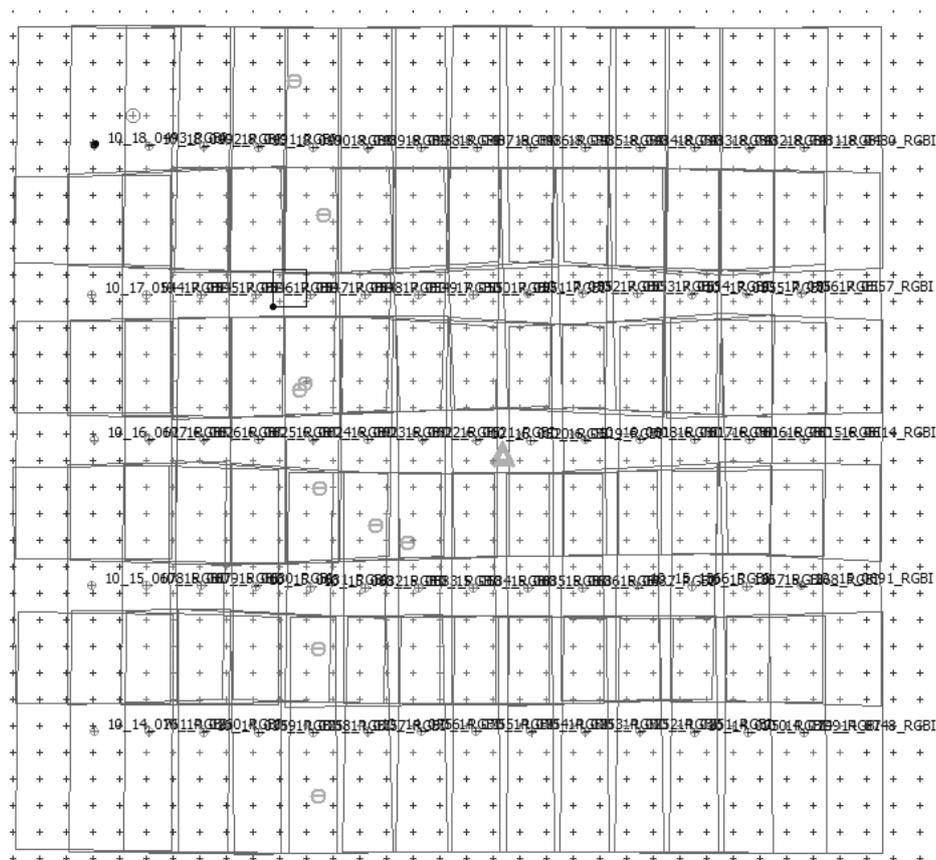


Abb. 1.1: Übersicht der Bildstreifen

## 1.2.4 Digitales Geländemodell (DGM)

- Grundlage: Bodenpunkte der interaktiv klassifizierten Laserscandaten
- Befliegungsdatum: 2002
- Punktdichte: 0,8 Punkte pro m<sup>2</sup> (unregelmäßig verteilte, dreidimensionale Boden- und Hochpunkte, im System: GK/DHDN, last pulse, Höhe: ü.NN)
- Format: ASCII, DXF (Drawing Exchange Format)
- Abbildung: regelmäßige Gitter 1 m x 1 m

Die Höhengenaugigkeit des DGM an den Gitterpunkten ist besser als 0,5 m.



Abb. 1.2: Prinzip der Laserscan-Befliegung

Für die Orthophotogenerierung wurden einige Komponenten aus dem Programmpaket ApplicationsMaster benutzt. Mit OrthoMaster wurden einzelne Orthophotos erzeugt und daraus mit OrthoVista ein Orthophotomosaik (mit radiometrischen Korrekturen) berechnet. Die entsprechenden Parameter, wie z.B. „nächster Nachbar“ als Interpolationsverfahren und die maximal mögliche Auflösung von 20 cm, für die Orthophotos wurden gewählt.

Damit war die Grundaufgabe des Arbeitspaketes schon vor dem Beginn des Integrierten Praktikums fertig. Während dem Praktikum sollte der zweitwichtigste Teil der Aufgabe, die Qualitätskontrolle der generierten Orthophotos und des verwendeten Digitalen Geländemodells, durchgeführt werden.

Um eine Aussage hinsichtlich der Qualität der Produkte treffen zu können, eignet sich insbesondere die Positionsgenauigkeit, wobei wir zwischen den vertikalen und horizontalen Genauigkeiten unterscheiden sollen.

Für die Bestimmung der Genauigkeiten wurden einerseits die Koordinaten der GPS Referenzpunkte, andererseits speziell dafür durchgeführte RTK-Messungen (Real Time Kinematic) benutzt.

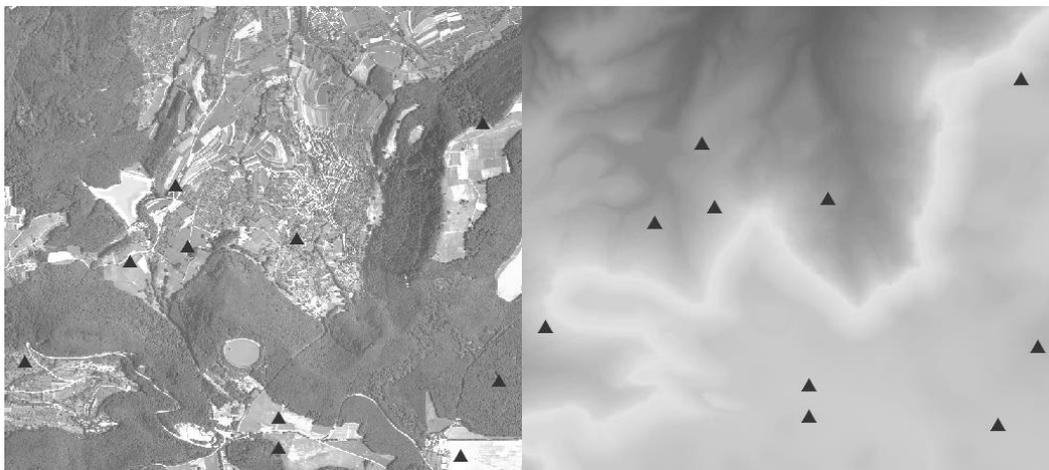


Abb. 1. 3: Verteilung der GPS Referenzpunkten

Die Koordinaten der GPS Referenzpunkte wurden nur für die Bestimmung der vertikalen Genauigkeit benutzt, da sie im Orthophoto nicht eindeutig identifizierbar sind. Die Höhen der Punkte wurden auf Bodenhöhe reduziert und im ArcGIS auf entsprechenden Stellen mit interpolierten Höhen verglichen.

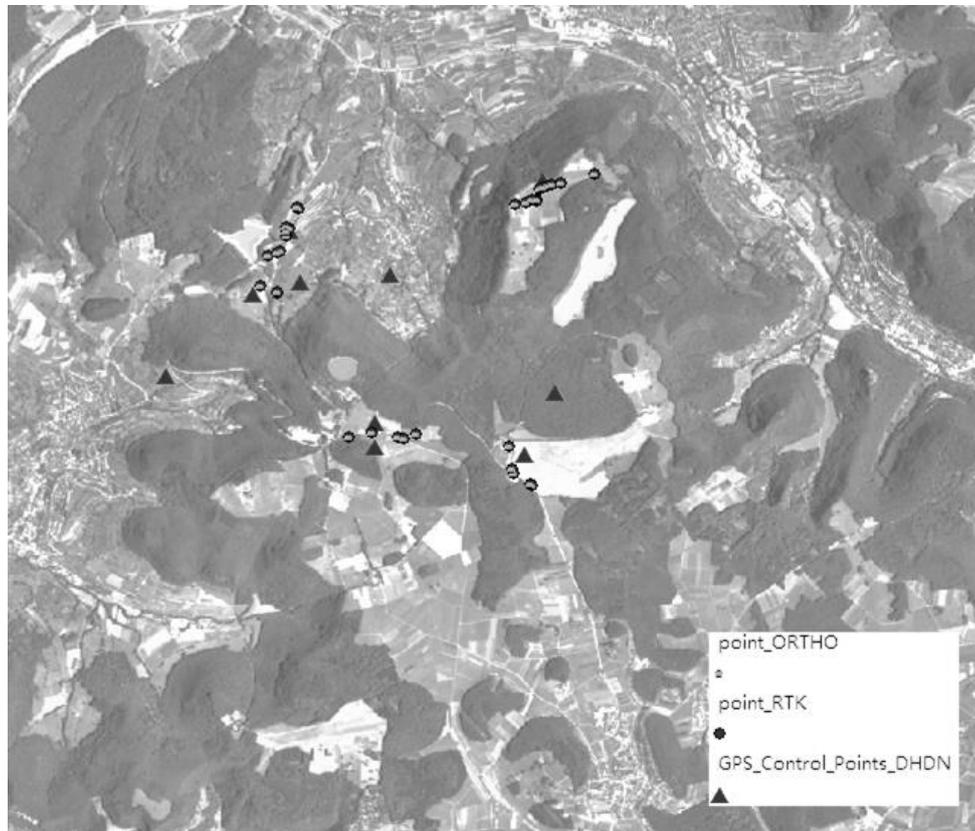


Abb. 1.4: Punktverteilung

Bei den RTK-Messungen wurden natürliche Punkte gemessen und sorgfältig skizziert. Nach den Messungen wurden die Punktkoordinaten nach Messgenauigkeit (besser als 3 cm) und nach Wiedererkennung im Orthophoto aussortiert. Dann wurden die Punkte laut Messskizzen im Orthophoto gemessen und die Koordinatendifferenzen gebildet.

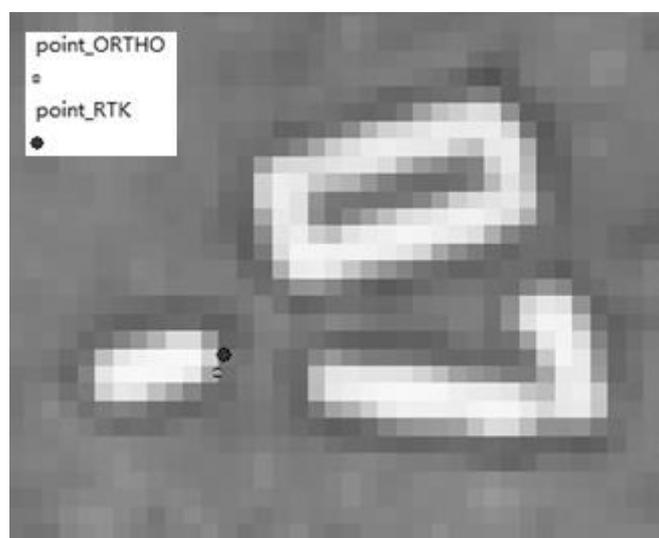


Abb. 1.5: Beispiel für den Lageunterschied zwischen den im Orthophoto und mittels RTK gemessenen Punkten

### 1.3 Analyse / Interpretation der Ergebnisse

Auf der Basis von mehr als 40 Stichproben wurden folgenden Genauigkeitswerte bestimmt:

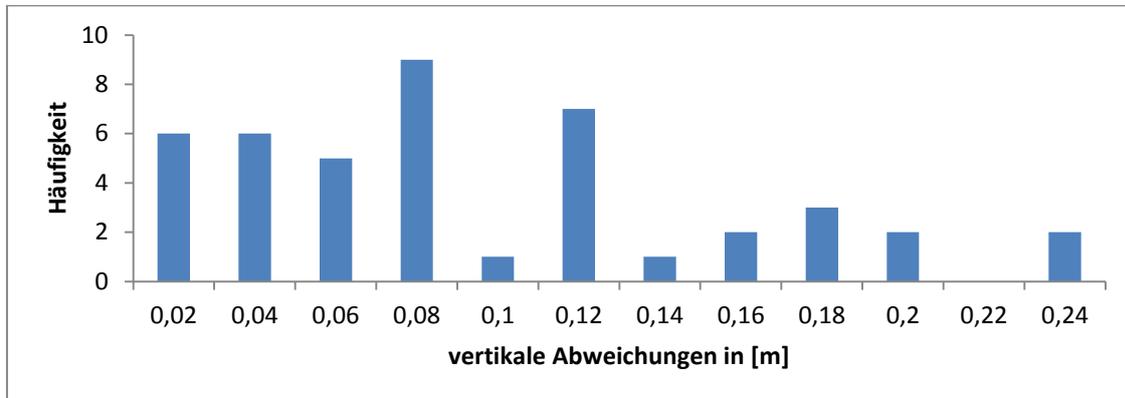


Abb. 1.6: Verteilung der vertikalen Differenzen

Die vertikale Genauigkeit:  $\sigma_v = 8,7 \text{ cm}$

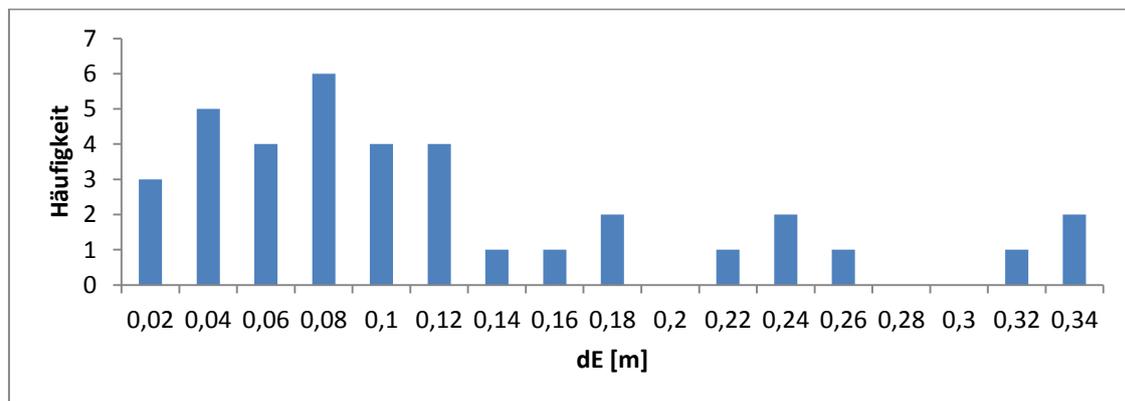


Abb. 1.7: Verteilung der Differenzen in die E-Richtung

Standardabweichung in E-Richtung:  $\sigma_E = 10,8 \text{ cm}$

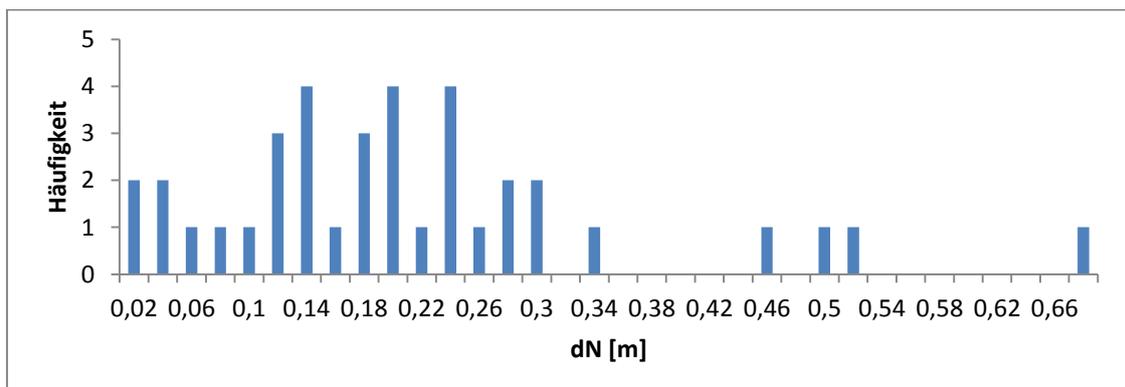


Abb. 1.8: Verteilung der Differenzen in die N-Richtung

Standardabweichung in N-Richtung:  $\sigma_N = 21,3 \text{ cm}$

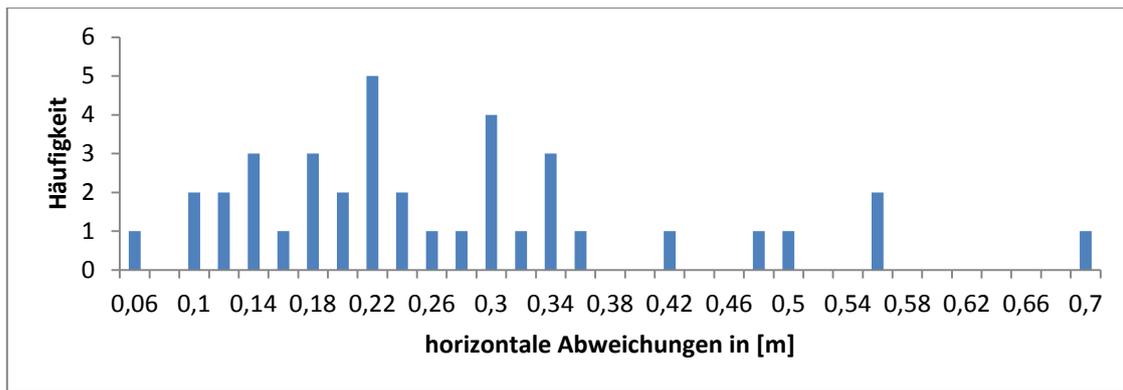


Abb. 1.9: Verteilung der horizontalen Differenzen

Und damit ergibt sich die horizontale Genauigkeit:  $\sigma_h = \sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_N^2} = 23,9 \text{ cm}$

Bei der Generierung von Orthophotos wurde eine Bodenpixelgröße von  $20 \text{ cm}$  gewählt. Somit ist die berechnete horizontale Genauigkeit von knapp  $24 \text{ cm}$  ein gutes Ergebnis. Die vertikale Genauigkeit spiegelt mehr die Qualität des verwendeten Höhenmodells (DGM) wieder. Das vom LGL BW zur Verfügung gestellte Digitale Geländemodell wurde auf Basis der LiDAR Messungen erstellt. Die Laserabtastung liefert i.d.R. sehr genaue Ergebnisse. Alle unsere Punkte (z.B. an den Straßen-, Landebahnmarkierungen usw.) liegen im offenen Gelände auf einer gut für Laserscanning geeigneten Oberfläche, weswegen die unter  $10 \text{ cm}$  liegende vertikale Genauigkeit zu erwarten war und auch als ein gutes Ergebnis interpretiert werden kann.

## 2 Dreidimensionaler Referenzrahmen

Betreuer: Prof. Dr. W. Keller (GI)  
 Bearbeiter: Etienne Hallwass (GuG)  
 Jinwei Zhang (GEO)

### 2.1 Ziel

Die Realisierung eines dreidimensionalen Referenzrahmens dient als Grundlage des Integrierten Praktikum 2012 (IP2012). Mit dessen Hilfe ist es möglich, ein lokales Koordinatensystem zu definieren. Durch Beobachtung und Auswertung lassen sich Transformationsparameter zwischen WGS84 und Rauenberg bestimmen und an andere Arbeitspakete weitergeben.

### 2.2 Vorgehensweise

Die Vorgehensweise lässt sich in drei Teilen definieren:

- Netzwerk-Design und Erstellung eines Beobachtungsplans
- Statische GPS-Messungen auf Grundlage der Planungen
- Nachbearbeitung der Daten mit Leica GeoOffice

#### 2.2.1 Netzwerk-Design

Die GPS-Punkte sollen homogen auf dem Gebiet des IP2012 (Abb. 2.1) verteilt sein, wobei mindestens sechs Festpunkte des amtlichen Referenznetzes enthalten sein sollten. Besondere Wichtigkeit kommt hierbei Festpunkt 217 als Referenzpunkt zu, der im übergeordneten Baden-Württembergischen Referenznetz (BWREF) und in DHDN bekannt ist. Zuletzt müssen noch gute Beobachtungsverhältnisse für GPS-Messungen bestehen, weshalb vor Beginn des IP2012 Abschattungsdiagramme zu allen gewählten Punkten erstellt wurden.



Abb. 2.1: Übersichtskarte – GPS-Punkte

## 2.2.2 Beobachtungsplan

Die GPS-Messungen finden an den ersten drei Tagen des IP2012 statt. Auf Grundlage des Netzwerkdesigns und der Abschätzungsdiagramme, die im Vorfeld bestimmt wurden, war es nun möglich einen Beobachtungsplan zu erstellen, der einen reibungslosen Ablauf der Messungen garantiert.

Anforderungen an den Beobachtungsplan (Abb. 2.2):

- Planung mit 6 von 8 GPS-Empfängern vom Typ Leica System 1200
- Mindestens 4 Satelliten sollten während einer Beobachtungsphase zu beobachten sein
- Mindestens 3 Beobachtungen für jeden GPS-Punkt
- 1 Stunde Transportzeit zwischen Stationswechseln

Die detaillierte Planung ermöglicht es, während des IP2012, etwa 70 Beobachtungen durchzuführen, für die alle obigen Kriterien erfüllt sind. Da Beobachtungen mitunter mehr als dreimal pro Punkt durchgeführt wurden, war es möglich Ausfälle zu kompensieren und schlechte Messungen zu eliminieren.

Tuesday	Group2 (5) Car1		Group3 (5) Car1		Group4 (5) Car2		Group5 (5) Car3	
	A(2)	B(3)	C(2)	D(3)	E(2)	F(3)	G(2)	H(3)
10:00-10:30	2	14			64	73	B_Basin	217
10:30-11:00								
11:00-11:30	1 h Transportation Time							
11:30-12:00								
12:00-12:30	14	2			73	232	217	B_Basin
12:30-13:00								
	Lunchbreak							
14:00-14:30			14	2	A_Basin	217	A_Dam	D_Dam
14:30-15:00								
15:00-15:30	1 h Transportation Time							
15:30-16:00								
16:00-16:30				64	217	A_Basin	B_Dam	A_Dam
16:30-17:00								

Abb. 2.2: Auszug – Beobachtungsplan für Dienstag, den 17. Juli 2012

### 2.2.3 Durchführung der statischen GPS-Messungen

Wie man dem Beobachtungsplan (Abb. 2.2) entnehmen kann, verteilen sich jeweils zwei Empfänger auf eine Gruppe. Somit wurden die GPS-Empfänger von 2-3 Gruppenmitgliedern bedient, wodurch sich Arbeitsschritte beim Aufbau verteilen ließen und der aufkommende Zeitdruck durch den Beobachtungsplan etwas abgemildert werden konnte. Die Messdauer belief sich auf zirka 60 Minuten. Im Anschluss daran wurden die Stationen plangemäß gewechselt um neue Punkte aufzunehmen.

### 2.2.4 Nachbearbeitung mit Leica GeoOffice

Zum Abschluss des Tages wurden die erhobenen Daten gemeinsam mit den, für die jeweiligen GPS-Empfänger zuständigen Gruppen ausgelesen und derart ausgewertet, dass Basislinien zwischen Referenzstation und Rover gebildet wurden. Als Absicherung diente zusätzlich noch ein geführtes Feldbuch, mit dem die ausgelesenen Daten auf Korrektheit überprüft wurden.

Am Abend des dritten Tages, zum Abschluss der GPS-Messungen, wurden die finalen Daten dahingehend weiterverarbeitet, dass wir nun alle Basislinien erfasst hatten und diese von Ausreißern bereinigt haben. Letztere traten besonders dann auf, wenn aufgrund des Zeitdrucks Messungen von zu kurzer Dauer waren oder aufgrund menschlicher Fehler die Antenne nicht eingeschaltet wurde oder Fehler bei der Horizontierung auftraten.

Die bereinigten Basislinien stellen die Koordinatendifferenz zwischen Referenzstation und Rover dar. Durch Ausgleichung um Referenzpunkt 217, lassen sich die Koordinaten aller Netzpunkte bezüglich des Referenzsystems BWREF bestimmen.

Da zusätzlich die Koordinaten dieser Punkte bezüglich DHDN bekannt sind, lassen sich Transformationsparameter zwischen BWREF und DHDN bestimmen. Ein geeignetes Transformationsmodell war hierbei das Modell nach Bursa-Wolf.

Eine detaillierte Auflistung der Transformationsparameter (Tab. 2.1) folgt.

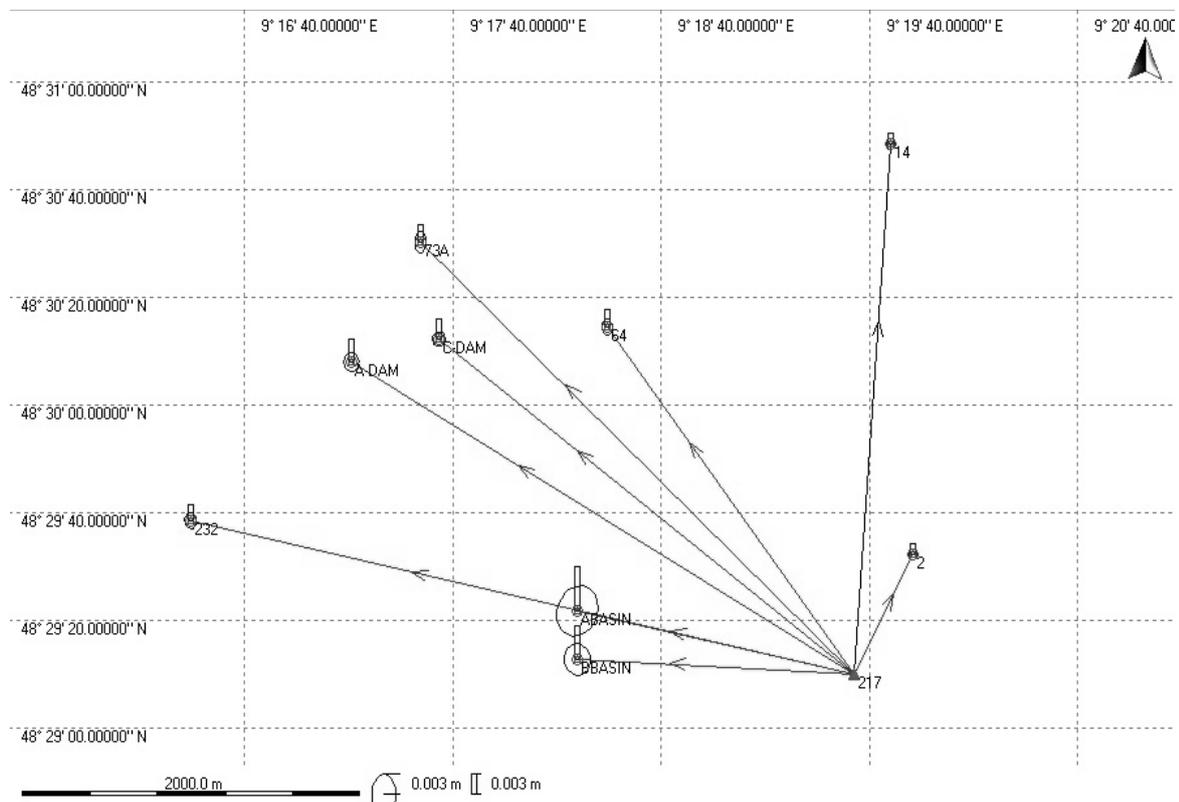


Abb. 2.3: Ausgeglichene Basislinien mit Lage- und Höhenfehler (vgl. Tab. 2.6)

## 2.3 Ergebnisse

### 2.3.1 Verwaltung der Koordinatensysteme

Nach Abschluss der Verarbeitung waren nun fünf verschiedene Koordinatensysteme verfügbar:

- Globale Koordinaten:
  - Kartesische Koordinaten
  - Ellipsoidische Koordinaten in WGS84
- Lokale Koordinaten:
  - Kartesische Koordinaten
  - Ellipsoidische Koordinaten
  - Gauß-Krüger Koordinaten in DHDN (Tab. 2.2)

Zwischen allen Systemen konnte beliebig in Leica GeoOffice gewechselt werden, was es ermöglichte, die Anfragen anderer AP detaillierter zu bearbeiten.

### 2.3.2 Transformationsparameter

Parameter	Numerische Werte
Translation dX	-632,9497 m
dY	-24,0471 m
dZ	-446,8147 m
Rotation rX	5,01942 ″
rY	-1,81137 ″
rZ	-2,34215 ″
Maßstabsfaktor	-14,5530 ppm

Tabella 2.1

### 2.3.3 Gauß-Krüger-Koordinaten bezüglich DHDN

Punkt	Rechtswert [m]	Hochwert [m]	Orthometrische Höhe [m]
<b>2</b>	3524561,2187	5372781,4972	843,3614
<b>14</b>	3524419,2374	5375132,3410	786,7288
<b>64</b>	3522744,1331	5374078,6000	487,1156
<b>73A</b>	3521642,1069	5374563,9267	484,4118
<b>217</b>	3524215,0107	5372096,0129	756,0599
<b>232</b>	3520291,2202	5372959,3189	560,8343
<b>ABASIN</b>	3522578,9542	5372449,6624	730,1331
<b>BBASIN</b>	3522580,5527	5372173,1778	736,1006
<b>A-DAM</b>	3521235,6896	5373872,8734	497,0267
<b>C-DAM</b>	3521754,8232	5374003,0757	526,3495

Tabella 2.2

### 2.3.4 Genauigkeiten nach der Ausgleichung

Punkt	Standardabweichungen der Gauß-Krüger Koordinaten		
	Rechtswert [m]	Hochwert [m]	Orthom. Höhe [m]
<b>2</b>	0,0006	0,0008	0,0016
<b>14</b>	0,0006	0,0008	0,0017
<b>64</b>	0,0008	0,0012	0,0025
<b>73A</b>	0,0008	0,0016	0,0026
<b>217</b>	0,0000	0,0000	0,0000
<b>232</b>	0,0009	0,0012	0,0015
<b>ABASIN</b>	0,0032	0,0037	0,0066
<b>BBASIN</b>	0,0021	0,0023	0,0051
<b>A-DAM</b>	0,0011	0,0014	0,0034
<b>C-DAM</b>	0,0010	0,0011	0,0029

Tabelle 2.3

### 2.3.5 Kartesische Koordinaten nach der Ausgleichung

Punkt	Globale kartesische Koordinaten (bzgl. WGS84)			Standardabweichung		
	X-Koordinate [m]	Y-Koordinate [m]	Z-Koordinate [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]
<b>2</b>	4179425,2688	686750,2787	4753997,6594	0,0013	0,0006	0,0013
<b>14</b>	4177671,4593	686328,5093	4755513,4029	0,0012	0,0006	0,0014
<b>64</b>	4178521,3760	684765,8752	4754595,4218	0,0018	0,0008	0,0021
<b>73A</b>	4178335,4212	683620,5729	4754917,8026	0,0018	0,0008	0,0024
<b>217</b>	4179930,2720	686479,3660	4753478,9180	0,0000	0,0000	0,0000
<b>232</b>	4179786,7595	682482,8706	4753915,0755	0,0018	0,0009	0,0019
<b>ABASIN</b>	4179911,5853	684819,6823	4753698,3693	0,0047	0,0030	0,0061
<b>BBASIN</b>	4180119,7518	684854,2933	4753519,5735	0,0039	0,0022	0,0040
<b>A-DAM</b>	4178919,4315	683301,6036	4754470,3920	0,0025	0,0012	0,0027
<b>C-DAM</b>	4178759,9220	683802,0817	4754577,3294	0,0021	0,0010	0,0023

Tabelle 2.4

Punkt	Lokale kartesische Koordinaten (bzgl. DHDN)			Standardabweichung		
	X-Koordinate [m]	Y-Koordinate [m]	Z-Koordinate [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]
<b>2</b>	4178792,3091	686726,2182	4753550,7887	0,0013	0,0006	0,0013
<b>14</b>	4177038,5254	686304,4590	4755066,5497	0,0012	0,0006	0,0014
<b>64</b>	4177888,4495	684741,8235	4754148,5956	0,0018	0,0008	0,0021
<b>73A</b>	4177702,5122	683596,5300	4754470,9992	0,0018	0,0008	0,0024
<b>217</b>	4179297,3090	686455,3026	4753032,0503	0,0000	0,0000	0,0000
<b>232</b>	4179153,8495	682458,8304	4753468,2857	0,0018	0,0009	0,0019
<b>ABASIN</b>	4179278,6445	684795,6298	4753251,5334	0,0047	0,0030	0,0061
<b>BBASIN</b>	4179486,8081	684830,2396	4753072,7358	0,0039	0,0022	0,0040
<b>A-DAM</b>	4178286,5200	683277,5603	4754023,5915	0,0025	0,0012	0,0027
<b>C-DAM</b>	4178127,0060	683778,0365	4754130,5201	0,0021	0,0010	0,0023

Tabelle 2.5

Punkt	Differenz zwischen global und lokalen Koordinaten		
	X-Koordinate [m]	Y-Koordinate [m]	Z-Koordinate [m]
2	632,9597	24,0605	446,8707
14	632,9339	24,0503	446,8532
64	632,9265	24,0517	446,8262
73A	632,9090	24,0429	446,8034
217	632,9630	24,0634	446,8677
232	632,9100	24,0402	446,7898
ABASIN	632,9408	24,0525	446,8359
BBASIN	632,9437	24,0537	446,8377
A-DAM	632,9115	24,0433	446,8005
C-DAM	632,9160	24,0452	446,8093

Tabelle 2.6

## 2.4 Diskussion der Ergebnisse

### 2.4.1 Berechnete Gauß-Krüger-Koordinaten

Der Dateiauszug (Abb. 2.4) liefert uns die Gauß-Krüger-Koordinaten bezüglich DHDN für Referenzpunkt 217, an der sich die Ausgleicheung unter Zwang orientiert.

Landesvermessungsamt Baden-Württemberg		7521 217						
		<b>Dateiauszug des TP</b>						
Ochsenbühl		Bogen 1						
Landkreis: Landkreis Reutlingen		Auszug vom 24.05.2005						
Gemeinde: St. Johann								
Gemarkung: Würtigen								
<i>Kursiv dargestellte Werte sind ungeprüft!</i>								
<b>DHDN (Aktuelle Werte):</b> Datum Rauenberg, Bessel-Ellipsoid								
Ord.	Unter-Nr.	P S T	Festlegung Vermarkungsart	Schlüssel- zahl	Gauß Krüger-Koordinaten (m) Rechtswert	Hochwert	Berechnungs- nachweis	Berechnungs- datum
4	00	0	Pf	141	3523990.34	5371972.66	BWREF 94	04.10.2000
4	04	0	TP-PF (25x25)	113	3524215.02	5372096.02	BWREF 94	04.10.2000
<b>NN-Höhe (Aktuelle Werte):</b> Höhe im DHHN 12 (Neuberechnung bez. auf Horizont 1971)								
Unter-Nr.	P S T	Festlegung Vermarkungsart	Schlüssel- zahl	NN-Höhe (m) Höhe	Pfeiler (-oberkante)	Berechnungs- nachweis	Berechnungs- datum	
00	0	Pf	141	N 755.33	N 756.23	BWREF 94	04.10.2000	
04	0	TP-PF (25x25)	113	N 755.15	N 756.06	BWREF 94	04.10.2000	

Abb. 2.4: Auszug: Referenzpunkt 217 durch Landesvermessungsamt BW

### 2.4.2 Formale Genauigkeiten der ausgeglichenen Gauß-Krüger-Koordinaten

Wie die numerischen Werte (vgl. Tab. 2.3) aufzeigen, treten etwa 1 mm Abweichungen in der Lage und etwa 2 mm Abweichungen in der Höhe auf, welche dadurch bedingt sind, dass zenitnahe Satelliten, bei der Bestimmung der Basislinien, ein höheres Gewicht erhalten. Dadurch ist die horizontale Schnittgeometrie besser als die vertikale und somit die Höhenbestimmung über GPS auch schlechter als die Lagebestimmung. Die Auswirkung der Beobachtungsdauer lässt sich anhand der Punkte 217 und BBASIN deutlich machen. Da Punkt 217 ein Referenzpunkt ist, treten hier keine Standard-

abweichungen für Lage und Höhe auf. Das Gegenbeispiel bilden die Punkte ABASIN und BBASIN, die mitunter Beobachtungszeiten von maximal 30 Minuten pro Messung und nur die Mindestanzahl von drei Messungen liefert, was sich wiederum auf die Genauigkeit von etwa 2-4 mm in der Lage und etwa 6 mm in der Höhe auswirkt, jedoch war dieser Sachverhalt, auch im Hinblick auf Abschattungsdiagramme, bereits während der Planung bekannt und als unvermeidbar akzeptiert.

### 2.4.3 Vergleich der kartesischen Koordinaten – WGS84 und DHDN

Wie man in der vorhergehenden Darstellung (Tab. 2.4) sehr gut sieht, kann man einen Vergleich zwischen den kartesischen Koordinaten durchführen (Tab. 2.6) und diesen im Anschluss mit den Transformationsparametern (Tab. 2.1) vergleichen.

Hierbei fällt deutlich auf, dass eine sehr hohe Übereinstimmung der Translationsparameter auftritt. Die Restklaffungen, die dann noch übrig bleiben, lassen sich durch die restlichen Transformationsparameter beheben. Anhand dieses Vergleichs ist also erkennbar, dass das Erstellen eines dreidimensionalen Referenzrahmens erfolgreich war und auch die Transformation zwischen WGS84 und DHDN einwandfrei funktioniert.

Im Hinblick auf die Gauß-Krüger-Koordinaten (Tab. 2.2 und Abb. 2.4) haben wir noch zusätzlich die Möglichkeit, über programminterne Transformationen zwischen den genannten Koordinatensystemen (2.2.3.1) beliebig zu wechseln. Sämtliche verwalteten Koordinatensysteme lassen sich also als korrekt erachten, da der funktionale Zusammenhang zwischen diesen ebenfalls korrekt ist.

## 2.5 Fazit

Insgesamt lässt sich das AP2 als gelungen betrachten, vor allem in Hinblick auf die Genauigkeit der gemessenen Koordinaten, was sich in vielen Teilen auf die Vorausplanung und die erfolgreiche Durchführung seitens der Studierenden zurückführen lässt.

Der Beobachtungsplan ermöglichte es in den meisten Fällen ohne viel Zeitdruck zu arbeiten, da genügend Transportzeit eingeplant wurde und die Punktbeschreibungen detailliert genug waren, um die Punkte eigenständig zu finden, wodurch AP2 seitens der Studierenden auf hohen Anklang stieß.

Die Verwaltung und Weitergabe der Ergebnisse an andere APs erzeugte zu Anfang Probleme, da falsche Koordinaten bzw. fehlerbehaftete Transformationsparameter weitergegeben wurden, jedoch ließen sich diese Probleme schnell beheben, wodurch jedes AP schlussendlich mit richtigen Daten versorgt wurde. Bei kommenden Integrierten Praktika sollte man daher darauf achten, dass jedes AP die korrekten Daten bekommt, da es sonst zunehmend zu Verwirrungen kommt.

Aufgrund des erfolgreichen und reibungslosen Ablaufs von AP2 gibt es sonst kaum noch Verbesserungsmöglichkeiten.

## 3 Schwere bezogenes Höhennetz

Betreuer:	M. Metzner	(IIGS)
	T. Reubelt	(GI)
Bearbeiter:	Arbeitspaket 3a – Nivellement:	
	Dominik Schmid,	(GuG)
	Olakunle Olaniyi	(GEO)
	Arbeitspaket 3b - Gravitation	
	Jascha Bosch	(GuG)
	Ioanna Andreea Bonta	(GEO)

### 3.1 Übersichtskarte

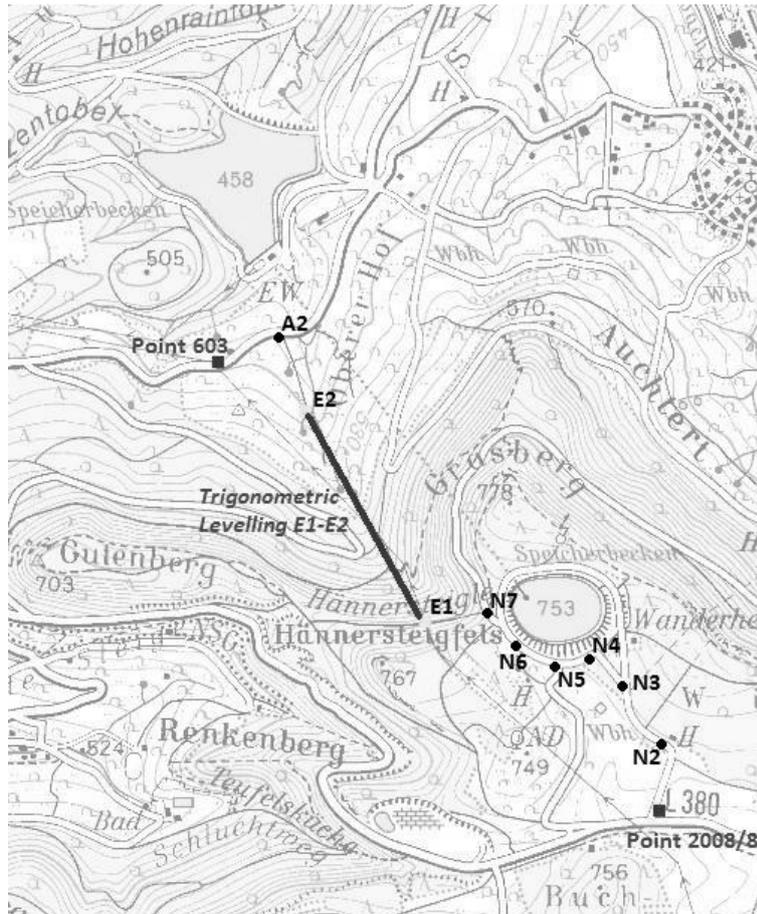


Abb. 3.1: Karte Messgebiet mit Messpunkten

Die Karte (vgl. Abb. 3.1), zeigt die gemessenen Nivellement- und Gravimeterpunkte in der Storage- und Basin-Area sowie die gemessene trigonometrische Höhenübertragung.

### 3.2 Aufgabenstellung

Ziel des WP3 war es dynamische, orthometrische Normalhöhen für Messpunkte in der Storage- und Basin-Area zu bestimmen. Dadurch war es möglich einen eindeutigen Höhenbezug für das Projekt bereitzustellen.

Die hierzu benötigten Höhendifferenzen und Schwerewerte wurden durch WP3a) und WP3b) bestimmt.

### 3.3 Durchführung

Während der 1. Woche wurden zwei Teilstücke (Storage- und Basin-Area) mit dem Nivellier (Leica DNA03) und dem Gravimeter (Skintrex CG-5 Autograv) gemessen.

Die nivellierte Strecke zwischen den Anschlusspunkten 2008/8 und 603 verlief über mehrere Zwischenpunkte bis hin zu den Anschlusspunkten der trigonometrischen Höhenübertragung und wurde in mehreren Schleifen gemessen. Dabei sollte die Genauigkeit von 0,3 mm (Herstellerangabe) pro Doppelnivellement eingehalten werden. An den Zwischenpunkten der nivellierten Strecken wurden dann gravimetrische Messungen mit der Profilmethode aufgenommen.

Die reinen Höhendifferenzen des Nivellements können anschließend mit Hilfe der Schwerewerte verbessert werden.

### 3.4 Ergebnis

#### 3.4.1 Nivellement

Loop	$\Delta H_{Vor}$ [m]	$\Delta H_{Rück}$ [m]	Schlussfehler [mm]	Distanz [m]
Basin Area:				
Loop 1:				
2008/8 – N2	9,2250	-9,2247	0,3	590,920
Loop 2:				
N2 – N3	5,4076	-5,4076	0,0	408,885
Loop 3:				
N3 – N4	-3,8784	3,8789	0,5	317,610
Loop 4:				
N4 – N5	-2,0667	2,0670	0,3	219,930
Loop 5:				
N5 – N6	4,0867	-4,0866	0,1	313,475
Loop 6:				
N6 – N7	0,4549	-0,4549	0,0	257,280
Loop 7:				
N7 – E1	11,1966	-11,1962	0,4	448,800
Dam Area:				
Loop 8:				
603 – A2	5,4097	-5,4090	0,7	451,320
Loop 9:				
A2 – E2	0,0645	-0,0638	0,7	423,780
Total:	29,8999	-29,8969	3,0	3432,000

Tabelle 3.1 Nivellement

In der Tabelle s.o. (vgl. Tabelle 3.1), sind die Ergebnisse des Nivellements zusammengefasst. Darin sind die jeweiligen Höhenunterschiede der Zwischenpunkte beschrieben sowie der jeweilige Schleifenschlussfehler und die Länge der Schleifen.

Nach der Hinzunahme gemessener Punkte vergangener Integrierter Praktika kann aus diesen zusammen mit den neuen Punkten eine große Schleife gebildet werden, deren Schlussfehler für die Potentialdifferenzen theoretisch gegen Null gehen sollte. Diese Bedingung kann für die Ausgleichung der Schleife verwendet werden.

Darauf folge die Verbesserung der gemessenen Höhendifferenzen mit Hilfe der Schwerewerte:

Punktnr.	$\gamma$ [mGal]	$\Delta H$ [m]	Strecke [m]	Dynamische Höhe [m]	Orthometrische Höhe [m]	Normalhöhe [m]	Dynamische Korrektur [m]	Orthometrische Korrektur [m]	Normalhöhen Korrektur [m]
580	980814,029	0,0000	0	435,5482	435,1786	435,1624	0	0	0
600	980806,479	33,1787	1890	468,7513	468,3564	468,3385	0,0244	-0,0009	-0,0026
1000	980795,128	54,7979	1440	523,5916	523,1553	523,1351	0,0424	0,0011	-0,0013
6N	980797,510	-11,7018	327	511,8798	511,4523	511,4325	-0,01	-0,0013	-0,0008
5N	980799,420	-10,7855	204	501,0852	500,6659	500,6465	-0,0091	-0,0008	-0,0005
398	980761,022	201,0234	1230	702,2666	701,7004	701,6740	0,158	0,0111	0,0041
3198	980762,809	-15,4648	90	686,7897	686,2351	686,2084	-0,0122	-0,0005	-0,0008
Feb 98	980761,420	18,3201	737	705,1228	704,5539	704,5280	0,0131	-0,0013	-0,0004
200502	980762,274	0,7651	1225	705,8865	705,3164	705,2912	-0,0014	-0,0026	-0,002
13/97	980759,152	14,9895	1271	720,8856	720,3052	720,2793	0,0096	-0,0007	-0,0014
2008/8	980757,268	7,6584	474	728,5491	727,9637	727,9373	0,0052	0,0001	-0,0004
N1	980756,709	2,5280	150	731,0788	730,4917	730,4652	0,0017	0	-0,0001
N2	980755,157	6,6972	140	737,7809	737,1894	737,1624	0,0049	0,0005	0,0001
N3	980753,557	5,4076	200	743,1924	742,5975	742,5700	0,0038	0,0005	-0,0001
N4	980754,145	-3,8782	160	739,3110	738,7189	738,6914	-0,0032	-0,0005	-0,0004
N5	980754,489	-2,0666	110	737,2427	736,6520	736,6245	-0,0018	-0,0003	-0,0003
N6	980753,287	4,0868	160	741,3323	740,7392	740,7112	0,0029	0,0004	-0,0001
N7	980752,985	-0,4549	130	740,8768	740,2843	740,2561	-0,0006	0	-0,0002
E1	980750,376	11,1968	220	752,0819	751,4820	751,4531	0,0082	0,0009	0,0002
E2	980804,827	-261,9350	800	489,9377	489,5253	489,5079	-0,2091	-0,0217	-0,0101
A2	980805,149	0,0642	210	490,0016	489,5890	489,5717	-0,0003	-0,0005	-0,0003
603	980803,902	5,4094	230	495,4150	494,9984	494,9808	0,0041	0	-0,0003
584	980800,749	133747,0000	2030	508,7974	508,3708	508,3525	0,0077	-0,0023	-0,003
582	980804,191	-42,1319	1490	466,6286	466,2366	466,2175	-0,0369	-0,0024	-0,0031
580	980814,029	-31,0529	1140	435,5482	435,1786	435,1624	-0,0275	-0,0052	-0,0022

Tabelle 3.2 Endergebnisse

Die Endergebnisse und endgültigen Höhen (vgl. Tabelle 3.2), sind in der Tabelle oben abgebildet. Anhand der gemessenen und berechneten Werte, können im Folgenden die jeweiligen Schleifenschlussfehler bestimmt werden.

Schleifenschlussfehler des Nivellements:

$$\epsilon = \sum_i \Delta h_i^{i+1} = 26,1 \text{ mm}$$

mit  $\Delta h_i^{i+1}$  als jeweiliger Höhendifferenz zwischen den einzelnen Messpunkten

Schleifenschlussfehler der Potentialdifferenzen:

$$\epsilon_W = \sum_i \Delta W_i^{i+1} = 26,0 \text{ mm}$$

Mit  $\Delta W_i^{i+1} = \frac{1}{2}(g_i + g_{i+1}) * \Delta h_i^{i+1}$  und den Schwerewerten  $g_i, g_{i+1}$

$\frac{\epsilon_W}{\gamma} < \epsilon$  mit  $\gamma = 9,806199203 \frac{m}{s^2} = 0,9806199203 \text{ kGal}$  ist gegeben.

Da aber der Schleifenschlussfehler des Nivellements  $\epsilon$  hauptsächlich auf Messfehler zurückzuführen ist (wohl durch die trigonometrische Höhenübertragung verursacht) und der Schleifenschlussfehler der Potentialdifferenzen  $\epsilon_W$  nicht signifikant kleiner ist als  $\epsilon$ , können die nivellierten Höhen durch die Hinzunahme der Schwerewerte nicht verbessert werden.

### 3.4.2 Höhenprofil

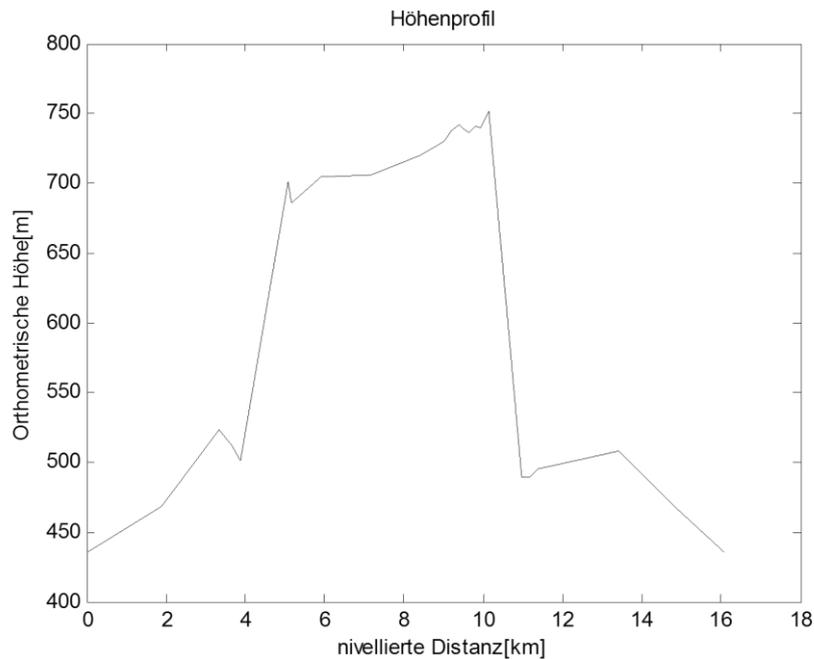


Abb. 3.2: Höhenprofil

### 3.4.3 Schwereverlauf

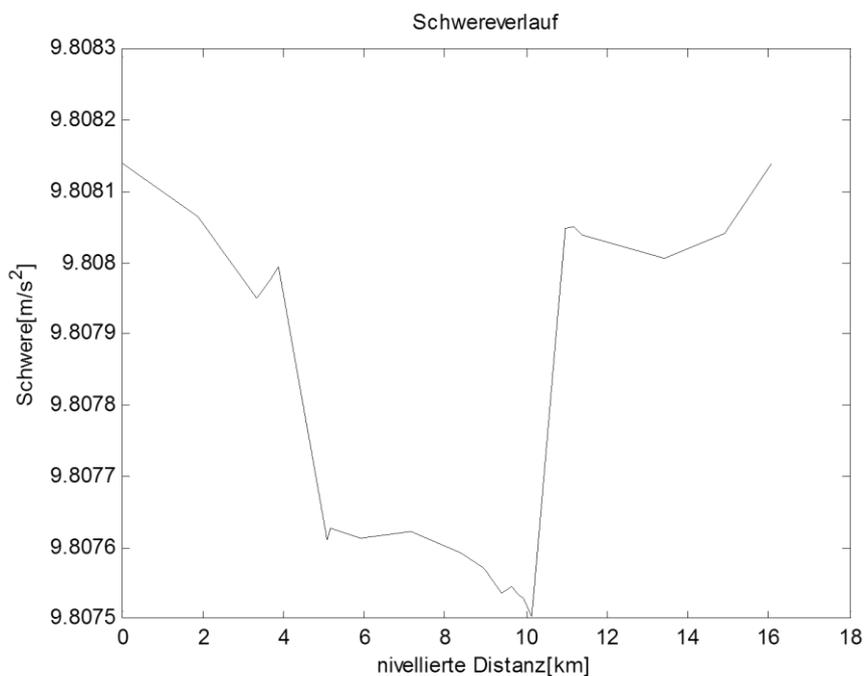


Abb. 3.3: Schwereverlauf

### 3.4.4 Höhenkorrektur

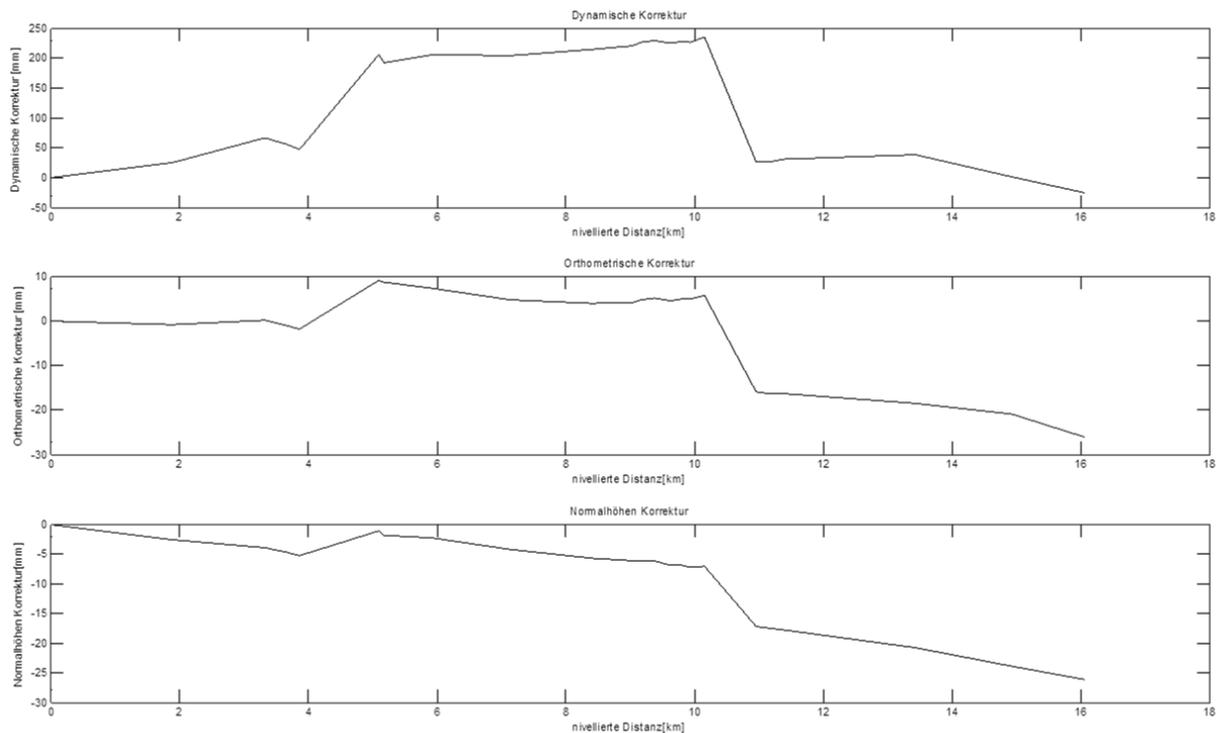


Abb. 3.4: Höhenkorrektur

### 3.5 Fazit

Zu den Nivellementmessungen lässt sich sagen, dass die Messungen in Bezug auf den Schleifenschlussfehler immer sehr genau waren. Ziel war es eine Genauigkeit von besser als 1 mm pro km zu erreichen, was mit Blick auf die gesamte Strecke erreicht wurde. Der maximale Fehler betrug bei einer Schleife zwischen zwei Zwischenpunkten 0,7 mm für Hin- und Rückweg.

Betrachtet man die gemittelten Standardabweichungen aller Messungen:  $\sigma_{Niv} = 0,2963 \text{ mm}$ ;  $\sigma_{Grav} = 7 \mu\text{Gal}$ , so ist festzustellen, dass die geforderten Genauigkeiten eingehalten wurden.

Wenn wir unsere Messungen an eine komplette Schleife anschließen, die durch vorangegangene integrierte Praktika bereits gemessen und erstellt wurde, erhalten wir einen Schleifenschlussfehler von 2,616 cm für das Nivellement. Der Betrag des Fehlers ist relativ hoch; dies liegt jedoch daran, dass nicht die ganze Strecke mittels Nivellement gemessen wurde, sondern auch die trigonometrische Höhenmessung eingesetzt wurde, bei der durchaus größere Messfehler im Zentimeterbereich auftreten können.

Der Vergleich von  $\epsilon_w$  und  $\epsilon$  hat aufgezeigt, dass der Schleifenschlussfehler durch die Hinzunahme der Potentialdifferenzen nicht signifikant verbessert werden konnte.

Durch die Ausgleichung konnten an die nivellierten Höhen jedoch trotzdem Verbesserungen angebracht werden. Dies kann man gut anhand der Korrekturen der einzelnen Höhen erkennen. So sind die Höhenkorrekturen an Punkt  $E_2$ , besonders bei der dynamischen Korrektur, sehr hoch.

$E_3$ dynamische Korrektur	-0,2091 m
$E_3$ orthometrische Korrektur	-0,0217 m
$E_3$ Normalhöhen Korrektur	- 0,0101 m

Die niedrigsten Korrekturen sind zwischen 0,1 mm und 0,3 mm.

Der Großteil der Korrekturen ist somit größer als die Standardabweichung des Nivellements ( $\sigma_{Niv} = 0,2963 \text{ mm}$ ). Dies rechtfertigt den Einsatz des Gravimeters, da die Höhenkorrekturen gegenüber  $\sigma_{Niv}$  signifikant sind.

Zusammenfassend ist davon auszugehen, dass die Aufgabenstellung erfolgreich durchgeführt werden konnte.

#### 4 Trigonometrische Höhenübertragen

Betreuer:

B. Zheng (IIGS)

Bearbeiter:

Johannes Wilhelm (GuG)

Yuanzheng Cui (GEO)

Zusammenfassung:

Das Arbeitspaket 4 (WP4) beinhaltet folgende Arbeitsschritte:

- Bestimmung der benötigten Anzahl an Sätzen, um annehmbare Genauigkeiten für den zu ermittelnden Höhenunterschied zwischen E1 und E2 zu erhalten (vgl. Gravimetrie basiertes Nivellement)
- Planung einer Messkonfiguration, um sowohl symmetrische Bedingungen an beiden Tachymeter-Standpunkten, als auch eine gleichzeitig erfolgende Messung garantieren zu können
- Durchführung der Messungen und Berechnung der Höhendifferenz für den steilsten und unzugänglichsten Teil des Messgebiets
- Berechnung der erreichten Messgenauigkeiten, sowie der letztlich bestimmten Höhendifferenz

##### 4.1 Hintergrund für die Benutzung der Trigonometrischen Höhenübertragung

Die Trigonometrische Höhenübertragung stellt eine einfache Möglichkeit dar, um auch in unzugänglichen Gebieten Höhenunterschiede ermitteln zu können. Das Verfahren wird vor allem dann eingesetzt, wenn ein klassisches Nivellement nicht, oder lediglich mit sehr hohem Aufwand möglich ist.

Ein Vorteil der Trigonometrischen Höhenübertragung ist die Unabhängigkeit von topographischen Gegebenheiten. Es muss lediglich ein Sichtkontakt zwischen den Reflektoren und den gewählten Tachymeter-Standpunkten bestehen.

Aufgrund der großen Höhendifferenz zwischen Damm und Basin wird die Trigonometrische Höhenübertragung in diesem Projekt für das steilste Teilstück verwendet (vgl. 4.2).

Da das Messverfahren sowohl von der Erdkrümmung als auch der Atmosphärischen Refraktion beeinflusst wird, wird eine Messkonfiguration gewählt, in der die Messungen der "langen" Schrägstrecken und der dazugehörigen Zenitwinkel von beiden Seiten gleichzeitig erfolgt. Durch diese Messanordnung kann sowohl der Effekt der Refraktion, als auch die Erdkrümmung eliminiert werden.

Die exakten Anschlusspunkte (E1 und E2) müssen in Absprache mit der Arbeitsgruppe 3 (WP3) vor Ort festgelegt werden (vgl. Abb 4.1). Die Schwierigkeit besteht hierbei in der Tatsache, dass die Distanz zwischen E1 und E2 über 1 km groß ist, so dass vorab für eine gute Kommunikation gesorgt werden muss.



Abb. 4.1: Überblick über das Messgebiet



Abb. 4.2: Blick von E2 nach E1

## 4.2 Messprinzip und Messkonfiguration

Es müssen sowohl die Schrägstrecken als auch die entsprechenden Zenitwinkel bestimmt werden.

Die Formel für die Berechnung der einzelnen Höhenunterschiede zwischen Tachymeter-Standpunkt und Prisma lautet:

$$\Delta h_i = h_t + \cos(z_i) \cdot S_i - h_p$$

mit:  $h_t, h_p$ : Instrumenten – bzw. Reflektorhöhe

Aufgrund der gewählten Messanordnung (vgl. Abb. 4.3) müssen die Instrumenten- und Reflektorhöhen nicht gemessen werden.

Profilansicht:

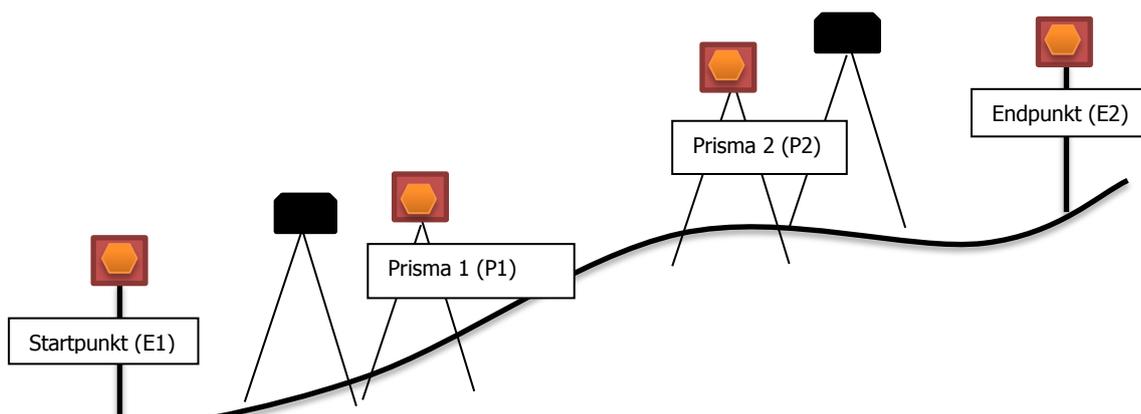


Abb. 4.3: Profilansicht der Messkonfiguration

Es wird nur ein Prisma für den Start- bzw. Endpunkt benötigt, welches im Verlauf der Messung zum jeweiligen „zweiten“ Anschlusspunkt transportiert werden muss

Die Schrägstrecken und Vertikalwinkel zwischen den Tachymeter-Standpunkten und Reflektoren müssen für die „langen“ Distanzen in mindestens zehn Sätzen gemessen werden, da ansonsten die erreichten Genauigkeiten nicht den Anforderungen entsprechen würden. Aufgrund der Tatsache, dass die Distanzen zwischen den Tachymeter-Standpunkten und den jeweiligen Anschlusspunkten viel kürzer sind, reicht

hierfür ein Minimum von drei gemessenen Vollsätzen aus, um den angestrebten Genauigkeiten zu genügen.

Es ist sehr wichtig, dass die ermittelten Messgrößen sorgfältig gemessen werden, so dass es empfehlenswert ist, besser einige Sätze mehr als die zuvor angegeben zehn bzw. drei Vollsätze zu messen, um möglicherweise schlechte Messungen kompensieren zu können (vgl. Abb. 4.4).

Um die höchste Genauigkeit für die ermittelte Höhendifferenz erreichen zu können und um die durch die Refraktion bzw. Erdkrümmung verursachten Fehlereinflüsse zu eliminieren, müssen die Messungen für die „langen“ Distanzen und die zugehörigen Zenitwinkel von beiden Seiten aus gleichzeitig durchgeführt werden.

### 4.3 Herleitung der Formeln zur Berechnung des Höhenunterschieds und dessen Standardabweichung

Draufsicht:

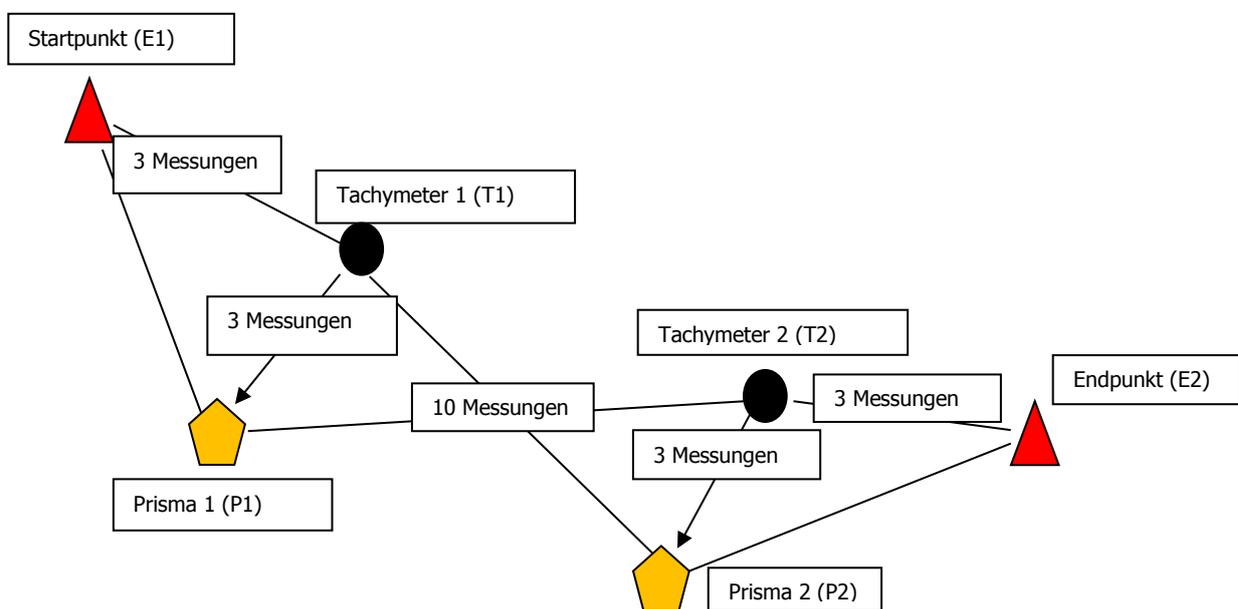


Abb. 4.4: Draufsicht

Gemessene Parameter:

- S1 (Distanz zwischen Tachymeter T1 und Prisma P1)
- S2 (Distanz zwischen Tachymeter T1 und Prisma P2)
- S3 (Distanz zwischen Tachymeter T2 und Prisma P2)
- S4 (Distanz zwischen Tachymeter T2 und Prisma P1)
- S5 (Distanz zwischen Tachymeter T1 und Startpunkt E1)
- S6 (Distanz zwischen Tachymeter T2 und Endpunkt E2)
- V1, V2, V5 (Vertikalwinkel von T1 nach P1, P2, Startpunkt E1)
- V3, V4, V6 (Vertikalwinkel von T2 nach P1, P2, Endpunkt E2)

$$\begin{aligned}
H_{T1P1} &= -hp_1 + S_1 \cos V_1 + h_1 \\
H_{T1P2} &= -hp_2 + S_2 \cos V_2 + h_1 \\
H_{T1SP} &= -hs + S_5 \cos V_5 + h_1 \\
H_{T2P2} &= -hp_2 + S_3 \cos V_4 + h_2 \\
H_{T2P1} &= -hp_1 + S_4 \cos V_3 + h_2 \\
H_{T2EP} &= -he + S_6 \cos V_6 + h_2
\end{aligned}$$

Tabelle 4.1a Formeln für die Berechnung der einzelnen Teilhöhendifferenzen

$$\begin{aligned}
H_{SPEP} &= H_{T2EP} - H_{T2P1} + H_{T1P1} - H_{T1SP} \\
&\text{(Hinweg)} \\
H_{EPSP} &= H_{T1SP} - H_{T1P2} + H_{T2P2} - H_{T2EP} \\
&\text{(Rückweg)}
\end{aligned}$$

Mittel aus Hin- und Rückweg:

$$H_{final} = \frac{(H_{SPEP} - H_{EPSP})}{2}$$

Tabelle 4.1b Herleitung der Formel für die endgültige Höhendifferenz

Durch Einsetzen der Werte aus Tabelle 4.1a in die Formeln aus Tabelle 4.1b ergibt sich schließlich die Formel für die Höhendifferenz zwischen E1 und E2 wie folgt:

$$\Delta h = \frac{2 \cdot S_6 \cdot \cos(V_6) - 2 \cdot S_5 \cdot \cos(V_5) - S_4 \cdot \cos(V_3) + S_1 \cdot \cos(V_1) + S_2 \cdot \cos(V_2) - S_3 \cdot \cos(V_4)}{2} \quad (1)$$

Um die Standardabweichung der ermittelten Höhendifferenz berechnen zu können, muss eine Fehlerfortpflanzung der gemessenen Parameter erfolgen. Als Modell zur Bestimmung der Standardabweichung des ermittelten Höhenunterschieds wird eine Taylorentwicklung angesetzt, die nach dem quadratischen Glied abgebrochen werden kann:

$$\sigma_h^2 = \frac{f^2(v, s)}{\delta v} \cdot \sigma_v^2 + \frac{f^2(v, s)}{\delta s} \cdot \sigma_s^2$$

Nach Anwendung des obigen Prinzips zur Fehlerfortpflanzung ergibt sich schließlich folgende Formel für die Standardabweichung des ermittelten Höhenunterschieds:

$$\begin{aligned}
\sigma_h^2 &= (\cos(v_6))^2 \cdot \sigma_{s_6}^2 + (-s_6 \cdot \sin(v_6))^2 \cdot \sigma_{v_6}^2 + (-\cos(v_5))^2 \cdot \sigma_{s_5}^2 + (s_5 \cdot \sin(v_5))^2 \cdot \sigma_{v_5}^2 + \\
&\left(-\frac{1}{2} \cdot \cos(v_3)\right)^2 \cdot \sigma_{s_4}^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot s_4 \cdot \sin(v_3)\right)^2 \cdot \sigma_{v_3}^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(v_1)\right)^2 \cdot \sigma_{s_1}^2 + \left(-\frac{1}{2} \cdot s_1 \cdot \sin(v_1)\right)^2 \cdot \\
&\sigma_{v_1}^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(v_2)\right)^2 \cdot \sigma_{s_2}^2 + \left(-\frac{1}{2} \cdot s_2 \cdot \sin(v_2)\right)^2 \cdot \sigma_{v_2}^2 + \left(-\frac{1}{2} \cdot \cos(v_4)\right)^2 \cdot \sigma_{s_3}^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot s_3 \cdot \right. \\
&\left. \sin(v_4)\right)^2 \cdot \sigma_{v_4}^2 \quad (2)
\end{aligned}$$

Für die Genauigkeiten der Winkelmessungen werden die in den entsprechenden Feldbüchern ermittelten Standardabweichungen der Winkelmessung aus allen Sätzen verwendet ( $s_z$ ).

Für die Standardabweichung der Streckenmessung wird folgende Gerätegenauigkeit vorausgesetzt:  $3\text{mm} + 2\text{ppm}$  (3)

Somit ergibt sich für die jeweiligen Messgenauigkeiten der einzelnen Strecken folgende Formel:

$$\sigma_s = \sqrt{(3\text{mm})^2 + (2 \cdot s_{[m]} \cdot 10^{-6})^2}$$

#### 4.4 Ergebnisse der verschiedenen Gruppen

Höhendifferenzen mit jeweiligen Standardabweichungen				
	$\Delta_h$ [m]	$\sigma_h$ [m]	Wetter	Referenzpunkt (E2)
Gruppe 4	261.979	0.273	wolkig	alt
Gruppe 5	261.924	0.046	wolkig	alt
Gruppe 1	261.945	0.052	wolkig	alt
Gruppe 6	261.961	0.055	wolkig	neu
Gruppe 3	261.924	0.061	sonnig (windig)	neu
Gruppe 7	261.928	0.013	sonnig	neu
Gruppe 2	-	-	Feldbücher nicht verfügbar	neu
Mittel 1	261.935	0.049		alt
Mittel 2	261.938	0.043		neu

Tabelle 4.2 Ergebnisse für Höhendifferenzen mit jeweiligen Standardabweichungen

**Zusatz:** Der Referenzpunkt E2 ging am Ende der ersten Woche verloren, so dass die ermittelten Höhenunterschiede der ersten drei Gruppen nicht mit den zu einem späteren Zeitpunkt ermittelten Höhendifferenzen verglichen werden können.

Bis auf Gruppe 4 bewegten sich die Standardabweichungen der einzelnen Gruppen in der Größenordnung von 1-6 cm, was durchaus akzeptabel ist (vgl.

Tabelle 4.2). Bezüglich der Interpretation der sehr schlechten Standardabweichung für die Ergebnisse aus Gruppe 4 wird an dieser Stelle auf das nachfolgende Kapitel 5 verwiesen.

Um mit der in (3) gegebenen Streckengenauigkeitsvorgabe des Geräts eine Standardabweichung von unter 2 cm für den ermittelten Höhenunterschied zu erhalten, müssen je nach Anzahl der gemessenen Vollsätze und der gewählten Geräte- bzw. Prismen-Standpunkte folgende Anforderungen erfüllt sein:

	Gemessene Vollsätze	Benötigtes Satzmittel der Standardabweichungen ( $s_z$ )
lange Strecke (simultan)	10	0,09 mgon
kurze Strecken	3	
lange Strecke (simultan)	12	0,1 mgon
kurze Strecken	5	

Tabelle 4.3 benötigte Winkelgenauigkeiten (Durchschnittswerte)

#### 4.5 Hinweise und Verbesserungsvorschläge

Im Hinblick auf die nach Abschluss der Messungen durchzuführende Feldbuchauswertung ist darauf hinzuweisen, dass sauber und übersichtlich geführte Feldbücher anzustreben sind. Ansonsten treten leicht Unklarheiten auf, welche schnell einen nicht unerheblichen Mehraufwand mit sich bringen und im Extremfall zur Wiederholung von Messungen führen können.

Außerdem sollten schlechte Messungen in jedem Fall wiederholt werden, da ansonsten die angestrebten Messgenauigkeiten nicht erfüllt werden können. Im Fall der „langen“ Strecke müssen jene Messungen aufgrund der Anforderung an eine simultane Messung somit für beide Seiten wiederholt werden. Sofern die äußeren Einflüsse (Wetter etc.) keine sehr guten Messgenauigkeiten zulassen, sollte die Anzahl der gemessenen Vollsätze erhöht werden (vgl. Tabelle 4.3). Von besonderer Bedeutung sind die zu den

„langen“ Strecken gehörenden Zenitwinkelmessungen, da diese sich sehr stark auf die Standardabweichung des Höhenunterschieds auswirken (vgl. (2)). Deshalb sollten diese Messungen sehr sorgfältig durchgeführt werden und auch bei guten Messungen einige extra Vollsätze gemessen werden.

Wichtig im Hinblick auf die simultane Messung ist eine gute Kommunikation zwischen den beiden Instrumenten-Standpunkten. Hierfür wurden ursprünglich Funkgeräte zur Verfügung gestellt, die allerdings aufgrund der sich in unmittelbarer Nähe befindlichen Stromleitungen nicht funktionierten. Deshalb ist unbedingt darauf zu achten zur Sicherheit Handys oder Ähnliches zur Verfügung zu haben.

Natürlich sollten alle Geräte sorgfältig und korrekt aufgebaut werden. So ist besonders auf eine gute Horizontierung des Geräts und der jeweiligen Reflektoren zu achten. In unserem Fall windete es teilweise sehr stark, weshalb dem korrekten Aufstellen und Eintreten des Instruments eine besondere Bedeutung zukam. Elementar ist die korrekte

Fixierung der Zieltafeln auf den „weit entfernten“ Reflektoren (vgl. Abb. 4.5). Aufgrund der teilweise extrem großen Distanzen muss die jeweilige Anzielung oftmals „blind“, d.h. nahezu ausschließlich über die Reflektorzieltafel erfolgen, so dass ein fehlerhafter Aufbau dieser Tafeln fatale Auswirkungen auf das Messergebnis hat (vgl. die Standardabweichung der Gruppe 4 aus Tabelle 4.2)



Abb. 4.5: falsch aufgebaute Zieltafel

Die Tatsache, dass der Festpunkt E2 gegen Ende der ersten Woche trotz guter Fixierung verloren ging, zeigt, dass für Anschlusspunkte nicht nur eine gute Fixierung, sondern auch eine geschützte Lage anzustreben ist.

Alles in allem sind die ermittelten Ergebnisse für den Höhenunterschied und auch für die Standardabweichung dieser Höhendifferenz durchaus ansprechend (besonders Gruppe 7 lieferte tolle Ergebnisse), so dass das Arbeitspaket erfolgreich bewältigt wurde.

## 5 Kalibrierung der Sensoren in der Messfahrzeug

Betreuer:

B. Schäfer (INS)

M. Peter (IFP)

Bearbeiter:

Arbeitspaket 5a – Einmessung der Systemkomponenten im Fahrzeug:

Panayot Marev (GuG)

Neda Mohammadi (GEO)

Arbeitspaket 5b – Einmessung mittels Nahbereichsphotogrammetrie

Philipp Pitzer (GuG)

Dai Dong (GEO)

### 5.1 Arbeitspaket 5a – Einmessung der Systemkomponenten im Fahrzeug

#### 5.1.1 Ziel

Sinn und Zweck unseres Arbeitspaketes ist es, ein Koordinatensystem bereitzustellen, in dem das integrierte Navigationssystem von POSLV definiert ist. Dieses besteht aus den drei Teilmesssystemen GPS (G1, G2), Inertialmesseinheit (IMU) und Distanzmessindikator (DMI), welche im und auf dem Fahrzeug angebracht sind. Aufgrund der räumlichen Trennung der Systemkomponenten, ist es notwendig

Hebelarme zwischen den einzelnen Komponenten zu bestimmen, um die Messwerte der einzelnen Bestandteile miteinander kombinieren zu können. Für die Koordinaten der Einzelkomponenten im Fahrzeugsystem ist eine Genauigkeit besser als 1 cm gefordert. Die Aufgabenstellung beinhaltet:

- Festlegung eines geeigneten Verfahrens zur Bestimmung der Hebelarme
- Durchführung der Hebelarmvermessung
- Transformation in das definierte Fahrzeugsystem
- Ermittlung eines Höhenkorrekturwertes, mit dem die Ergebnisse der späteren Aufnahmen auf den Straßenuntergrund reduziert werden können.

Dies wird im Vorfeld des Praktikums gemacht, um die so erhaltenen Koordinaten und Hebelarme zwischen den Systemkomponenten dem WP 6 zur Verfügung zu stellen.

### 5.1.2 Vorgehensweise

#### Durchführung der Hebelarmvermessung

Stative wurden so aufgestellt, dass möglichst viele Marken und zu messende Einheiten (IMU, G1, G2) am Messbus im Blickfeld lagen, sowie mindestens zwei weitere Stative (Standpunkte). Für die Messung wurden fünf Standpunkte vorbereitet und die Ziele in aufgelisteter Reihenfolge in Lage1 und Lage2 gemessen, wobei automatische Tachymeter verwendet wurden. Das bedeutet: zuerst wurde von jeder Station das Gerät auf allen sichtbaren Punkten angezielt und dann konnte der Tachymeter die Messungen selbst ausführen. Diese Iteration war notwendig, weil dies mehr Genauigkeit bringt. Dabei wurden stets Horizontalrichtungen, Vertikalwinkel und Horizontalstrecken gemessen:

mit Reflektor: P1,P2,P3,P4,P5, G1,G2,I1,I2,I3  
ohne Reflektor: M1,M2,M3,M4,W1,W2,W3,W4

wobei:

- Pi: Standpunkte mit Reflektor + großem Adapter;  
Ii: IMU - Inertialmesseinheit (Reflektor mit kleinem Adapter + Zusatz auf Platte);  
Wi: Rad vorne links bzw. rechts und Rad hinten links bzw. rechts (Mitte Radkappe)  
Mi: Marke vorne links bzw. rechts und Marke hinten links bzw. rechts  
Gi: GPS Antenne vorne links bzw. hinten links (Reflektor mit kleinem Adapter)



Abb. 5.1: Marke vorne rechts



Abb. 5.2: Radkappe hinten rechts

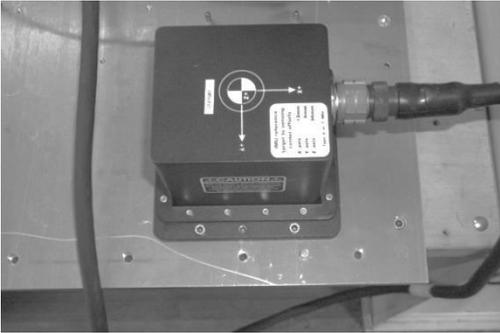


Abb.5.3: IMU

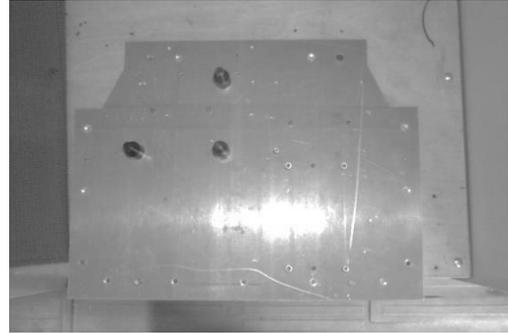


Abb. 5.4: IMU-Platte



Abb. 5.5: Reflektoren an den Plätzen der Antennen

Skizze der Netz-Konfiguration:

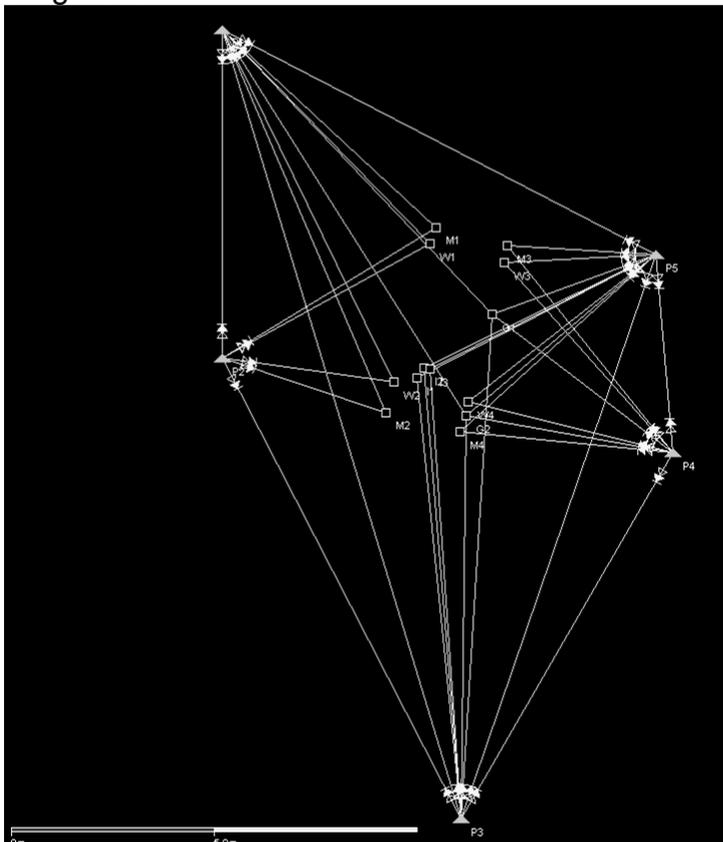


Abb. 5.6: Netzkonfiguration

Die Messmarken am Fahrzeug wurden zusätzlich gemessen, um die einzelnen lokalen Standpunktkoordinaten besser ineinander überführen zu können. Somit hat man eine höhere Anzahl von identischen Punkten zur Verfügung und kann eine bessere Genauigkeit erreichen. Die Messdaten wurden um Fehlmessungen reduziert und es wurden vorhandene Fehlbezeichnungen der Ziele korrigiert.

### **Transformation in das definierte Fahrzeugsystem (Trimble Total Control Software)**

Ziel ist es nun, die Messungen so zusammenzufügen, dass man nach geeigneter Ausgleichung und Transformation die Koordinaten der zu messenden Einheiten, in einem busfest definierten Fahrzeug-Koordinatensystem erhält.

Fahrzeug-Koordinatensystem: Ursprung: GPS-Antena1–G1 (0,0,0)  
 Verwendetes Programm: Trimble Total Control

#### *Anmerkung:*

Das Programm unterscheidet zwischen nationalen und lokalen Koordinaten. Die Daten der Messungen wurden nach den einzelnen Standpunkten getrennt. Es wurden zuerst die Daten des 1. Standpunktes geladen und graphisch dargestellt.

Das definierte Horizont-System (nationale Koordinaten) lautet demnach:

Ursprung: Stand1 (y,x,z=0,0,0)

x-Richtung (Hochwert): Nullrichtung = in Richtung S5

z-Richtung: nach oben

y-Richtung (Rechtswert): orthogonal zur x- und z-Richtung

Nacheinander wurden die Daten aller Standpunkte geladen und automatisch anhand identischer Punkte in das definierte Horizont-System von Stand 1 überführt.

#### *Ausgleichung:*

Es wurde eine freie Netzausgleichung durchgeführt. In unterer Tabelle sind die Ergebnisse zu sehen. Die größte Abweichung liegt beim Hochwert bei 3,2 mm, beim Rechtswert bei 2,0 mm und bei der Höhe bei 0,6 mm.

Tabelle 1: Ergebnis der freien Netzausgleichung

<b>Punkt</b>	<b>Hochwert</b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b>Rechtswert</b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b>Höhe (ell.)</b>	<b><math>\sigma</math></b>
G1	0.0000m	0.8mm	-0.0000m	0.7mm	0.9966m	0.4mm
G2	-2.5333m	1.0mm	-0.6402m	0.7mm	1.0398m	0.4mm
I1	-1.5840m	1.0mm	-1.8766m	1.1mm	-0.0716m	0.4mm
I2	-1.3393m	1.0mm	-1.6873m	1.1mm	-0.0755m	0.4mm
I3	-1.3739m	1.0mm	-1.5519m	1.0mm	-0.0763m	0.4mm
M1	2.1437m	1.6mm	-1.3946m	2.0mm	-0.7590m	0.4mm
M2	-2.4417m	2.4mm	-2.6373m	1.6mm	-0.6755m	0.4mm
M3	1.6889m	1.1mm	0.3507m	0.8mm	-0.7575m	0.3mm
M4	-2.9254m	1.1mm	-0.8048m	0.9mm	-0.6724m	0.3mm
P1	7.0554m	2.2mm	-6.6684m	1.9mm	0.0009m	0.3mm
P2	-1.1095m	2.0mm	-6.6685m	1.6mm	0.0570m	0.3mm
P3	-12.5268m	3.2mm	-0.7860m	1.3mm	-0.1077m	0.2mm
P4	-3.4451m	1.0mm	4.4312m	1.7mm	-0.1179m	0.2mm
P5	1.4675m	1.0mm	4.0048m	1.5mm	-0.1186m	0.2mm

W1	1.7400m	1.6mm	-1.5463m	2.0mm	-1.3051m	0.6mm
W2	-1.6944m	2.3mm	-2.4418m	1.6mm	-1.3133m	0.6mm
W3	1.2645m	1.0mm	0.2903m	0.9mm	-1.3407m	0.4mm
W4	-2.1779m	1.0mm	-0.6076m	0.9mm	-1.3226m	0.4mm

- Radius der Referenzkugel ist 6372000.000 m.

- Systemursprung ist Punkt G1.

Tabelle 5.1

Der maximale Punktfehler ist 6,5 mm. Die Werte sind also innerhalb des Rahmens der geforderten Genauigkeit von 1 cm.

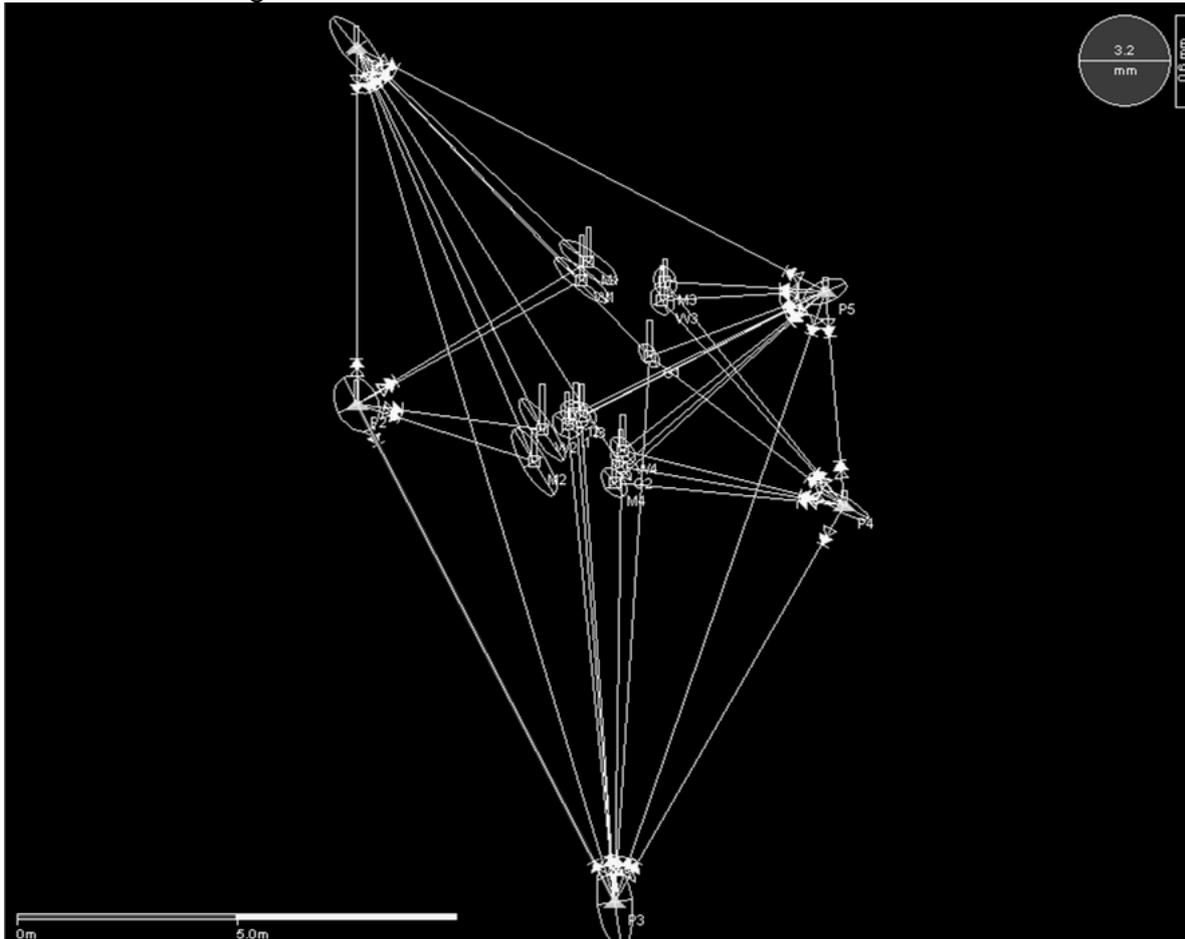


Abb. 5.7: Skizze: Die Fehlerellipsen der Ausgleichung

### Anbringen der Offsets

IMU:

Die eingemessene Position der IMU ist nicht identisch mit dem wahren elektrischen Zentrum der IMU.

Zum einen muss man um die Reflektor + Adapter-Höhe herunter korrigieren, um dann wieder hoch korrigieren zu können zum wahren elektrischen Zentrum der IMU.

- Reflektor-Höhe:  $a = -8.6 \text{ cm} = -0.086 \text{ m}$
- (kleiner) Adapter- Höhe:  $b = -2.4 \text{ cm} = -0.024 \text{ m}$
- IMU-Zentrum –Höhe:  $c = +3.86 \text{ cm} = +0.0386 \text{ m}$

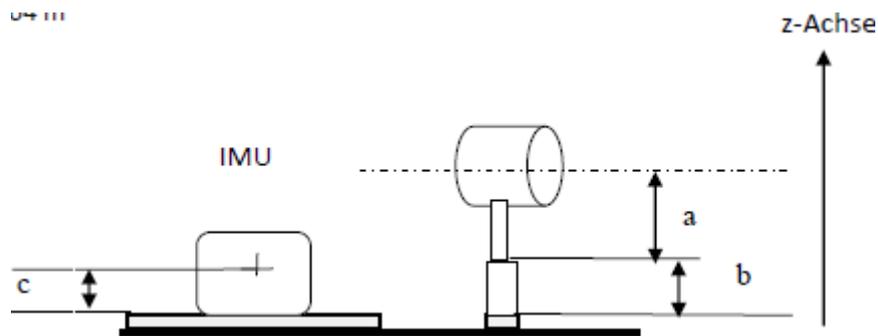


Abb. 5.8

Zum anderen muss man sich von der horizontalen eingemessenen Position zum geometrischen Mittelpunkt der IMU vorarbeiten, um dann schließlich zum wahren elektrischen Mittelpunkt zu gelangen.

G1 und G2:

Man muss um die Reflektor + Adapter-Höhe runter korrigieren, um dann zum Antennenzentrum hoch zu korrigieren.

- Reflektor-Höhe:  $a = -8.6 \text{ cm}$
- (kleiner) Adapter- Höhe:  $b = -2.4 \text{ cm}$
- Antennenzentrum:  $h = +4.6 \text{ cm}$

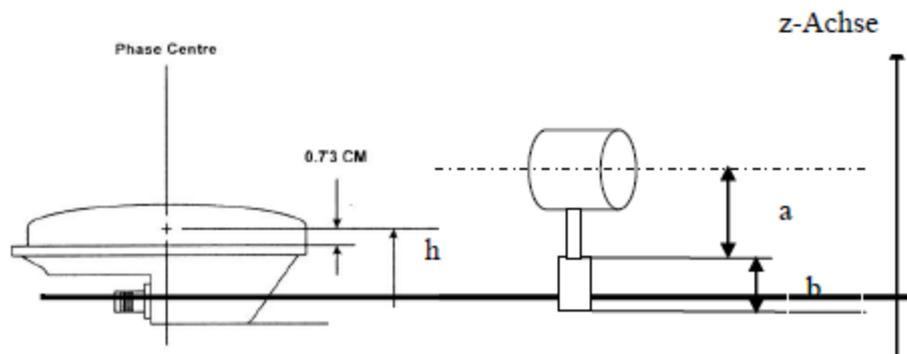


Abb. 5.9

### Transformation in das endgültige Koordinatensystem:

Die Achsorientierung wird beibehalten bezüglich des in Kapitel 2 definierten Fahrzeugsystems, nur die Orientierung der z-Achse wird um  $180^\circ$  gedreht. Die z-Koordinaten werden nach unten positiv gezählt.

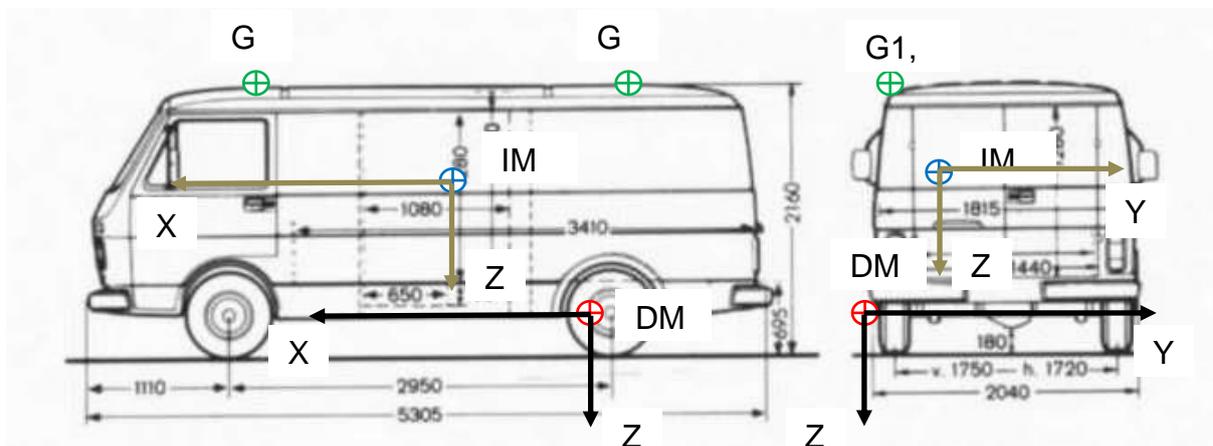


Abb. 5.10: End-Koordinatensystem

### 5.1.3 Ergebnisse

Level arms	X	Y	Z
DMI	0	0	0
GPS1	2,249	0,370	2,292
IMU	0,510	0,691	1,158

*Tabelle 5.2 Level arms of system 'DMI' in [m]*

Level arms	X	Y	Z
DMI	-0,508	-0,699	-1,185
GPS1	1,740	-1,218	-1,109
IMU	0	0	0

*Tabelle 5.3 Level arms of system 'IMU' in [m]*

#### GAMS Parameters

Two Antenna Separation (m): 2.6129

### 5.1.4 Analyse / Interpretation

Unser Arbeitspaket war die Vorlage für das nachfolgende WP6. Aus technischen Gründen konnte das von uns eingemessene System nicht verwendet werden. Es wurden die Ergebnisse von WP5b benutzt.

## 5.2 Einmessung mittels Nahbereichsphotogrammetrie

### 5.2.1 Einführung

Das in Arbeitspaket 6 verwendete Applanix POL LV420 System besteht aus unterschiedlichen und räumlich voneinander getrennten System-Komponenten, deren relative Lage zueinander für die Berechnung einer integrierten Lösung erforderlich ist. Dieses Arbeitspaket beschäftigt sich mit der Definition eines 3D-Fahrzeug-Koordinatensystems in dem das Applanix POL LV 420 System orientiert ist. Im Unterschied zu Arbeitspaket 5a werden die erforderlichen Sensorkoordinaten mit Methoden der Nahbereichsphotogrammetrie bestimmt.

Applanix-System-Komponenten (siehe Abb. 5.11):

- Inertial Measurement Unit (IMU)
- GPS-Antenne
- Distance Measuring Indicator (DMI)
- POS Computer System (POS).

Als Ergebnis des Arbeitspaketes 5b und als Grundlage für Arbeitspaket 6 sind folgende Komponenten zu bestimmen:

- Hebelarme (Ortsvektoren)
  - IMU
  - DMI
  - GPS
- Einbauwinkel zwischen der IMU und der definierten X-Achse
- Distanz zwischen den beiden GPS-Antennen (GPS Azimuth Measurement Subsystem [GAMS])

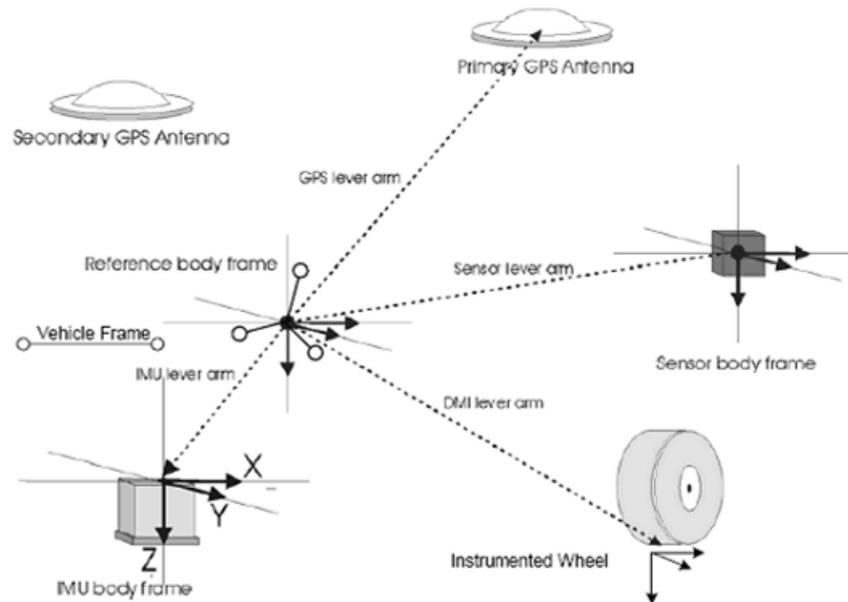


Abb. 5.11: Hebelarme

## 5.2.2 Planung und Durchführung

Grundlage für die photogrammetrische Auswertung der aufgenommenen Bilder ist eine Kamera mit bekannter innerer Orientierung. Auf den Kalibriervorgang wird hier nicht weiter eingegangen, da eine bereits kalibrierte Kamera verwendet wird.

### 5.2.2.1 Planung

Zur späteren Berechnung von 3D-Koordinaten der verschiedenen Sensoren müssen diese in mindestens zwei Bildern sichtbar sein, wobei aus Gründen der Genauigkeitssteigerung eine Erfassung der Punkte mit einer höheren Redundanz angestrebt wird.

In diesem Fall ist es jedoch nicht möglich die Sensoren selbst anzumessen, da sich z.B. das Phasenzentrum der GPS-Antennen im Inneren der Antenne befindet. Daher werden die Befestigungsschrauben der GPS-Antenne mit einem Adapter und kleinen weißen Kugeln signalisiert, welche in den Bildern gut identifiziert werden können (siehe Abb. 5.11). Die Höhe der Adapter und die Kugeldurchmesser werden zur späteren Korrektur in der Auswertung manuell mit einer Schiebelehre gemessen. Die Schrauben wurden jeweils am unteren und oberen Ende signalisiert um eine Genauigkeitssteigerung durch Mittelbildung bei der Koordinatenberechnung zu erhalten.



Abb. 5.11: Signalisierte Punkte an den GPS-Antennen

Das Zentrum des DMI-Sensors befindet sich an der Stelle, an der das Zentrum des linken Hinterrades den Boden berührt. Dieser Punkt ist jedoch photogrammetrisch nicht direkt zugänglich, so dass das Zentrum des Rades (Radnabe – Mitte des VW-Zeichens)

gemessen wird und von dort aus durch Messung des Reifendurchmessers und Reifenbreite auf das Zentrum des DMI-Sensors geschlossen wird (siehe Abb. 5.12).



Abb. 5.12: Messung für den DMI-Sensor

Weiterhin muss das Zentrum der IMU bestimmt werden. Diese wird im Inneren des Fahrzeuges über vier Schrauben auf eine Befestigungsplatte montiert. Da auch hier wieder keine direkte Messung möglich ist werden mehrere Schrauben auf dieser Montageplatte mit den bereits erwähnten Adaptern und Kugeln signalisiert (siehe Abb. 5.13). Von diesen Punkten wird dann das IMU-Zentrum auf der Platte berechnet. Weitere Korrekturen, die an die berechneten Koordinaten angebracht werden müssen, werden weiter unten behandelt.

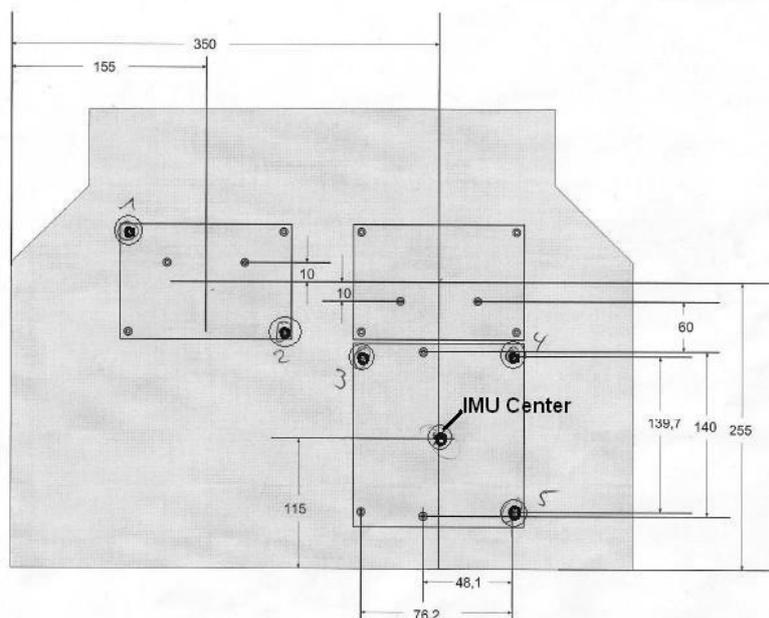


Abb. 5.13: Signalisierte Punkte und Zentrum der IMU auf der Montage-Platte

### 5.2.2.2 Vorbereitung des Fahrzeuges für die Messungen

Für die spätere Auswertung ist es erforderlich, eine ausreichende Anzahl an identischen Punkten in mehreren Bildern identifizieren zu können. Das hier verwendete Fahrzeug hat eine relativ homogene weiße Oberfläche, wodurch nur wenige markante Punkte auf der Oberfläche zu finden sind. Um Passpunkte für die in der Auswertung verwendete Bündelblockausgleichung zu erhalten, werden über die Oberfläche des Fahrzeuges reflektierende Messmarken platziert. Bei der Wahl der Punkte sind bewegliche Fahrzeugteile, wie z.B. Türen, zu vermeiden, da eine Positionsänderung der

Passpunkte während der Aufnahmen vermieden werden muss.

Die Entscheidung für reflektierende Messmarken und der Verwendung eines Blitzes hatte einerseits den Grund der besseren Sichtbarkeit der Marken auf der Fahrzeugoberflächen, andererseits waren Aufnahmen auch bei nicht optimalen Lichtverhältnissen, wie z.B. im Fahrzeuginneren, möglich. Ein Vergleich zwischen einer Aufnahme mit und ohne Blitz ist in Abb. 5.14 dargestellt.



Abb. 5.14: Aufnahme ohne (links) und mit Blitz (rechts)

Die Möglichkeiten zur Aufnahme der im Fahrzeuginneren gelegenen Punkte sind sehr eingeschränkt, da diese nur über die Heck- bzw. Seitentür sichtbar sind. Dies führt zu vergleichsweise ungünstigen Schnittbedingungen.

In einigen Bildern wird zusätzlich ein Maßstab platziert, um die erforderliche Maßstabsinformation für die spätere Ausgleichung zu erhalten. In Abb. 5.15 sind noch einmal zusammenfassend die wichtigsten Punkte dargestellt.



Abb. 5.15: wichtige Punkte

### 5.2.2.3 Aufnahme der Bilder

Bei der Aufnahme der Bilder ist auf eine gute Standortwahl zu achten, d.h. die Bilder sollten von so nah wie möglich aufgenommen werden, um eine gute Auflösung der signalisierten Punkte zu erhalten, aber auch sollte darauf geachtet werden, dass sich alle wichtigen Punkte im Bild befinden. Außerdem ist auf eine ausreichende Überlappung der Bilder (ausreichende Anzahl an Passpunkten in jedem Bild) zu achten. Um diese Vorgaben zu erfüllen, empfiehlt es sich immer drei Aufnahmen pro Fahrzeugseite anzufertigen, d.h. jeweils eine Aufnahme von schräg links und rechts, sowie eine Vertikalaufnahme (siehe Abb. 5.16).



Abb. 5.16: einige Aufnahmen

#### 5.2.2.4 Auswertung

Zur Auswertung und Berechnung der Koordinaten wird die Software PhotoModeler verwendet. In Abb. 5.17 sind die Kamerastandpunkte und die gemessenen Punkte dargestellt.

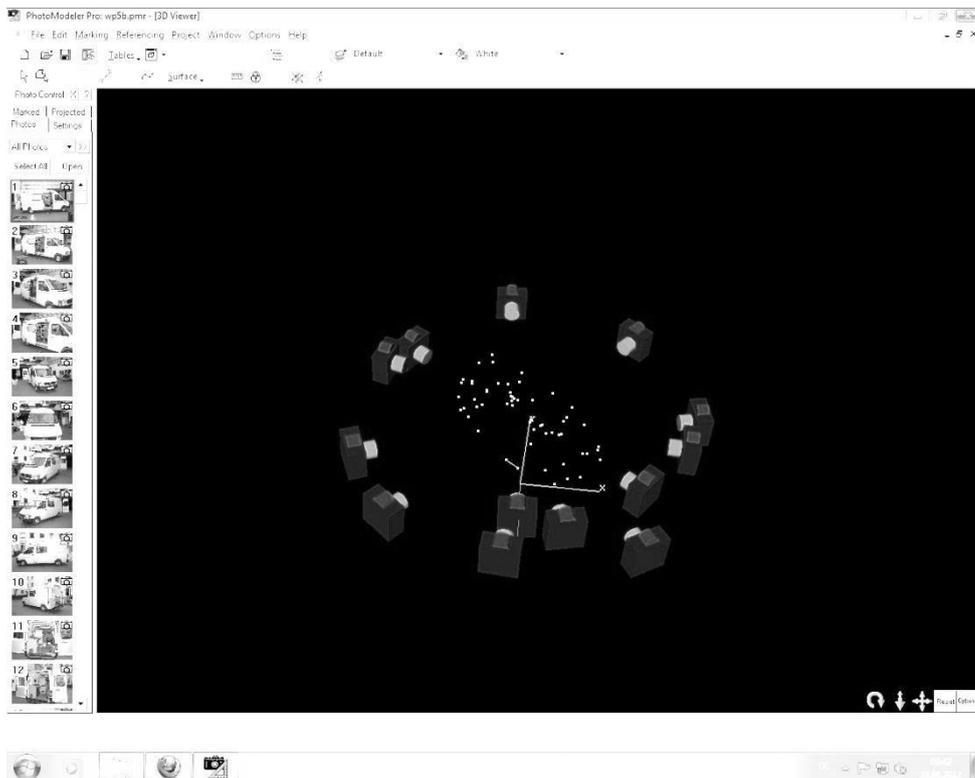


Abb. 5.17: Kamerastandpunkte

Als Ergebnis der Bündelblockausgleichung wird eine Protokoll-Datei, u.a. mit den 3D-Koordinaten, sowie deren Standardabweichung ausgegeben.

### **Definition der Koordinatensysteme**

Im Rahmen der Ausgleichung der Bilder mit PhotoModeler werden der Ursprung und die Orientierung der Achsen des Koordinatensystems beliebig festgelegt. Um den Vorgaben von Arbeitspaket 6 gerecht zu werden, werden zwei neue Koordinatensysteme definiert. Diese beiden Systeme unterscheiden sich nur in ihrem Ursprung und sind beide dreidimensionale-kartesische Rechtssysteme. Für System 1 wird der Ursprung in das Zentrum des DMI-Sensors gelegt, für System 2 in das Zentrum der IMU.

Zur Definition der Koordinatenachsen wird eine ausgleichende Ebene in die vier Radmittelpunkte geschätzt, wobei diese Ebene der X-Y-Ebene entspricht. Die X-Achse verläuft in Fahrtrichtung positiv und wird über die Verbindung der Mittelpunkte der Hinter- und Vorderachse ermittelt. Die Z-Achse entspricht dem Normalenvektor der Ebene und zeigt in Richtung der Straße

In Abb. 5.18 sind beide Systeme, sowie die zu bestimmenden Hebelarme dargestellt.



*Abb. 5.18: System 1 (oben) und System 2 (unten)*

Die Transformation der gemessenen Punkte in die neuen Koordinatensysteme erfolgt über eine Affintransformation. Hier ist bei der Wahl der Passpunkte für die Transformation auf eine gleichmäßige Verteilung der Passpunkte im Raum zu achten.

### Offset-Korrektur der Koordinaten

Wie oben erwähnt, müssen die berechneten Koordinaten um die Offsets der verwendeten Adapter und Kugeln (Punkte der GSP-Antenne und Punkte auf der IMU-Platte) korrigiert werden. Diese wirken sich nur in Z-Richtung aus und werden daher von der Z-Koordinate subtrahiert.

Weiterhin werden die Phasenzentren der GPS-Antennen als „Antennenposition“ benötigt. Dazu werden die aus einem Kalibrierprotokoll der Antennen zu entnehmenden Korrekturen an die entsprechenden Koordinaten angebracht (siehe Abb. 5.9).

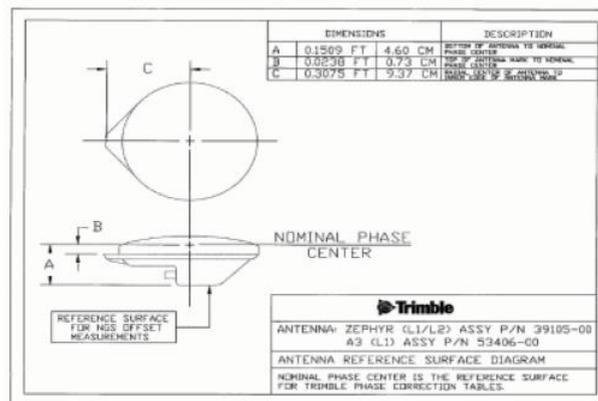


Abb. 5.9: GPS-Antennen Offset

Wie bei den GPS-Antennen wird auch mit der IMU verfahren. Die hier benötigten Korrekturen sind auf der Oberseite der IMU vermerkt (siehe Abb. 5.10).



Abb. 5.10: IMU-Offset

### 5.2.3 Ergebnisse

Insgesamt wurden die Koordinaten von 56 Punkten durch die Bündelblockausgleichung bestimmt. In Tabelle 5.4 ist dargestellt, in wie vielen Bildern die Punkte, welche letztendlich zur Bestimmung der Sensor-Koordinaten verwendet werden, gemessen wurden.

Punkt	GPS 1	GPS 2	Rad 1	Rad 2	Rad 3	Rad 4 (DMI)	IMU
Bilder	8	7	3	4	4	4	4-5

Tabelle 5.4 Anzahl der Punktmessungen

Aus dieser relativ hohen Anzahl der Punktmessungen, in verschiedenen Bildern, ist von einer guten Kontrolle der Punktmessungen auszugehen.

In Tabelle 5.5 sind die bereits um sämtliche Offsets korrigierten endgültigen Koordinaten der Hebelarme dargestellt.

System	Sensor	X [m]	$\sigma_x$ [mm]	Y [m]	$\sigma_y$ [mm]	Z [m]	$\sigma_z$ [mm]
1	DMI	0,000	1,167	0,000	0,902	0,000	1,796
	GPS 1	2,251	0,384	1,911	0,665	-2,272	0,954
	GPS 2	-0,360	1,253	1,930	0,766	-2,313	0,481
	IMU	0,507	0,658	0,691	0,445	-1,162	1,070
2	IMU	0,000	0,658	0,000	0,445	0,000	1,070
	GPS 1	1,743	0,384	1,220	0,665	-1,110	0,954
	GSP 2	-0,867	1,253	1,239	0,766	-1,150	0,481
	DMI	-0,495	1,167	-0,697	0,902	1,180	1,796

Tabelle 5.5 Koordinaten der Hebelarme

Koordinate	X	Y	Z
$\sigma$ [mm]	1,5 mm	0,78 mm	1,34 mm

Tabelle 5.6 mittlere Standardabweichung alle 56 gemessenen Punkte

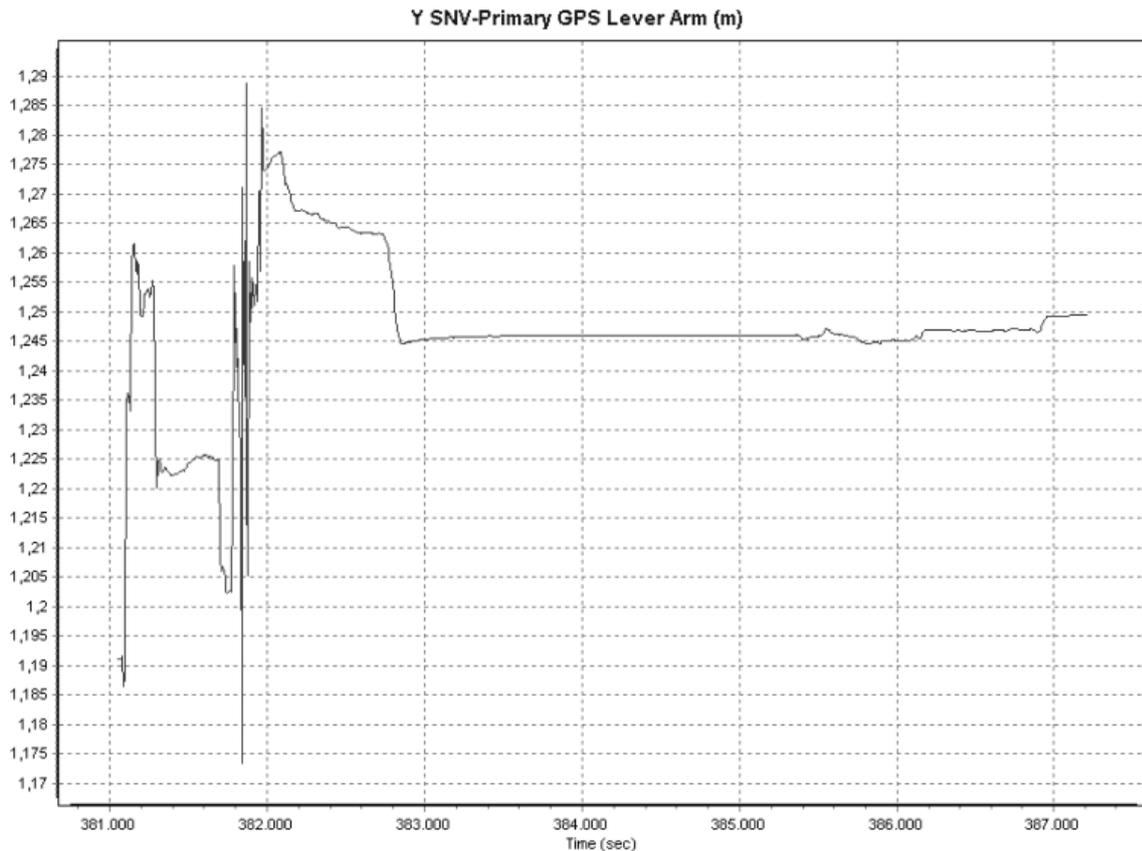
Die in Tabelle 5.5 und Tabelle 5.6 angegebenen Standardabweichungen sind das Ergebnis der Ausgleichung und berücksichtigen nicht die Messfehler, die bei der Bestimmung der Offsets und der Transformation (Residuen der Transformation:  $\leq 10^{-6} m$ ) mit in die Punktbestimmung eingeflossen sind. Vor allem durch die Einfachmessung der Offsets mit einer Schiebelehre ist hier von einem vergleichsweise großen Einfluss auszugehen.

Tabelle 5.7 zeigt die Werte für das GAMS-System im Vergleich zu der Messung in Arbeitspaket 5a und den Messungen von einigen Messfahrten während des Praktikums von Arbeitspaket 6. Zusätzlich ist die Differenz der photogrammetrischen und tachymetrischen Messung zum Mittelwert der Messungen angegeben.

Arbeitspaket 5a	Arbeitspaket 5b	Messung: GAMS
2,613 m ( $\Delta=0,007 m$ )	2,611 m ( $\Delta=0,005 m$ )	2,605 m
		2,605 m
		2,604 m
		2,608 m
Mittelwert:		2,606 m

Tabelle 5.7 Vergleich GAMS

Während einer Messfahrt werden alle Hebelarme erneut ausgeglichen und somit dienen die hier bestimmten Werte lediglich als Startwerte für diese Ausgleichung. In Abb. 5.11 ist exemplarisch die Variation der Y-Koordinate einer der GPS-Antennen während einer Messfahrt abgebildet.



**Abb. 5.11:** Variation der Y-Koordinate der GPS 1-Antenne während einer Messfahrt

#### 5.2.4 Zusammenfassung

Betrachtet man die erreichten Genauigkeiten der ermittelten Hebelarme und vergleicht diese mit der Variation der Koordinaten während einer Messfahrt, sind diese Abweichungen zum Teil mehr als zwei Größenordnungen größer als die entsprechenden Standardabweichungen. Aufgrund dieser starken Variation fallen auch die in den Genauigkeitsangaben nicht berücksichtigten Standardabweichungen der Transformationen und der Offset-Messungen nicht allzu stark ins Gewicht. Während des Praktikums sind die hier bestimmten Werte von Arbeitspaket 6 verwendet worden und somit scheint die Qualität der Ergebnisse auch ausreichend gut zu sein.

Im Vergleich zu Arbeitspaket 5a, wo aufgrund einer tachymetrischen Messung bezüglich der Genauigkeit mit besseren Werten zu rechnen ist, stellen die Methoden der Nahbereichsphotogrammetrie für diese spezielle Aufgabe eine gute Alternative dar.

### 6 Kinematische Aufnahme der Zufahrtswege

Betreuer:

B. Schäfer (INS)

Bearbeiter:

Steffen Braun (GuG)

Ariel Bustamante (GEO)

## 6.1 Ziel

Der Sinn und Zweck des Arbeitspaketes 6 war die kinematische Aufnahme der Zufahrtswege für das geplante Projekt. Dazu erfolgten im Rahmen dieses Arbeitspaketes mehrere kinematische Messfahrten auf den Straßen rund um das Gebiet, in welchem die Wasserleitung für die Pumpstation in Glems geplant wurde. Dazu wurde der Messbus des Instituts für Navigation der Universität Stuttgart mit dem Integrierten Inertialen Navigationssystem POS/LV der US-amerikanischen Firma Applanix ausgestattet. Zusätzlich wurden GPS-Messungen mit weiteren Empfängern wie etwa zwei ublox- oder einem skytrax-Empfängern durchgeführt, um Vergleichswerte für die Qualität der einzelnen Systeme zu bekommen. Des Weiteren wurde vor jeder Messfahrt eine GPS-Basisstation über einem koordinatenmäßig bekannten Punkt im Feld installiert, um in einem späteren Post-Processing-Prozess mit der Applanix-Software POSpac Land durch das Messprinzip des Differentiellen GPS die Genauigkeit der Messungen steigern zu können.

## 6.2 Funktionalität

Das Applanix POS/LV ist ein Integriertes Navigationssystem, welches aus mehreren verschiedenen Komponenten bzw. Sensoren besteht:

1. **IMU (Inertial Measurement Unit):** Bereitstellung der triaxialen Beschleunigung durch Beschleunigungssensoren sowie der Drehraten bzw. Winkelgeschwindigkeiten durch Kreismessungen
2. **DMI (Distance Measurement Indicator):** Messung der gefahrenen Strecke durch externen Sensor am Hinterrad des Busses
3. **GPS (Global Positioning System):** C/A-Code-Positionierung mittels GPS-Empfänger und hochgenaue Bestimmung des Azimutes durch GAMS(GPS Azimuth Measurement Service), bereitgestellt durch zwei GPS-Antennen auf dem Dach des Busses
4. **PCS:** Durchführung und Visualisierung der Echtzeit-Berechnung mittels LV-POSPac-Software und Gewährleistung des Input/Output

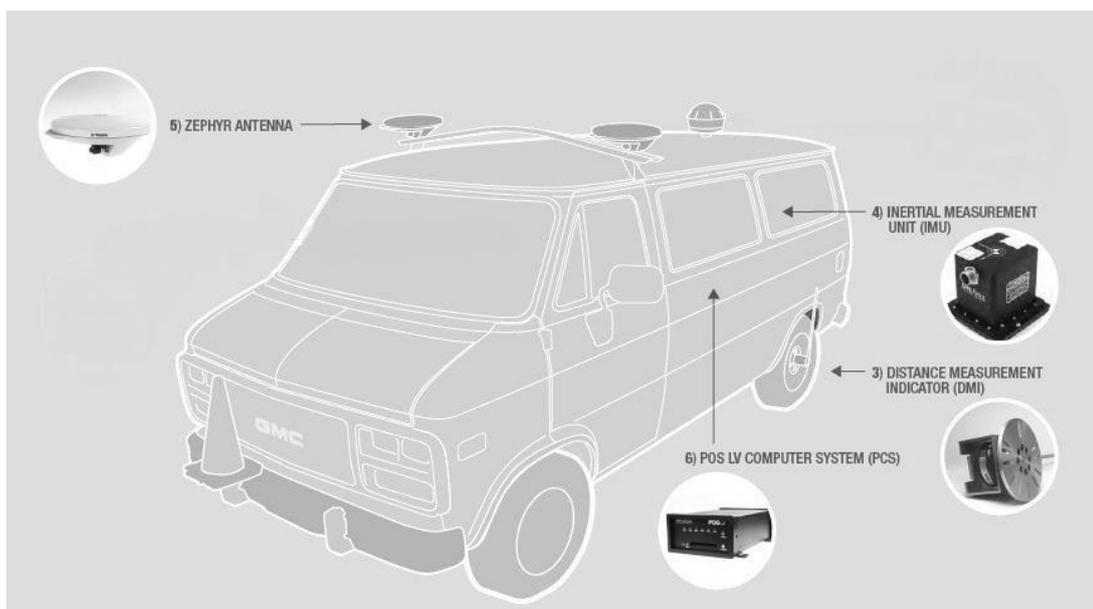


Abb. 6.12: Aufbau des Applanix POS/LV



Somit war es sogar möglich, während der Fahrt Aussagen über die Satellitenkonstellation treffen zu können, da das Programm Angaben über die einzelnen Satellitenbeobachtungen und zur besseren Visualisierung einen Skyplot bereitstellt.

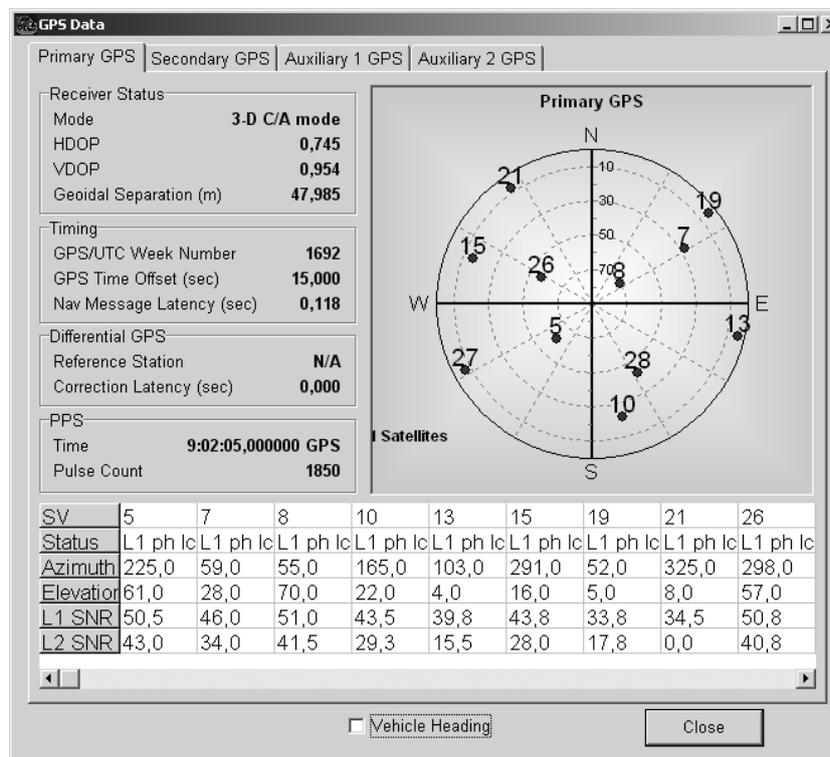


Abb. 6.15: Echtzeit-GPS-Informationen und Skyplot

Die Messungen der verschiedenen Sensoren wurden systemintern in Echtzeit mittels eines Kalman-Filters verarbeitet.

Um ein Post-Processing der aufgezeichneten Daten durchführen und somit die Genauigkeit der Messungen mittels des Verfahrens des Differentiellen GPS (DGPS) steigern zu können, wurde im Feld zusätzlich eine GPS-Basis-Station über jeweils koordinatenmäßig bekannte Punkte aufgebaut. Dies ermöglichte einen zusätzlichen Vergleich zwischen den Ergebnissen direkt an Bord durch Online-Filterung und den Resultaten, die durch das Post-Processing erzielt wurden.

## 6.4 Ergebnisse

Zum Prinzip der Arbeit vor und im Integrierten Praktikum gehörte, dass die einzelnen Arbeitspakete eng zusammenarbeiteten und sich gegenseitig mit Ergebnissen versorgen sollten, die wiederum Grundlage für die optimale Durchführung am eigenen Arbeitspaket waren.

Für das WP6 waren vor allem die Resultate des WP2 und des WP5 essentiell. Das WP2 war für die koordinatenmäßige Bestimmung der Festpunkte zuständig, auf welchen die Basisstation aufgebaut wurde. Das führte während des Integrierten Praktikums zu einigen Problemen, da sich die berechneten Koordinaten für die Festpunkte einige Male änderten und dies auch Auswirkungen auf die Arbeit an diesem Arbeitspaket hatte. So mussten nach jeder Änderung der Koordinaten der Festpunkte die Messungen von neuem post-prozessiert werden.

Das WP5 war für die Berechnung der Hebelarme für die Systemanordnung im Bus zuständig. Somit war die Qualität der Ergebnisse des WP6 auch abhängig von der Arbeit des WP2 und WP5.

	GR1	GR2	GR3	GR4	GR5	GR6	GR7
GPS Day	207	206	205	202	200	199	201
base	217*	217	73A	217	73A	73A**	217
ublox LEA-4T	COM15	COM15	COM15	COM15	COM15	COM15	COM15
ublox LEA-4T eval	COM16	COM16	COM16	---	---	---	---
skytrak	X	X	X	X	X	X	---***
Xsens MTI-G	X	---	---	X	X	X	X
comment	* LEICA GX1230+		no DMI, GAMS failure			** 2 s	*** skytrak failure

base: Trimble 4000SSi (DAT/EPH/ION/MES), 1 Hz, RINEX

ublox: UBX (10 Hz) + NMEA (1Hz), RINEX

skytrak: binary log with rtknavi, 10 Hz, RINEX

Xsens: TXT & KMZ, 50 Hz, high precision, leverarm, XKF automotive

Tabelle 6.1 Zusammenstellung der Messanordnungen der Gruppen

In der obigen Grafik ist eine Zusammenfassung für die einzelnen Messanordnungen der Gruppen gegeben. Daraus lässt sich der GPS-Tag der Messung, die Bezeichnung des Festpunkts als Standpunkt der Basisstation sowie Anmerkungen zu den einzelnen GPS-Empfängern und Systemkomponenten des Applanix erkennen. So ist ersichtlich, dass es bei bestimmten Messfahrten Probleme mit einzelnen Empfängern oder anderen Sensoren an Bord gab. So hatte beispielsweise Gruppe 3 keine Aufzeichnungen des DMI, da dieses vor der Fahrt nicht installiert wurde. Des Weiteren gab es bei manchen Gruppen Differenzen in der Systemkonfiguration wie z.B. bei Gruppe 6, die für das Zeitintervall für die Speicherung der Beobachtungen durch die Basisstation zwei Sekunden anstatt einer Sekunde einstellte. Dies musste beim späteren Post-Processing berücksichtigt werden.

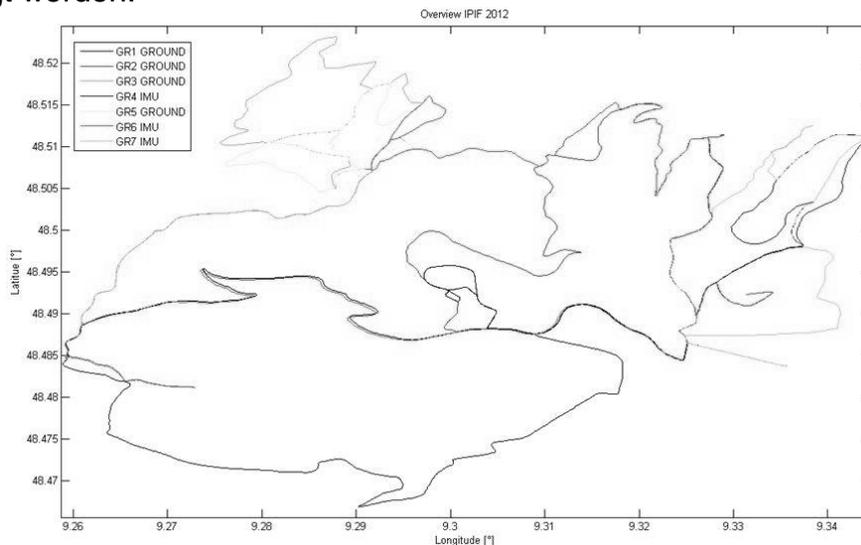


Abb. 6.16: Gefahrenre Trajektorien

Als Resultat der insgesamt sieben Messfahrten ist hier ein Überblick über die verschiedenen gefahrenen Trajektorien dargestellt. Dabei ist in der Grafik zu beachten, dass für das Post-Processing der verschiedenen Messfahrten unterschiedliche

Einstellungen für den Ursprung der Hebelarme getroffen wurden, d.h. vier Messfahrten sind auf das Hinterrad, drei Messfahrten auf die IMU bezogen. Die koordinatenmäßige Bestimmung der Trajektorie ist sicherlich das Hauptergebnis des WP6, welches an das WP10 zur Visualisierung weitergegeben wurde.

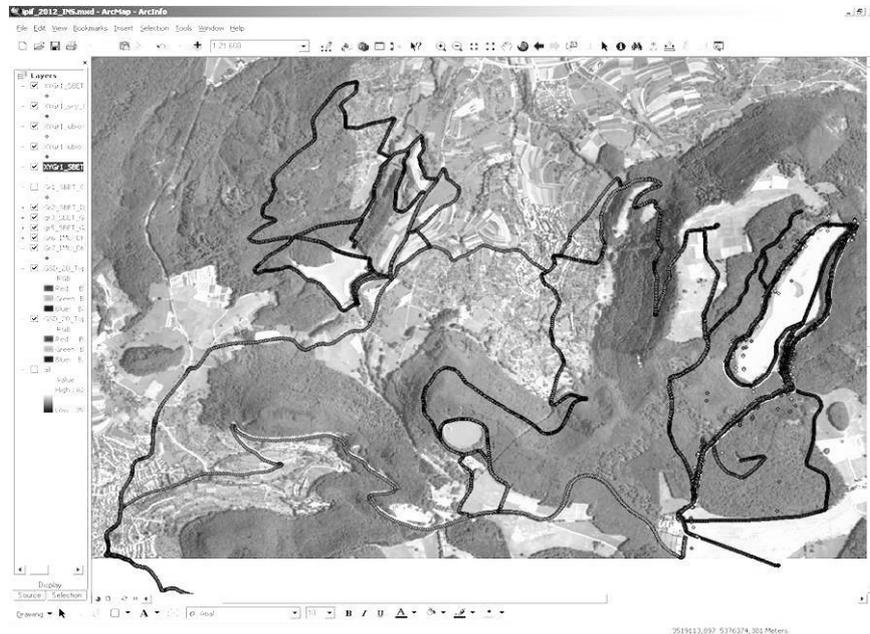


Abb. 6.17: Trajektorien in ArcGIS

Zusammen mit Orthophotos bzw. Luftbildern und der Software ArcGIS können die gefahrenen Trajektorien visualisiert werden und man kann sich somit einen besseren Überblick über die Zufahrtswege machen. Zusätzlich ist es möglich, die Trajektorie in ArcGIS zur besseren Visualisierung mit weiteren Ergebnissen der Messfahrten zu kombinieren.

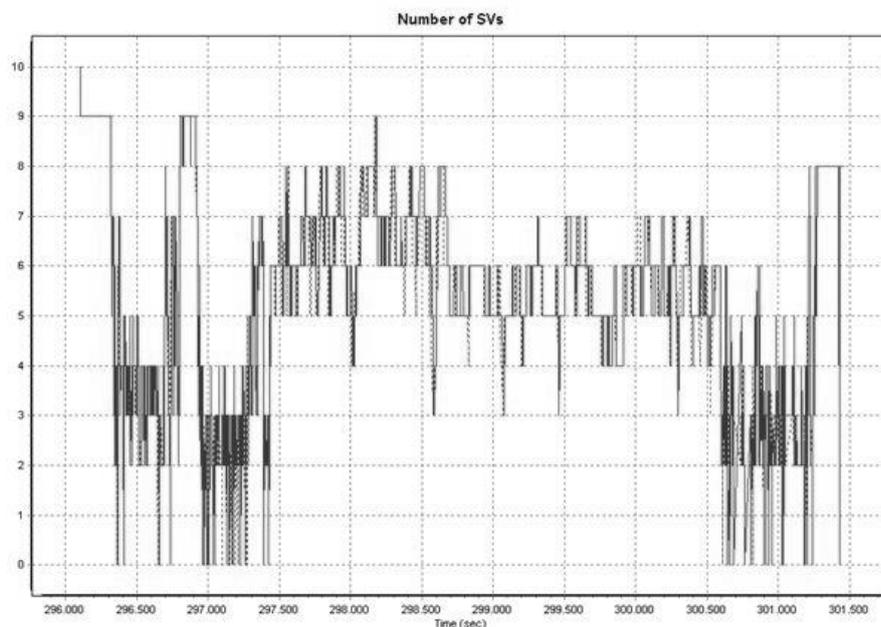


Abb. 6.18: Darstellung der Anzahl der sichtbaren Satelliten

Somit wurden beispielsweise die Daten über die Anzahl der sichtbaren Satelliten während der Messfahrten an das WP10 weitergegeben und visualisiert.

Durch den Umstand, dass während der Messfahrt eine Basisstation über einem Festpunkt aufgestellt wurde, war es möglich, die Messdaten einem Post-Processing zu unterziehen. Dadurch ließ sich als weiteres Ergebnis ein Vergleich der Genauigkeiten der Online-Filter-Daten und den Post-Processing-Daten durchführen.

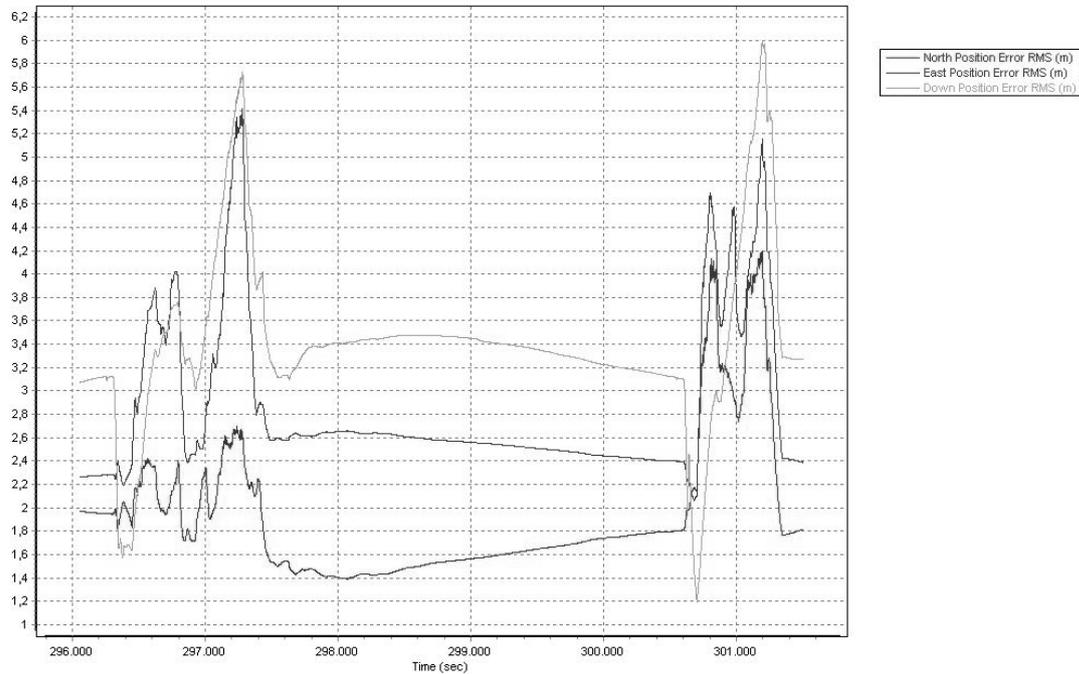


Abb. 6.19: Darstellung der Positionsfehler

So bewegen sich die Mittelwerte für die Positionsfehler für den Online-Filter-Prozess in einem Bereich zwischen ca. 2 - 4,5 m. Die starken Schwankungen sind mit Änderungen in der Satellitenkonstellation bzw. Satellitensichtbarkeit an einzelnen Standorten während der Messfahrt zu begründen. So erwies sich das zu befahrene Gebiet als relativ ungeeignet für GPS-Messungen, da sich ein Großteil der Straßen in Wäldern befand und dort die GPS-Signale meist abgeschattet sind.

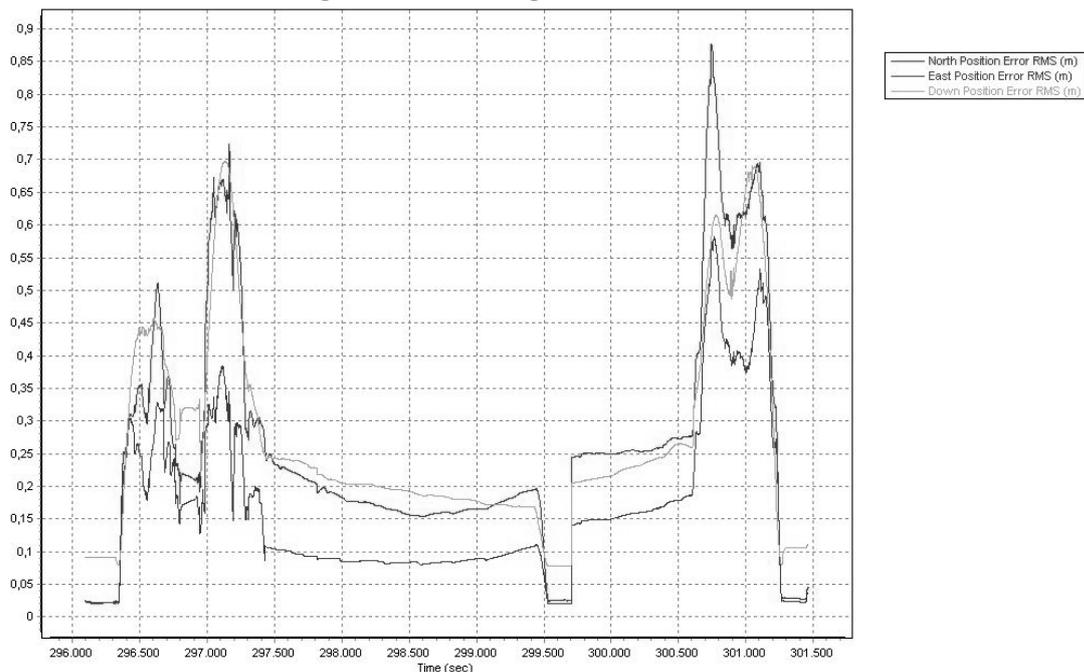


Abb. 6.20: Darstellung der Positionsfehler nach Post-Processing

Nach dem Post-Processing der Messdaten reduzieren sich die Positionsfehler auf ein deutlich kleineres Niveau. So bewegen sich die Mittelwerte nur noch in einem Bereich zwischen 0,2 - 0,4 m, was eine deutliche Steigerung der Positionsgenauigkeit darstellt. Dies unterstreicht die Bedeutung und Leistungsfähigkeit eines Post-Processing.

## 6.5 Ausblick

Man kann sagen, dass man mit der Vorbereitung sowie der Durchführung des WP6 durchaus zufrieden und das Arbeitspaket als gelungen betrachten kann. Natürlich gibt es auch hier Ansätze und Verbesserungsvorschläge, welche es gilt bei der nächsten Durchführung der folgenden Integrierten Praktika wahr zu nehmen und zu verbessern. So ist beispielsweise die Kommunikation zwischen den einzelnen Arbeitspaketen vor allem für die Vorbereitung des Integrierten Praktikums als ausbaufähig zu betrachten. Hier gab es vor allem Abstimmungsprobleme mit dem WP2 über die Art und Weise bzw. in welcher Form die Ergebnisse an das nächste Arbeitspaket geliefert werden, was natürlich zu Verzögerungen und einer sinkenden Produktivität der betroffenen Arbeitspakete führt.

Nichtsdestotrotz lässt sich auch ein wenig stolz sagen, dass die einstimmige Meinung unter den durchführenden Arbeitsgruppen diejenige war, dass das WP6 sicherlich eines der interessantesten und informativsten Arbeitspakete des Integrierten Praktikums 2012 war.

## 7 Vermarktung und Ausgleichung des Damm- und des Speicherbeckengebiets

Betreuer:

B. Zheng (IIGS)

Bearbeiter:

Maximilian Wenk (GuG)

Thomas Rieger (GuG)

Ruxandra Morosan (GEO)

Vlad Anisia (GEO)

### 7.1 Ziel

In den beiden Bereichen der entstehenden Tunnelportale waren zwei Festpunktnetze anzulegen, die aus jeweils fünf Festpunkten bestehen sollten. Diese beiden Portalnetze bildeten die Grundlage für weitere wichtige Vermessungs- und Bauarbeiten. Als Beispiele hierfür stehen die Absteckung der benötigten Gebäude, sowie die Tachymetrische Aufnahme der Straßen sowie der Vegetationsgrenzen. Diese Aufgaben setzen hochpräzise Koordinaten der Portalnetzpunkte und eine möglichst spannungsfreie innere Netzgeometrie der beiden Portalnetze voraus.

### 7.2 Vorgehensweise

Bei der Planung war eine der wichtigsten Voraussetzungen, dass zwischen den einzelnen Punkten jeweils Sichtkontakt besteht. Dies ist notwendig, da die Anzahl der Unbekannten gleich bleibt, die Redundanz allerdings mit jeder Beobachtung steigt. Durch die Kombination einer möglichst gleichmäßigen Verteilung der Portalpunkte und der Messung von Richtungen und Strecken zwischen allen Portalpunkten erhöht sich die Genauigkeit.

Um eine spannungsfreie Netzgeometrie zu erreichen, wurden die beiden Portalnetze zuerst lokal vermessen und anschließend frei ausgeglichen.

Gemessen wurde unter Zwangszentrierung in drei Vollsätzen pro Standpunkt zu den - wenn möglich - jeweils anderen vier Punkten. Um diese Portalnetze später in Gauß-

Krüger-Koordinaten zu erhalten wurden mit Hilfe von GPS-Messungen die GPS-Koordinaten von jeweils zwei Punkten gemessen und von der Arbeitsgruppe 2 in Gauß-Krüger-Koordinaten transformiert. Die jeweils anderen drei, nicht mit GPS vermessenen Netzpunkte wurden über eine Helmerttransformation vom lokalen System in das von uns benutzte Rauenberg-System überführt.

### 7.3 Ergebnisse

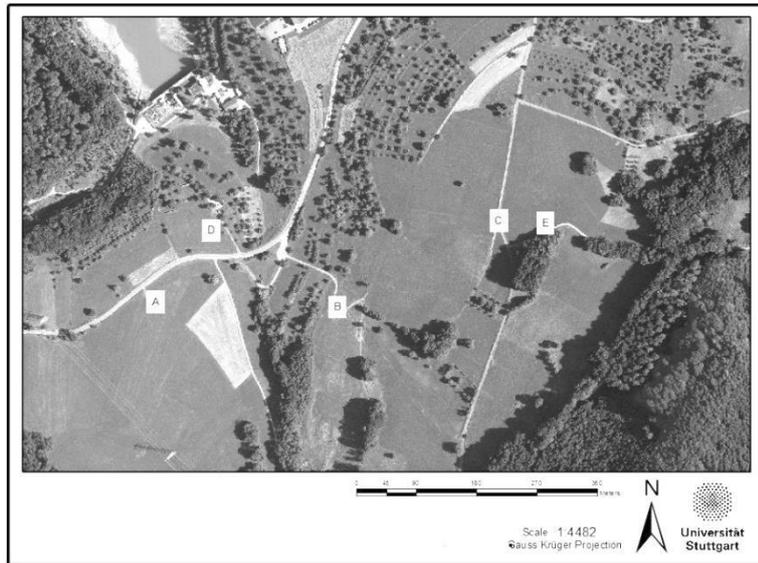


Abb 7.1: Dammggebiet

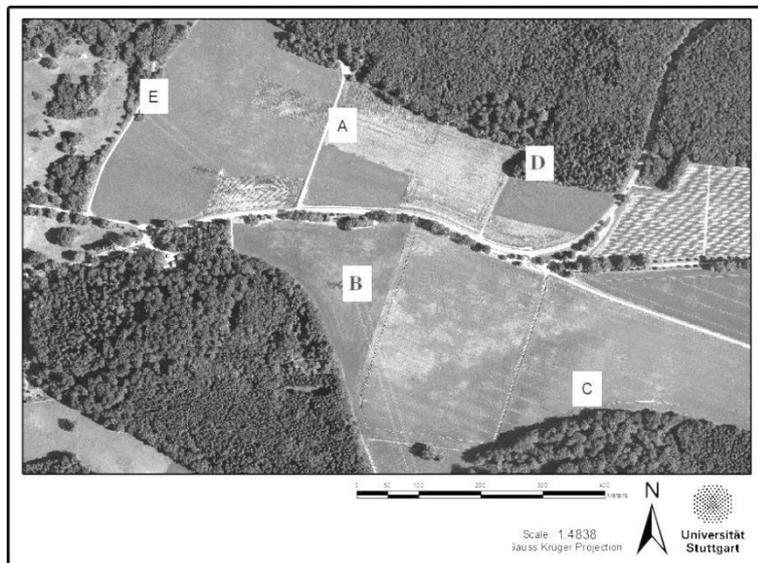


Abb 7.2: Speicherbeckengebiet

Lokale Koordinaten des Speicherbeckengebiets nach der Ausgleichung:

Gruppe 2						
Punkt	Rechts (Y)	Hoch (X)	dy	dx	sy	sx
	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
A	-0.00488	306.67623	-4.88	-3.77	1.98	1.50
B	65.16549	673.30959	8.49	-0.41	1.71	1.56
C	451.53989	706.45960	-0.11	-0.40	1.53	1.68
D	275.78074	326.74481	-9.26	4.81	1.90	1.65
E	0.00575	-0.00024	5.75	-0.24	1.95	1.43
Gruppe 6						
Punkt	Rechts (Y)	Hoch (X)	dy	dx	sy	sx
	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
A	0.00096	0.00059	0.96	0.59	0.61	0.36
B	-0.00348	372.39321	-3.48	1.21	0.60	0.49
C	374.58704	472.65765	1.34	0.65	0.45	0.45
D	268.02143	68.02815	1.63	-2.45	0.87	0.72
E	53.68685	-301.94299	-0.45	0.01	0.64	0.35
Gruppe 7						
Punkt	Rechts (Y)	Hoch (X)	dy	dx	sy	sx
	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
A	-0.00002	-0.00089	-0.02	-0.89	0.79	0.50
B	0.00530	372.36834	5.30	-1.66	0.61	0.53
C	374.59554	472.62766	-4.46	-2.34	0.57	0.57
D	268.01998	68.01536	-0.02	3.36	0.73	0.55
E	53.67320	-301.93847	-0.80	1.53	0.78	0.46

Tabelle 7.1

Mittlere Gauß-Krüger-Koordinaten des Speicherbeckengebiets:

Punkt	Rechts	Hoch	Normalhöhe	Sigma Rechts [mm]	sigma Hoch [mm]
A	3522578957,000	5372449664,000	730427,000	0.776	1102,000
B	3522580.55	5372173177,000	735799,000	0.838	0.948
C	3522947647,000	5371972483,000	731580,000	0.882	0.838
D	3522940373,000	5372360157,000	726334,000	0.953	1137,000
E	3522273.00	5372470144,000	736179,000	0.74	1102,000

Tabelle 7.2

Lokale Koordinaten des Dammbereichs nach der Ausgleichung:

Gruppe 1						
Punkt	Rechts (Y)	Hoch (X)	dy	dx	sy	sx
	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
A	-0.08826	279.09137	-88.26	251.37	0.92	0.63
B	-0.00488	0.24870	-4.88	248.70	1.30	0.58
C	146.59827	-235.66475	68.27	-664.75	2.65	1.02
D	109.01250	196.02204	-67.50	282.04	0.85	0.64
E	141.53237	-318.11735	92.37	-117.35	2.43	0.93
Gruppe 4						
Punkt	Rechts (Y)	Hoch (X)	dy	dx	sy	sx
	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
A	177.98292	-504.75519	2.92	-55.19	0.81	0.6
B	-0.00705	82.63918	-7.05	31.18	0.79	0.53
C	-0.00549	0.03086	-5.49	30.86	0.82	0.54
D	63.99063	-428.53436	16.63	-34.36	0.77	0.6
E	160.79299	-226.4425	-7.01	27.5	1.18	0.55
Gruppe 5						
Punkt	Rechts (Y)	Hoch (X)	dy	dx	sy	sx
	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
A	113.21052	603.23877	0.52	-1.23	0.59	0.35
B	0.00703	348.40948	7.03	-0.52	0.90	0.55
C	38.12892	73.28198	-1.08	2.98	0.63	0.43
D	179.15378	483.00837	-6.22	-1.63	0.51	0.39
E	-0.00026	0.00040	-0.26	0.40	0.52	0.34

Tabella 7.3

Mittlere Gauß-Krüger-Koordinaten des Dammbereichs:

Punkte	Rechts	Hoch	Normalhöhe	sigma Rechts [mm]	sigma Nord [mm]
A	3521235.69	5373872.875	496.837	0.594	0.435
B	3521514.376	5373864.068	496.211	0.746	0.482
C	3521754.824	5374003.076	526.213	0.628	0.476
D	3521322.176	5373979.268	483.372	0.551	0.47
E	3521837.092	5373995.385	537.998	0.701	0.42

Tabella 7.4

**7.4 Analyse / Interpretation**

Vor der Abreise nach Glems wurden bereits Punktdefinitionen geplant. Allerdings stellte sich vor Ort heraus, dass diese in der Praxis nicht einzusetzen waren.

Daher mussten am ersten Tag die zugeteilten Gruppen die Punkte neu definieren, bevor sie mit der Messung beginnen konnten. Auf Grund der Topographie und der Vegetation stellte sich dies als fordernde und zeitraubende Aufgabe heraus, die allerdings zufriedenstellend gemeistert werden konnte.

Auch bei der Messung an sich, traten Probleme hinsichtlich des Zeitmanagements und der Genauigkeit auf. Da der Zeitplan jeweils zwei Workpackages pro Gruppe täglich vorsah, arbeitete man stets unter Zeitdruck. Dies führte dazu, dass einige Gruppen ihre

Messungen nicht vervollständigen konnten und dadurch unvollständige Datensätze hatten. Außerdem wurde nicht immer auf die gewünschte Genauigkeit geachtet, die bei großen Entfernungen nötig wäre.

Ein weiteres Problem bestand darin, dass sich mehrere Gruppen auf Grund ihrer Arbeitseinteilung im Weg standen. Als Beispiel wäre zu nennen, dass während einer GPS-Messung die Portalpunkte nicht für andere Gruppen zur Verfügung standen.

Allerdings war es durch eine gelungene Verteilung der Punkte möglich, eine gute Sicht auf alle Portalpunkte zu haben und dadurch eine Messung durchzuführen. Dies lässt sich auch an den oben aufgeführten Standardabweichungen der lokalen Koordinaten sehen.

Die Ausgleichung der Koordinaten wurde mit Hilfe der Software „PANDA“ durchgeführt. Nach anfänglichen Schwierigkeiten und genug Übung konnte dies ohne größere Probleme für die einzelnen Gruppen durchgeführt werden.

Bei den Mittelwertbildungen stellte sich das Problem heraus, dass nicht alle Gruppen ihre Feldbücher auf den jeweils gleichen Punkt reduziert haben und unterschiedliche Messgenauigkeiten sorgten dafür, dass manche Beobachtungen nicht berücksichtigt wurden, da ihre Genauigkeit zu gering war.

Als weiteres Problem stellte sich während der Ausgleichung heraus, dass zwischen dem ersten und zweiten Tag die Punktbezeichnungen im Gebiet des Speicherbeckens geändert wurden, ohne dass dies den für das Arbeitspaket zuständigen Personen mitgeteilt wurde. Das dadurch entstandene Chaos konnte letztlich beseitigt werden, allerdings wurden dafür mehrere Nachtschichten benötigt.

Auch bei der Transformation führte dieses Vertauschen zu Problemen, da einzelne Punkte mit falschen Beobachtungen berechnet wurden. Außerdem wurde es versäumt, beim Programmieren der m-Files für die Transformation der lokalen Koordinaten in Gauß-Krüger-Koordinaten, darauf zu achten den Maßstabsfaktor mit 1 gleichzusetzen um die innere Netzgeometrie nicht zu zerstören.

Letztlich konnten aber diese Probleme gelöst werden und die oben aufgeführten Koordinaten errechnet werden.

Die Höhen der Portalpunkte wurden mittels Interpolation aus einem digitalen Geländemodell des Gebietes extrahiert. Die gemessenen Zenitwinkel wurden somit nicht benötigt.

## **8 Topographische Geländeaufnahme mittels Tachymeter**

Betreuer:

M. Metzner (IIGS)

Bearbeiter:

Jinyue Wang (GuG)

Run Shi (GEO)

### **Zusammenfassung**

Das Arbeitspaket 8 hatte folgende Aufgaben während des integrierten Praktikums:

- Importieren der 3D-Koordinaten von Festpunkten ins Tachymeter Leica TCR407
- Freie Stationierung auf einem oder mehreren geeigneten Standpunkten
- Geländeaufnahme im Bereich der beiden Tunnelportale
- Datenübertragung an einem Laptop mittels LGO-Tools
- Überprüfen der Lagekoordinaten sowie Höhen von den aufgenommenen Geländepunkten
- Weiterleiten der endgültigen Koordinaten in einer PKT Datei an AP 9 und AP 10

## **8.1 Ziel**

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurde die topographische Geländeaufnahme zur Bestimmung der Lage und Höhe der Zufahrtsstraße, der Bäume, dem Ackerland usw. im Bereich der beiden Tunnelportale angewendet. Anhand von den Koordinaten der aufgenommenen Punkte konnte die Tunnelachse sowie die Position des abzusteckenden Gebäudes geplant werden.

## **8.2 Vorgehensweise**

Die topographische Geländeaufnahme wurde im Bereich der beiden Tunnelportale in Nähe vom Glems-Unterbecken (Dam) sowie Glems-Oberbecken (Basin) durchgeführt. Mit den bekannten Festpunkten konnte die Lage und Höhe des Standpunktes durch das Verfahren freie Stationierung bestimmt werden. Von lage- und höhenmäßig bekannten Standpunkten aus ließ sich die Lage und Höhe jedes einzelnen aufgenommenen Punktes mit gemessener Horizontalrichtung, Vertikalwinkel und Schrägstrecke bestimmen.

### **8.2.1 Prinzip der freien Stationierung**

Nachdem alle Reflektoren auf den Anschlusspunkten richtig aufgestellt wurden, ließ sich ein geeigneter Tachymeterstandpunkt der örtlichen Situation entsprechend aussuchen. Von dem Standpunkt aus sollten alle Festpunkte sowie die aufzunehmenden Punkte gut sichtbar sein. Innerhalb jedes der beiden Portalnetze standen fünf Festpunkte zur Verfügung. Die für die Stationierung benötigten Koordinaten wurden vor der Messung schon in das Tachymeter eingegeben. Die gewählten Festpunkte sollten das gesamte Messgebiet am besten umschließen und sich nicht nur auf einer Seite des Messgebietes befinden.

Das Programm „Freie Station“ des Tachymeters Leica TCR407 berechnete die Lage und die Höhe des Standpunktes in unserem Fall mittels Ähnlichkeits- bzw. Helmert-Transformation aus Messungen zu mindestens zwei und maximal fünf bekannten Punkten. Falls mehr Messungen vorhanden sind als benötigt, werden die Lagekoordinaten (Rechtswert und Hochwert) nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt. Die Höhe des Standpunktes lässt sich aus den gemittelten Höhendifferenzen berechnen.

Die ganze Geländeaufnahme war unterteilt in den Bereich „Dam“ und in den Bereich „Basin“, wo sich die Tunnelportale befinden sollten. In dem Bereich „Dam“ standen leider wegen Mangel der Höheninformation von drei der fünf Festpunkten, nur die 3D-Koordinaten von zwei Festpunkten für die freie Stationierung zur Verfügung. Im Bereich „Basin“ erfolgten zwei freie Stationierungen jeweils über drei Festpunkte mit bekannten Lagekoordinaten und Höhen.

### **8.2.2 Durchführung**

Bevor die topographische Geländeaufnahme begann, stellte man alle verwendete Reflektorstäbe auf die gleiche Länge ein. Die aufzunehmenden Geländepunkte wurden mit dem Reflektor signalisiert. Die Reflektorhöhen bei unserer Messung betragen jeweils 1,6 m und 2,0 m für zwei Gruppen. Die Reflektorhöhe konnte direkt am Reflektorstab abgelesen und ins Tachymeter eingegeben werden. Während der Messung war es immer notwendig zu überprüfen, ob die Reflektorhöhe unabsichtlich geändert worden war.

Für AP 8 ist es wichtig, die Lagen und Höhen der Zufahrtswege sowie die Hindernisse in der Nähe der Tunnelportale zu erfassen. Aufgenommen sind in unserem Fall Wege, Wälder, Maisfelder, Pfade und Zäune. Alle aufgenommenen Punkte sind im Handriss, in

der die Messsituation skizzenhaft dargestellt wurde, mit fortlaufender Nummerierung eingetragen. So konnte der Zusammenhang der Punkte im Büro kontrolliert werden. Die Objektpunkte wurden nur in Fernrohrlage I aufgemessen. Die Orientierung eines Anschlusspunktes sollte regelmäßig während der Aufnahme und am Ende der Messung kontrolliert werden.

### 8.3 Ergebnisse

#### 8.3.1 Koordinaten und Höhen der aufgenommenen Geländepunkte

Die Lagekoordinaten und Höhen der aufgenommenen Punkte wurden automatisch vom Instrument berechnet und abgespeichert. Mittels Leica GeoOffice Tools wurden die Ergebnisse ausgelesen. Jeder Punkt ist mit seiner eigenen Punktnummer und Punktcode zu identifizieren.

Punktcode	Objektart
10	Baum
20	Weg
30	Gebäude
40	Wiese
50	Wald
60	Ackerland
70	Zaun
80	sonstige
90	Höhenpunkt

*Tabelle 8.1 Codelist für unterschiedliche Objektarten*

Die Informationen jedes aufgenommenen Punktes enthalten Punktnummer, Rechtswert, Hochwert und Punktcode. Wir haben im Bereich „Basin“ insgesamt 152 charakteristische Punkte und im Bereich „Dam“ 98 Objektpunkte aufgemessen. Die Ergebnisse sind nur teilweise aufgelistet und sehen wie folgt aus:

Ergebnis der aufgenommenen Punkte im Bereich Dam				
Punkt Nr.	Rechtswert [m]	Hochwert [m]	Höhe [m]	Code
103	3521292,401	5373847,958	495,070	60
104	3521342,674	5373907,458	486,470	60
113	3521330,277	5373947,488	484,848	20
114	3521337,499	5373947,445	484,369	20
115	3521260,812	5373740,856	508,992	70
136	3521215,808	5373576,223	535,977	50
137	3521208,834	5373579,932	535,874	50
139	3521252,024	5373931,610	491,046	20
143	3521234,857	5373918,419	492,596	20
186	3521239,479	5373782,080	505,212	90
187	3521270,526	5373827,168	498,652	90

*Tabelle 8.2 Daten direkt aus dem Instrument Leica TCR407*

Ergebnis der aufgenommenen Punkte im Bereich Basin				
Punkt Nr.	Rechtswert [m]	Hochwert [m]	Höhe [m]	Code
1	3522757,061	5372467,977	729,897	60
2	3522743,025	5372438,303	728,105	60

7	3522617,708	5372535,279	734,214	50
8	3522664,377	5372510,300	732,084	50
32	3523054,423	5372345,717	726,026	20
33	3523042,503	5372329,942	724,996	20
123	3522280,206	5372301,709	732,537	10
124	3522327,812	5372299,684	732,111	10
125	3522339,569	5372299,246	731,859	10
150	3522459,082	5372493,229	732,398	60

*Tabelle 8.3 Nachgearbeitete Daten wegen fehlerbehafteten Höheninformationen*

## 8.3.2 Datenanalyse innerhalb der Messungsgebiete mittels ArcMap

### 8.3.2.1 Überprüfen der Lagekoordinaten

Um die Ergebnisse der Geländeaufnahme zu überprüfen, wurde die aufgenommenen Geländepunkte zusammen mit dem Orthophoto bzw. DTM derselben Bereiche in ArcMap dargestellt.

Nachdem ein neues Projekt in ArcMap angelegt wurde, ließ sich das Orthophoto mit DTM ins Projekt importieren. Die Höheninformationen aus dem DTM ließen sich dann mit den Lageinformationen aus dem Orthophoto überlagern. Die Koordinatenliste der aufgenommenen Punkte im xls-Format wurde eingelesen. So konnten solche Punkte anschaulich auf der Karte dargestellt werden. Die aufgenommenen Geländepunkte werden in ArcMap mit einem kleinen Kreis dargestellt.



*Abb. 8.1: Übersicht aller aufgenommenen Geländepunkte*

Der Bildabschnitt zeigt das ganze Messgebiet. Offensichtlich eignen sich Orthophotos sehr gut als Kartenhintergrund. Aus dem Orthophoto kann man z.B. die Form von den Becken, die Orientierung der Zufahrtswege und den Umfang der Wälder sowie die Verteilung der aufgenommenen Punkte erfassen. Die Punkte, die die Wegkante und Waldränder beschrieben, sind relativ dicht aufgenommen.

Das von uns angewendete Orthophoto hat eine Bodenauflösung von 50 cm. Und die Gitterweite von DTM beträgt 1 m. Die Lagegenauigkeit von Objekten im Orthophoto ist abhängig von der Höhengenaugigkeit im DTM und den Verdeckungen. Fehlerhafte Höhen im Geländemodell werden in Lagefehler im Orthophoto abgeleitet. In diesem Fall sind die Punkte in radialer Richtung bezüglich des Nadirpunktes verschoben. Der Lagefehler im Orthophoto ist prinzipiell abhängig von Betrag des Höhenfehlers im DTM, der Orientierung und Position des Punktes im Bild und der Geländeneigung. Außerdem führt ein starkes Höhenrelief bzw. eine große Steilheit der Erdoberfläche zu Verdeckungen. Die für das Orthophoto benötigten Intensitätswerte sind im Bild nicht enthalten. Die beiden Fehlerquellen beeinflussen hauptsächlich die Genauigkeit des Orthophotos.

Daher kann man die Ergebnisse der Geländeaufnahme nicht ganz genau überprüfen, sondern es lässt sich nur grob abschätzen, ob sich die aufgenommenen Punkte ungefähr in der richtigen Position befinden.

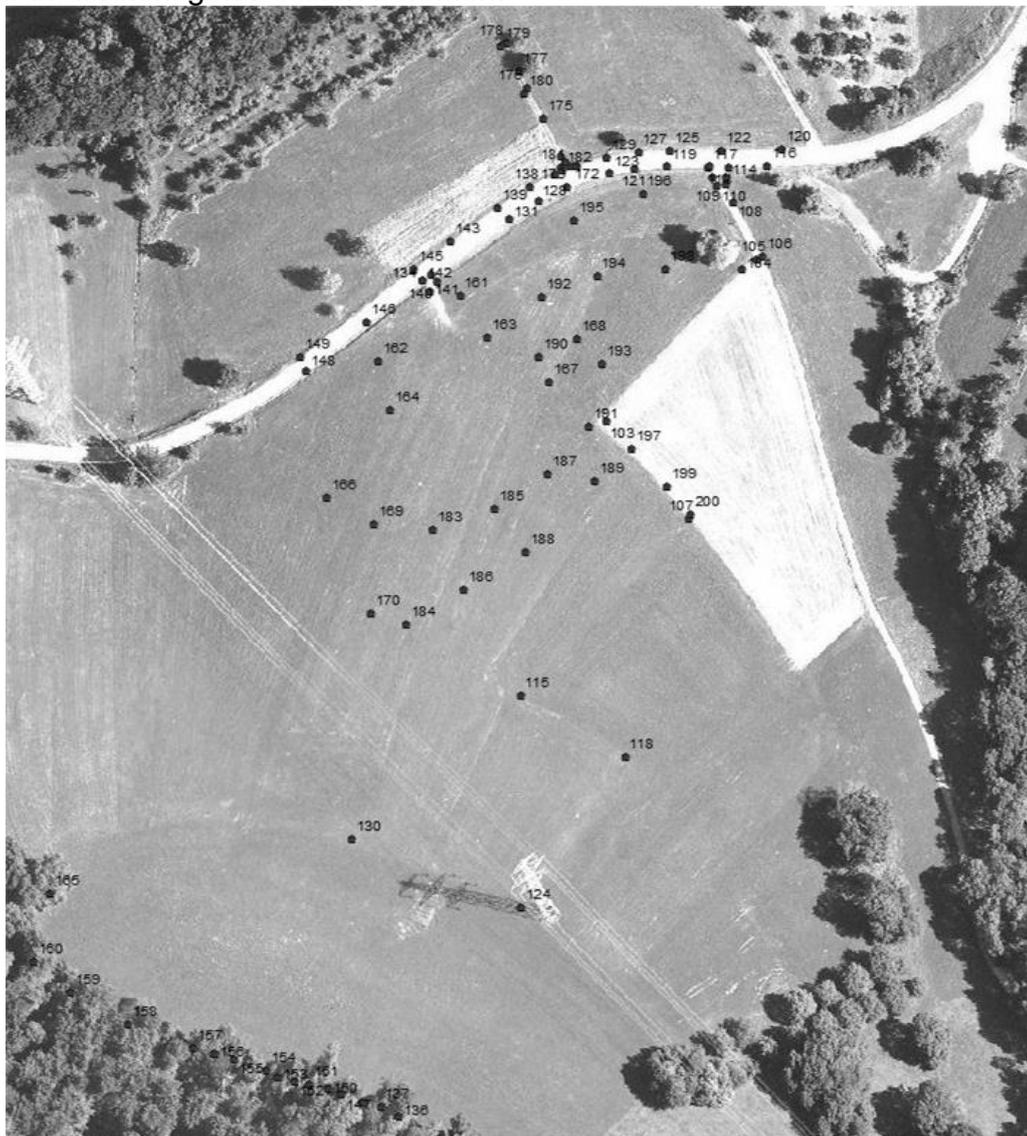


Abb. 8.2: Geländeaufnahme in der Nähe von „Dam“

Aus der obigen Abbildung ist offensichtlich zu ersehen, dass die Wegkante sowie die Ecke vom Messfeld grob richtig durch die aufgenommenen Punkte beschrieben wurden. Man kann davon ausgehen, dass die Lagekoordinaten aller aufgemessenen Punkten sowohl in Nähe vom Glems-Unterbecken (Dam) als auch Glems-Oberbecken (Basin) ohne grobe Fehler sind.

Das Messgebiet in der Nähe von „Basin“ wurde wegen des großen Umfangs in zwei Bereiche unterteilt. Dazu wurden insgesamt zwei Aufnahmestandpunkte benötigt. Es war in diesem Fall zu gewährleisten, dass das aufzunehmende Gelände möglichst lückenlos erfasst wurde. Die folgenden zwei Abbildungen aus ArcMap zeigen die aufgenommene Situation.



Abb. 8.3: Die erste Hälfte des Gebiets der Geländeaufnahme in der Nähe von „Basin“



Abb. 8.4: Die zweite Hälfte des Gebiets der Geländeaufnahme in der Nähe von „Basin“

### 8.3.2.2 Überprüfen der Höheninformationen

Nachdem die Lagekoordinaten der aufgenommenen Geländepunkte kontrolliert wurden, ließen sich ihre Höhen mit den aus dem DTM abgelesenen Höheninformationen vergleichen, um grobe Fehler in den Messdaten aufzudecken. Die Ergebnisse sind nur teilweise aufgelistet und im Folgenden dargestellt:

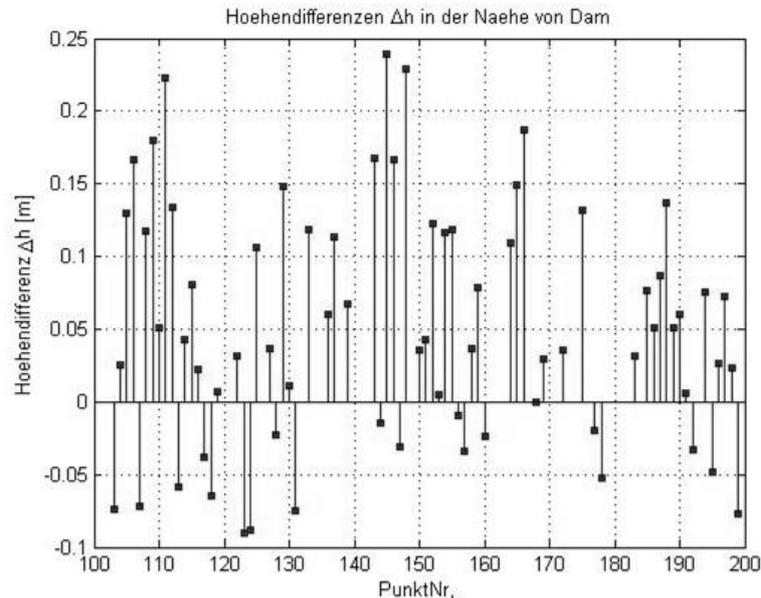


Abb. 8.5: Höhendifferenzen  $\Delta h = h - h_{DTM}$  für das Messungsgebiet „Dam“

Höhenvergleich der aufgenommenen Punkte im Bereich „Dam“			
Punkt Nr.	Höhe $h$ [m]	$h_{DTM}$ [m]	$\Delta h = h - h_{DTM}$ [m]
103	495,070	495,144	-0,074
104	486,470	486,445	0,025
107	495,127	495,199	-0,072
110	484,621	484,570	0,051
113	484,848	484,907	-0,059
114	484,369	484,326	0,043
116	483,426	483,404	0,022
136	535,977	535,917	0,060
144	536,020	536,035	-0,015
183	503,693	503,662	0,031
185	501,047	500,970	0,077
186	505,212	505,161	0,051

Tabelle 8.4 Höhendifferenzen zwischen den gemessenen Höhen und den Höhen aus dem DTM

Die Höhendifferenzen zwischen den tachymetrisch erfassten Höhen und den Höhen aus dem DTM liegen im cm bis dm Bereich. Die maximale Höhendifferenz beträgt ca. 24 cm. Das verwendete DTM liegt in einer einheitlichen Gitterweite von 1 m vor. Die Höhengenaugigkeit des DTM wird besser als 0,5 m angesehen. Die Höhengenaugigkeit des DTM ist von der Gitterweite und auch von der Neigung der realen Erdoberfläche abhängig. Wenn man die oben dargestellten Höhendifferenzen genau anschaut, erkennt man, dass diese für manche Punkte negativ und für die anderen Punkte positiv sind. Der Grund liegt darin, dass die Höhen im realen Fall wegen der Neigung und Steilheit der Erdoberfläche unter- oder überschätzt werden.

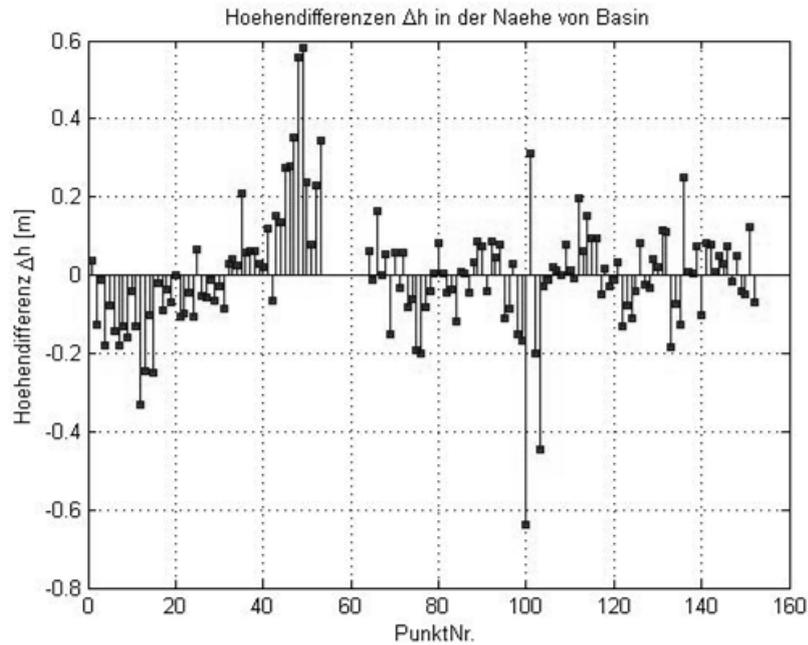


Abb. 8.6: Höhendifferenzen  $\Delta h = h - h_{DTM}$  für das Messgebiet „Basin“

Höhenvergleich der aufgenommenen Punkte im Bereich „Basin“			
Punkt Nr.	Höhe $h$ [m]	$h_{DTM}$ [m]	$\Delta h = h - h_{DTM}$ [m]
1	729,897	729,860	0,037
3	728,970	728,981	-0,011
4	729,507	729,687	-0,180
5	731,138	731,216	-0,078
8	732,084	732,215	-0,131
34	723,848	723,823	0,025
39	721,712	721,682	0,030
40	721,490	721,468	0,022
123	732,537	732,615	-0,078
125	731,859	731,901	-0,042
148	730,454	730,405	0,049
149	731,194	731,235	-0,041

Tabelle 8.5 Höhendifferenzen zwischen der aufgemessenen Höhen und der Höhen aus DTM

Die Höhen der aufgenommenen Punkte in Nähe vom Glems-Oberbecken („Basin“) sind nach der Geländeaufnahme manuell neu berechnet. Die maximale Höhendifferenz beträgt ca. 60 cm ohne Berücksichtigung der Punkte mit groben Fehlern. Die Punkte mit Höhenabweichung noch mehr als 60 cm werden als grob fehlerbehaftet angesehen. Die gemessenen Höhen und die Höhen aus DTM sollten nicht mehr als 50 cm voneinander abweichen, obwohl bei zunehmender Neigung mit einer Abnahme der Höhengenaugigkeit zu rechnen ist. Die aufgenommenen Punkte, die Höhendifferenzen von mehr als 50 cm im Vergleich zu den entsprechenden Höhen aus dem DTM besitzen, wurden zur Sicherheit der weiteren Berechnungen gelöscht.

## 8.4 Beurteilung und Interpretation der Ergebnisse

### 8.4.1 Genauigkeitsschätzung

Das während der Geländeaufnahme verwendete Instrument Leica TCR407 hat folgende Genauigkeiten jeweils für Winkelmessung und Distanzmessung:

Genauigkeit	Winkelmessung	Distanzmessung (IR_Fein)
$\sigma_r / \sigma_s$	7" (2 mgon)	2 mm + 2 ppm

Tabelle 8.6 Genauigkeitsangabe von Leica TCR407

Aber die Genauigkeit des Instrumentes kann nur im optimalen Fall erreicht werden. Die während der Messung erzielten Genauigkeiten nehmen wir 5 mgon für die Winkelmessung und 2 mm + 5 ppm für die Distanzmessung an. Für jeden aufgemessenen Punkt gilt:

$$\text{Längsgenauigkeit der Position: } \sigma_l = \sqrt{(2 \text{ mm})^2 + \left(D \cdot \frac{5 \text{ mm}}{1000 \text{ m}}\right)^2},$$

$$\text{Quergenauigkeit der Position: } \sigma_q = 5 \text{ mgon} \cdot \frac{\pi}{200000} \cdot D,$$

$$\text{Helmert'scher Punktfehler: } \sigma_H = \sqrt{\sigma_l^2 + \sigma_q^2}.$$

Die maximale gemessene Entfernung beträgt 730,151 m und die Minimale beträgt 17,086 m. Damit kann eine Genauigkeitsspanne für alle aufgenommenen Punkte mit  $17 \text{ m} < D < 730 \text{ m}$  ermittelt werden.

$$\text{Für } D_{\min} = 17 \text{ m: } \sigma_l = \sqrt{(2 \text{ mm})^2 + \left(17 \text{ m} \cdot \frac{5 \text{ mm}}{1000 \text{ m}}\right)^2} = 2,0 \text{ mm},$$

$$\sigma_q = 5 \text{ mgon} \cdot \frac{\pi}{200000} \cdot 17 \text{ m} = 2,5 \text{ mm},$$

$$\sigma_H = \sqrt{\sigma_l^2 + \sigma_q^2} = 3,2 \text{ mm}$$

$$\text{Für } D_{\max} = 730 \text{ m: } \sigma_l = \sqrt{(2 \text{ mm})^2 + \left(730 \text{ m} \cdot \frac{5 \text{ mm}}{1000 \text{ m}}\right)^2} = 4,2 \text{ mm},$$

$$\sigma_q = 5 \text{ mgon} \cdot \frac{\pi}{200000} \cdot 730 \text{ m} = 5,73 \text{ cm},$$

$$\sigma_H = \sqrt{\sigma_l^2 + \sigma_q^2} = 5,74 \text{ cm}.$$

Das heißt, die Position aller aufgenommenen Punkte ist mindestens 5,74 cm genau. Die Ergebnisse werden als ausreichend genau für die weitere Anwendung (z.B. Planung der Tunnelachse und der Gebäude) betrachtet.

Außer der Lagegenauigkeit soll die Höhengengenauigkeit der aufgenommenen Punkte geschätzt werden (mit Berücksichtigung der Erdkrümmung und Refraktion).

$$\text{Gemessene Höhe: } H_i = H_0 + D \cdot \cos z + i - t + (1 - k) \frac{D^2 (\sin z)^2}{2R},$$

$$\text{Einfluss der Erdkrümmung: } c_E = \frac{D^2 (\sin z)^2}{2R \cos \gamma} \approx \frac{D^2 (\sin z)^2}{2R},$$

$$\text{Einfluss der Refraktion: } c_R \approx -k \cdot \frac{D^2 (\sin z)^2}{2R}$$

- $H_0$ : Standpunkthöhe (fehlerfrei)
- $D$ : Schrägstrecke
- $z$ : Zenitdistanz
- $i$ : Instrumentenhöhe
- $t$ : Zieltafelhöhe
- $k$ : Refraktionskoeffizient 0,13
- $R$ : Erdradius 6378 km

Genauigkeit von  $H_i$  (nach Fehlerfortpflanzungsgesetz):

$$\sigma_{H_i} = \sqrt{(\cos z + (1 - k) \frac{D(\sin z)^2}{R})^2 \cdot \sigma_D^2 + (-D \cdot \sin z + (1 - k) \frac{D^2 \sin 2z}{2R})^2 \cdot \sigma_z^2},$$

Hier wird  $D = 730$  m,  $z = 99$  gon eingesetzt, mit

$$R = 6378\,000 \text{ m}$$

$$k = 0,13$$

$$\sigma_D = \sqrt{(2 \text{ mm})^2 + (730 \text{ m} \cdot \frac{5 \text{ mm}}{1000 \text{ m}})^2} = 4,2 \text{ mm}$$

$$\sigma_z = 5 \text{ mgon} \cdot \frac{\pi}{200000} = 7,854 \cdot 10^{-5} \text{ rad}$$

Dann ergibt sich  $\sigma_{H_i} = 5,73$  cm .

Das heißt, die Höhen der aufgenommenen Punkte werden mindestens 5,73 cm genau angesehen.

### 8.4.2 Probleme

Typische Probleme sind aufgetreten im Messgebiet „Basin“, wobei die Höhen der meisten aufgenommenen Punkte wegen fehlerbehafteten Höhen der Anschlusspunkte stark von den aus dem DTM abgelesenen Höhen abwichen. Außerdem war die Reflektorhöhe von 2,0 m statt 1,6 m im Tachymeter eingegeben. Aus diesen Gründen sind alle Höhen der aufgenommenen Punkte nach der Geländeaufnahme anhand von korrigierten Höheninformationen der Anschlusspunkte sowie den gemessenen Zenitdistanzen und Schrägstrecke nachgerechnet. Aber auffällig ist, eine Reihe von Punkten an einem steilen Zufahrtsweg mehr als 1 m über der DTM Ebene liegt. Die Ursache dafür sind wahrscheinlich grobe Fehler oder Interpolationsfehler im Bereich des Geländestücks bzw. eventuell veraltetes DTM.

## 9 Berechnung der Wasserleitung und Absteckung der Gebäude

Betreuer:

B. Zheng (IIGS)

Bearbeiter:

Carolin Schaal (GuG)

Nazir Hussain (GEO)

### 9.1 Aufgabenbeschreibung

Die Wasserleitung soll als gerade Linie geplant werden. Dabei ist der erste Schritt die graphische Definition auf einer Karte. Die Ergebnisse des Arbeitspaketes 1 und die berechneten Punkte in der Nähe des Damms und des Speicherbeckens wurden dazu verwendet um die Wasserleitung zu berechnen. Die Position der Gebäude soll in der Mitte der Wasserleitung sein.

Der zweite Teil dieses Arbeitspaketes beinhaltet die Absteckung der geplanten Wasserleitung und Gebäude. Hierzu wird die tachymetrische Absteckung für die Wasserleitung und die Absteckung mit GPS-RTK für die Gebäude verwendet. Anschließend sollen alle abgesteckten Punkte zur Kontrolle aufgenommen werden.

Überblick:

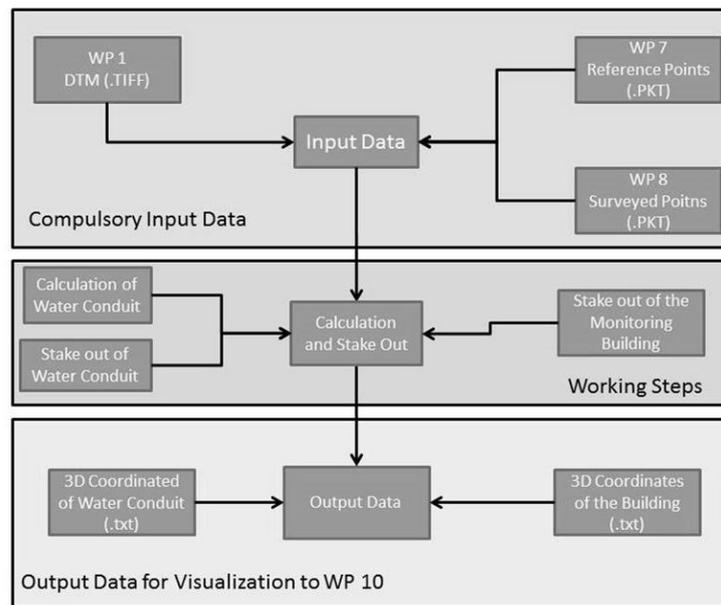


Abb. 9.1

## 9.2 Arbeitsschritte

### 9.2.1 Einen Tag vor der Absteckung

- Berechnung der Wasserleitung mit Matlab (lineare Interpolation)
- Gebäudeeckpunkte wählen
- Einlesen der abzusteckenden Punktkoordinaten in Tachymeter/ GPS-RTK

### 9.2.2 Am Tag der Absteckung

- Geräte vorbereiten: entweder Tachymeter oder GPS-RTK
- Laden der entsprechenden Batterien

### 9.2.3 Im Feld

#### 9.2.3.1 Mit Tachymeter

- Freie Stationierung mit Referenzpunkten von WP7
- Absteckung und Aufnahme der Wasserleitung (ca. 5 Punkte)

#### 9.2.3.2 Mit GPS-RTK

- Aufbau der Referenzstation auf einem Kontrollpunkt
- Absteckung und Aufnahme der Gebäude (4 Eckpunkte)

## 9.3 Durchführung

### 9.3.1 Bericht

Die Aufgabe des Arbeitspaketes war es, die Wasserleitung mit Hilfe der Software GeoGraf zu berechnen. Hier gab es das Problem, dass das Programm Geosamos für GeoGraf nicht funktionierte. Somit musste die Berechnung der Wasserleitung auf einem anderen Weg durchgeführt werden. Hierzu wurde nun zwischen zwei bekannten Punkten, die von WP8 zuvor aufgenommen waren, eine lineare Interpolation mit Hilfe von Matlab durchgeführt. Somit erhielten wir die abzusteckenden Punkte für die

Wasserleitung. Nun konnte ein Plan aufgestellt werden, welche Gruppe in welchem Bereich die Wasserleitung absteckt und wieder aufnimmt. In Kapitel 9.4.1 *Abgesteckte Punkte*, werden in Abb. 9.5 und Abb. 9.6 die abgesteckten Punkte der Wasserleitung mit einem grünen Stern hervorgehoben.

Die Absteckung der Wasserleitung erfolgte nicht wie geplant mittels Geosamos für GeoGraf, sondern mit Hilfe des Tachymeters Leica TC407, da die Software nicht wie geplant funktionierte. Da die erste Gruppe (Gruppe 7), die die Absteckung durchführte, zuerst das Problem der Software erkannte, konnte diese Gruppe nicht wie geplant die abgesteckten Punkte wieder aufnehmen und somit keine Ergebnisse liefern (siehe 9.4.2 *Ergebnistabelle*).

Der nächste Schritt war die Planung der Gebäude. Hierzu wurden die Koordinaten der Wasserleitung in das Programm ArcGIS geladen und manuell vier Eckpunkte pro Gebäude im Programm markiert und visualisiert (siehe Abb. 9.5 und Abb. 9.6).

Nun waren die Gebäudeeckpunkte am Speicherbecken und am Damme geplant und konnten mittels GPS-RTK abgesteckt und wieder aufgenommen werden.

Bei beiden Absteckungsmethoden sollten Holzpflocke verwendet werden, um die genaue Position auf dem Holzpflock zu markieren, damit die exakten Punkte wieder aufgenommen werden konnten. Bei einer Gruppe führte diese Anweisung zu Problemen, da viele Gruppenmitglieder zuvor noch nie eine Absteckung durchgeführt haben. Dies könnte zu den Abweichungen zwischen den abzusteckenden Punkten und der tatsächlichen Aufnahme geführt haben.

### 9.3.2 Geplante Wasserleitung

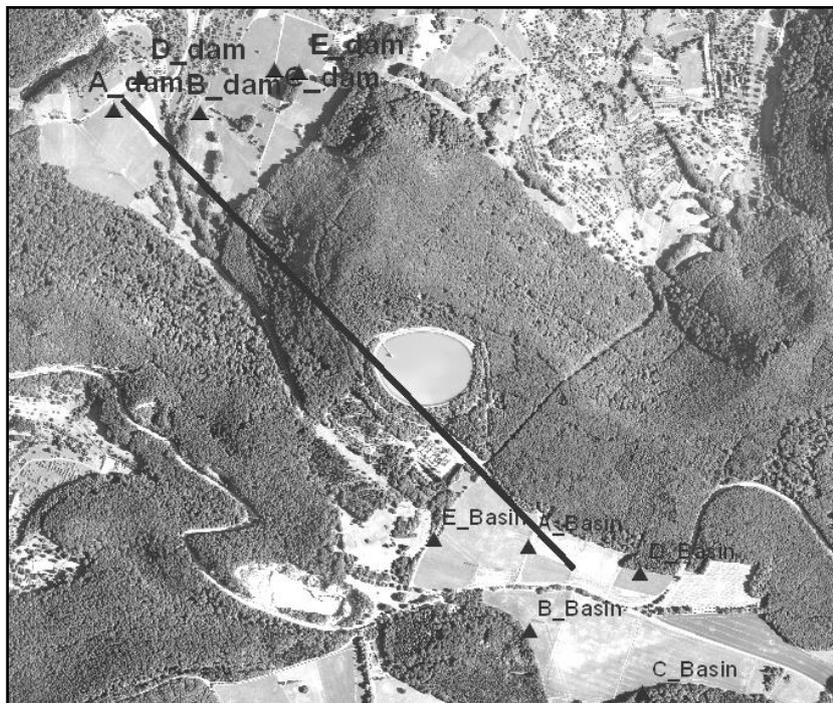


Abb. 9.2: Geplante Wasserleitung zwischen Damme und Speicherbecken

### 9.3.2.1 Geplante Gebäude

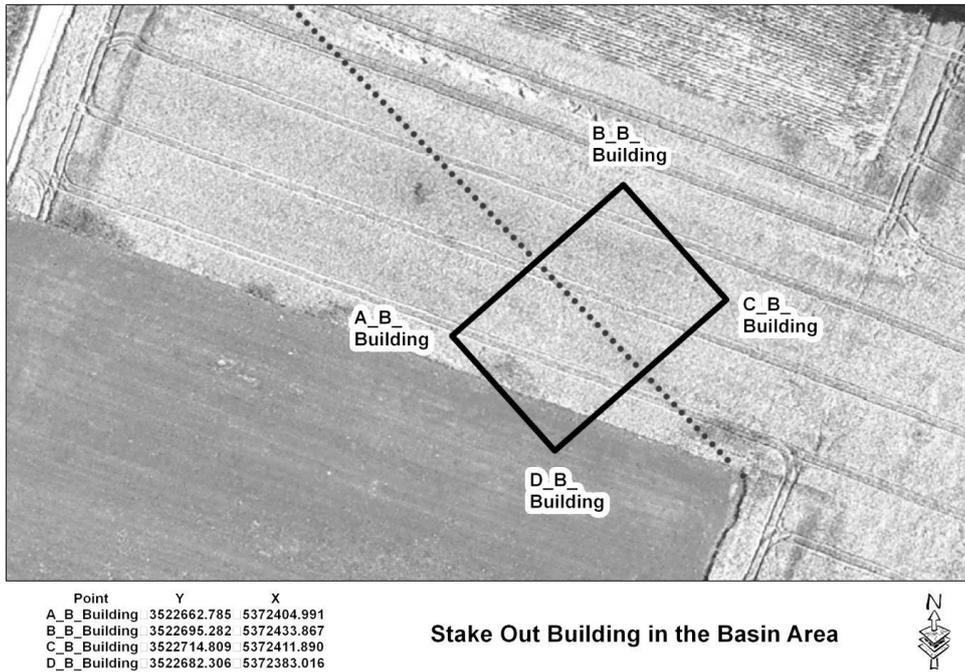


Abb. 9.3: Geplantes Gebäude am Speicherbecken

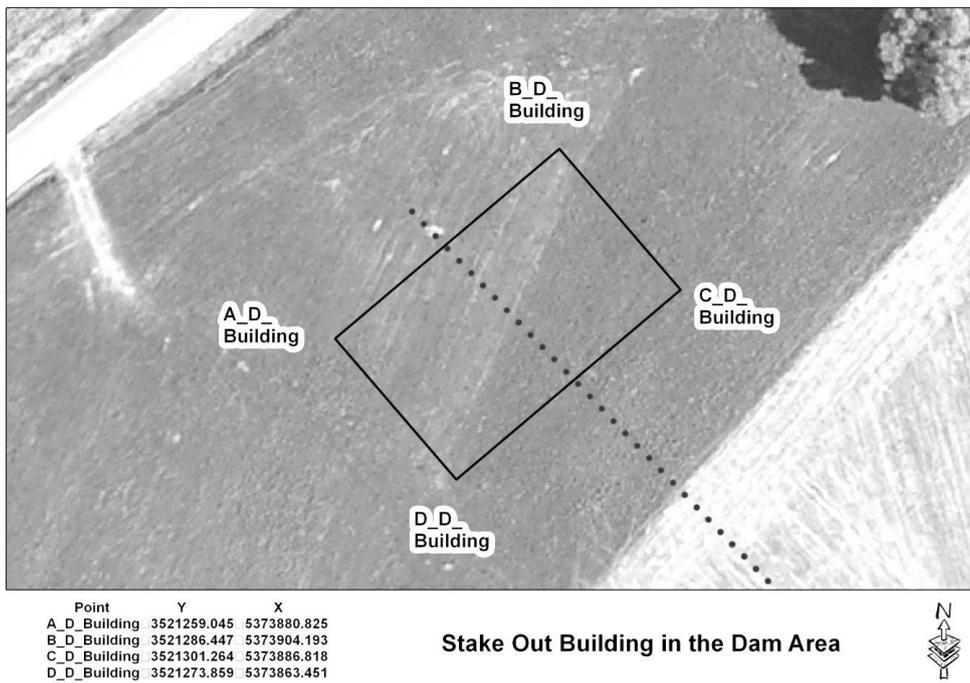


Abb. 9.4: Geplantes Gebäude am Damm

## 9.4 Ergebnisse

### 9.4.1 Abgesteckte Punkte

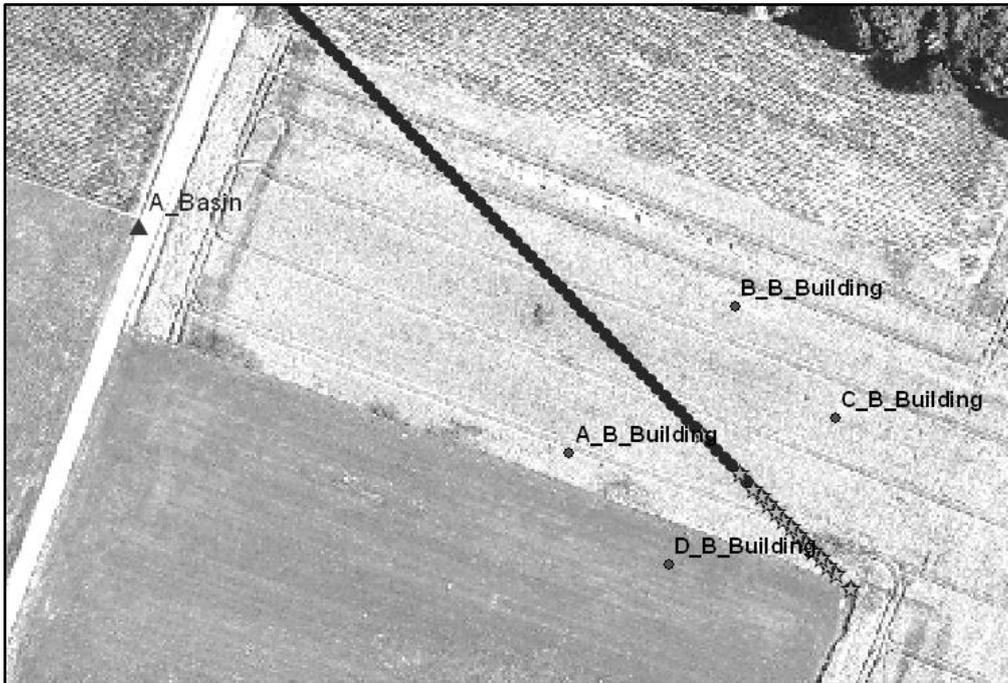


Abb. 9.5: Abgesteckte Punkte am Speicherbecken

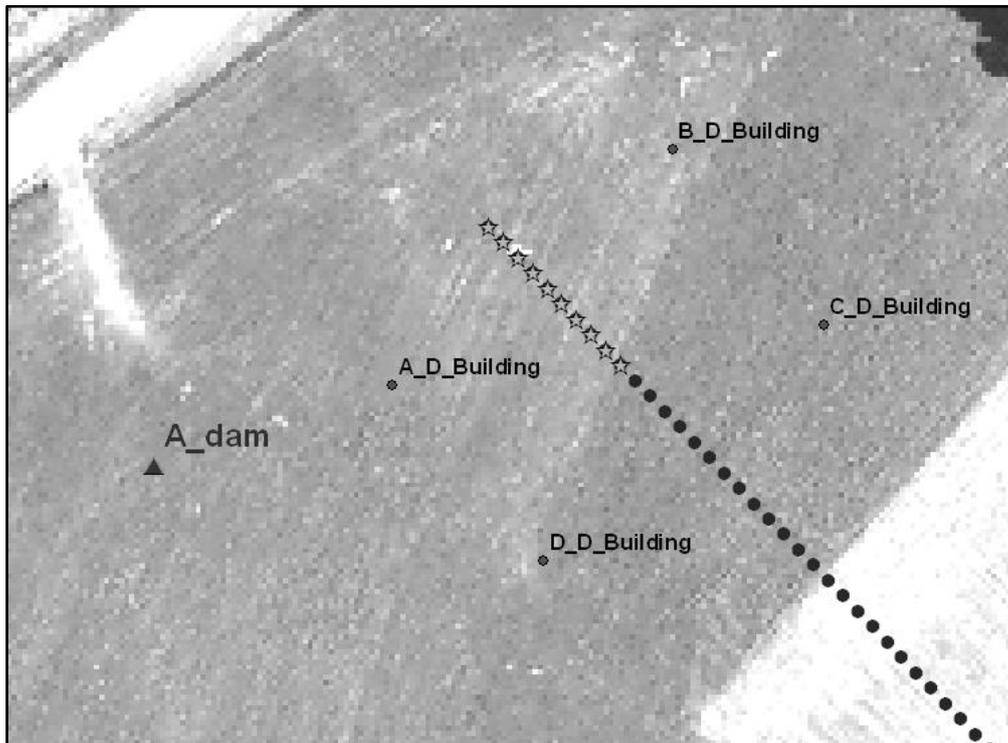


Abb. 9.6: Abgesteckte Punkte am Damm

## 9.4.2 Ergebnistabelle

Methode	Gruppe	Punkt	$\Delta E$ [m]	$\Delta N$ [m]
Tachymeter (Wasserleitung)	1	1000	0,010	0,010
		999	0,011	-0,006
		998	0,015	0,010
		997	0,012	0,003
		996	-0,007	-0,011
	2	995	0,005	0,005
		994	0,005	-0,009
		993	0,002	0,011
		992	-0,001	0,002
	3	2	0,009	0,010
		3	0,008	-0,003
		4	0,007	0,002
		6	0,004	-0,007
		7	-0,007	0,003
	7	1	-	-
5		-	-	
10		-	-	
15		-	-	
20		-	-	
GPS-RTK (Gebäude)	4	AB_Building	-0,007	-0,001
		BB_Building	0,000	-0,001
		CB_Building	-0,001	-0,002
		DB_Building	0,002	0,002
	6	AD_Building	0,000	-0,001
		BD_Building	0,008	0,000
		CD_Building	-0,009	-0,008
		DD_Building	0,002	-0,003

Tabelle 9.1

Um die obigen Ergebnisse zu erhalten, wurden für  $\Delta E$  und  $\Delta N$  die Unterschiede der berechneten Absteckungspunkte und der tatsächlich wieder aufgenommenen Punkte berechnet.

### 9.4.2.1 Abweichungen

Methode	Minimum [m]	Mittelwert [m]	Maximum [m]
Tachymeter	-0,011	0,003	0,015
GPS-RTK	-0,009	-0,001	0,008

Tabelle 9.2

Obwohl es bei der Durchführung im Feld zu einigen kleinen Problemen kam, konnte in allen Fällen die geforderte Genauigkeit von 2 cm erreicht werden. Die größte Abweichung lag bei 1,5 cm bei der Absteckung mit Tachymeter, welche jedoch noch innerhalb der Toleranz ist. Die größte Abweichung mittels GPS-RTK Messung lag bei 8 mm.

### 9.4.2.2 Mögliche Fehlerquellen

Methode: Tachymeter

Bei der Absteckung mit dem Tachymeter kann es durch die Freie Stationierung zu Fehlermessungen kommen. Bei der freien Stationierung sind fehlerfreie Referenzpunkte notwendig, da sonst keine exakte Position der freien Station ermittelt werden kann. Bei der Wahl der Festpunkte zur freien Stationierung musste sehr genau darauf geachtet werden, von welchen Punkten die exakten Koordinaten vorhanden waren.

Methode: GPS-RTK

Bei der Absteckung mit GPS-RTK musste auf eine fehlerfreie Referenzstation geachtet werden. Hier wurden die Koordinaten der Punkte  $A_{Basin}$  und  $A_{Dam}$  verwendet. Diese Koordinaten waren zuvor durch statische GPS Messung (WP2) bestimmt worden.

### 9.5 Ausblick

In Zukunft sollte darauf geachtet werden, dass das Programm, welches man verwenden möchte, auch problemlos funktioniert. Wenn man dieses Problem schon im Voraus beachtet, können alle Ergebnisse wie erwartet ausgewertet werden.

Zudem ist es sehr wichtig, dass darauf geachtet wird, welche Punkte als Festpunkte zur Freien Stationierung oder als Referenzstation gewählt werden, damit diese als fehlerfrei angenommen werden können und es zu keinen unnötigen Fehlern kommt.

Außerdem ist es sinnvoll, wenn man zuvor schon einmal eine Absteckung durchgeführt hat, damit es im Feld nicht zu unnötigen Komplikationen kommt.

## 10 GIS als Planungs-, Analyse- und Visualisierungstool

Betreuer:

Apl. Prof. N. Haala (IFP)

Bearbeiter:

Christoph Heck (GuG)

Alejandra Campuzano (GEO)

### 10.1 Überblick

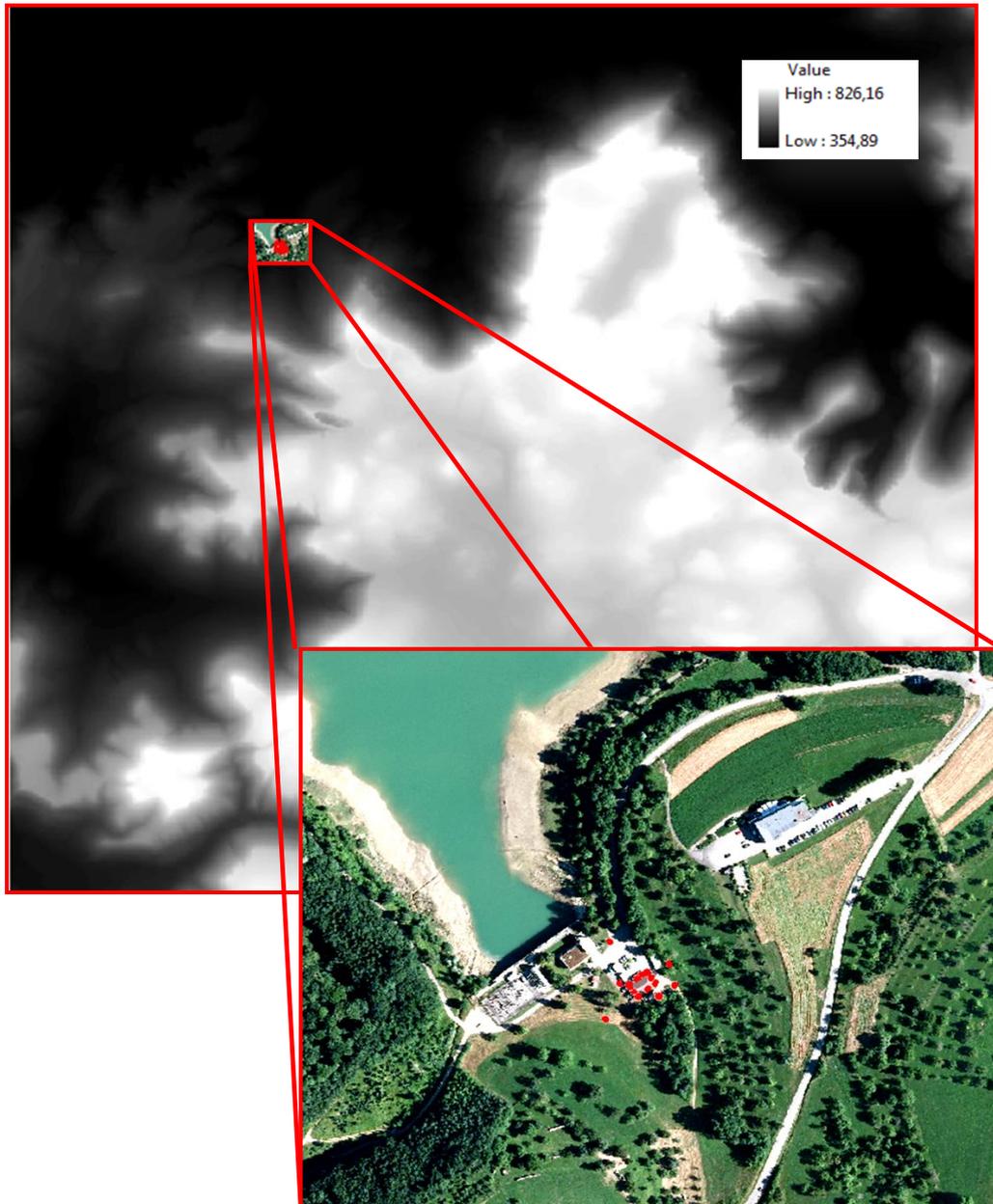
Das Arbeitspaket 10 war für die Planung, Analyse und Visualisierung von Geodaten mit Hilfe eines Geoinformationssystems (GIS) verantwortlich. Hierfür wurde hauptsächlich die Software *ArcGIS* mit ihren verschiedenen Tools zur Datenverarbeitung verwendet.

Für die Verarbeitung mussten Daten von den anderen Arbeitspaketen gesammelt und in einer speziellen Datenbank gespeichert werden. Von dieser konnten dann die gespeicherten Informationen abgerufen und mit den verschiedenen Tools ausgewertet und visualisiert werden. Ein wichtiger Teil des Arbeitspaketes war die Bereitstellung einer Anleitung für die wichtigsten Funktionen von ArcGIS.

### 10.2 Geoinformationssystem

#### 10.2.1 Sammeln von Daten

Die wichtigsten Daten um mit dem Geoinformationssystem arbeiten zu können wurden bereits vor dem Projekt vom Arbeitspaket 1 bereitgestellt. Dies war außer den Luftbildern des Gebietes, ein für dieses Projekt berechnetes Orthophoto und das DGM (Digitales Geländemodell) von dem gesamten Gebiet (Siehe Abb. 10.1). Die Orthophotos wurden zur besseren Handhabung in verschiedenen Auflösungen zur Verfügung gestellt und zwar 20 cm, 50 cm und 1 m. Das DGM hatte eine Auflösung von 1 m.



*Abb. 10.1: DGM und ein kleiner Ausschnitt des Orthophotos.*

Während des Projekts wurden dann ebenso die von den Arbeitspaketen gesammelten Informationen in entsprechendem Format schnellstmöglich zur Datenbank hinzugefügt. Somit konnte man schon nach kurzer Zeit auf die Daten mit der Software zugreifen und diese für Planungszwecke oder zur Auswertung verwenden. Für die Implementierung und Bearbeitung der Daten wurde schon im Vorfeld eine Anleitung ausgearbeitet, die den einzelnen Gruppen die Arbeit mit der Software vereinfachte.

### **10.2.2 Planung mit GIS**

Damit sich die Gruppen besser auf ihre Arbeitspakete einstellen konnten wurden mit Hilfe von ArcMap Übersichtskarten entworfen. Diese Karten wurden an die nächste Gruppe, die das Arbeitspaket bearbeiteten, weitergegeben damit sich diese im Feld dann besser zurechtfinden konnten und z. B. abgesteckte Punkte schneller finden konnten (Beispielkarte siehe Abb. 10.2).

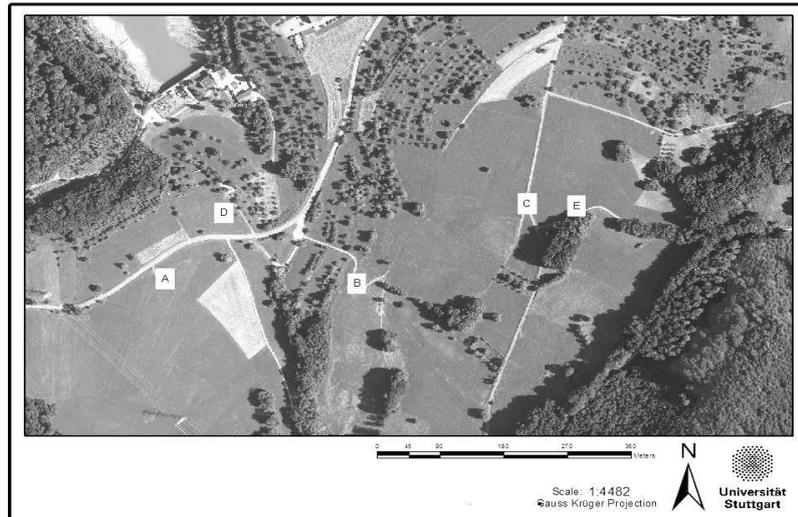


Abb. 10.2: Karte für die Planung.

### 10.2.2 Auswertung mit GIS

ArcGIS wurde auch zur Auswertung von Geodaten benutzt. Durch GPS-RTK-Messungen, tachymetrische Aufnahmen usw. wurden Koordinaten von markanten Punkten im Gelände gesammelt, die auch im Orthophoto wiedergefunden werden konnten. Mit Hilfe der X-, und Y-Koordinaten dieser Punkte und des DGM wurde dann in ArcMap die interpolierte Geländehöhe dieser Punkte berechnet. Die interpolierte Höhe wurde dann mit der gemessenen Höheninformation verglichen.

An markanten Punkten auf Hausdächern konnte man dann größere Differenzen der beiden Höhen feststellen (Vgl. Tabelle 10.1). Diese lassen sich dadurch erklären, dass im DGM keine Gebäudehöhen enthalten sind, da wie der Name Geländemodell schon sagt dabei nur das Gelände ohne Bebauung oder Bewuchs eine Rolle spielt.

Punkt	X [m]	Y [m]	Z[m]	Z (interpoliert) [m]	Höhendifferenz [m]
1	3521306,715	5374213,522	467,148	459,719	7,429
2	3521313,879	5374204,002	467,154	459,712	7,442
3	3521313,839	5374204,007	459,847	459,711	0,136
4	3521299,142	5374191,927	466,902	459,633	7,269
5	3521333,071	5374177,657	460,875	459,802	1,073

Tabelle 10.1 Koordinaten von gemessenen Punkten mit interpolierter Höhe (von DGM) und Höhendifferenz

### 10.2.3 Visualisierung mit GIS

Abschließend wurden die gesammelten und ausgewerteten Daten in ArcGIS visualisiert. Hierbei wurde ein weiteres Tool aus der Sammlung benutzt und zwar ArcScene, ein Tool für die 3D-Darstellung von Geodaten.



Abb. 10.3: Darstellung der Position mit den empfangenen Satelliten

Für die 3D-Darstellung wurden die Daten aus den anderen Arbeitspaketen benutzt. Vor allem aus dem Paket 6 „Kinematische Aufnahme der Zufahrtsstraßen“ wurden Daten zur Visualisierung verwendet. Die Daten waren verschiedene GPS Messungen. Zur Veranschaulichung wurden Informationen wie Anzahl der empfangenen Satelliten, Differenz zwischen gemessener Höhe und interpolierter Höhe und Position des Empfängers herangezogen. In Abb. 10.3 ist sehr gut zu sehen, dass die Anzahl der empfangenen Satelliten sehr stark von der Abschattung der befahrenen Straße abhängt. Bei Straßen im Wald ist die Anzahl kleiner als bei Straßen im offenen Gelände (rot dargestellt geringe Satellitenanzahl, grün dargestellt hohe Anzahl). Ebenfalls zu sehen ist, dass die Differenz der Höhen (dargestellt durch Balken) im Wald deutlich höher ist. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Berechnung der Position bei größerer Satellitenanzahl genauer ist. Bei der Positionsmessung mit verschiedenen GPS-Empfängern wurde vor allem auf den Unterschied zwischen teuren und billigen Empfängern, den sogenannten „low-cost“ Empfängern, geachtet (siehe Abb. 10.4).

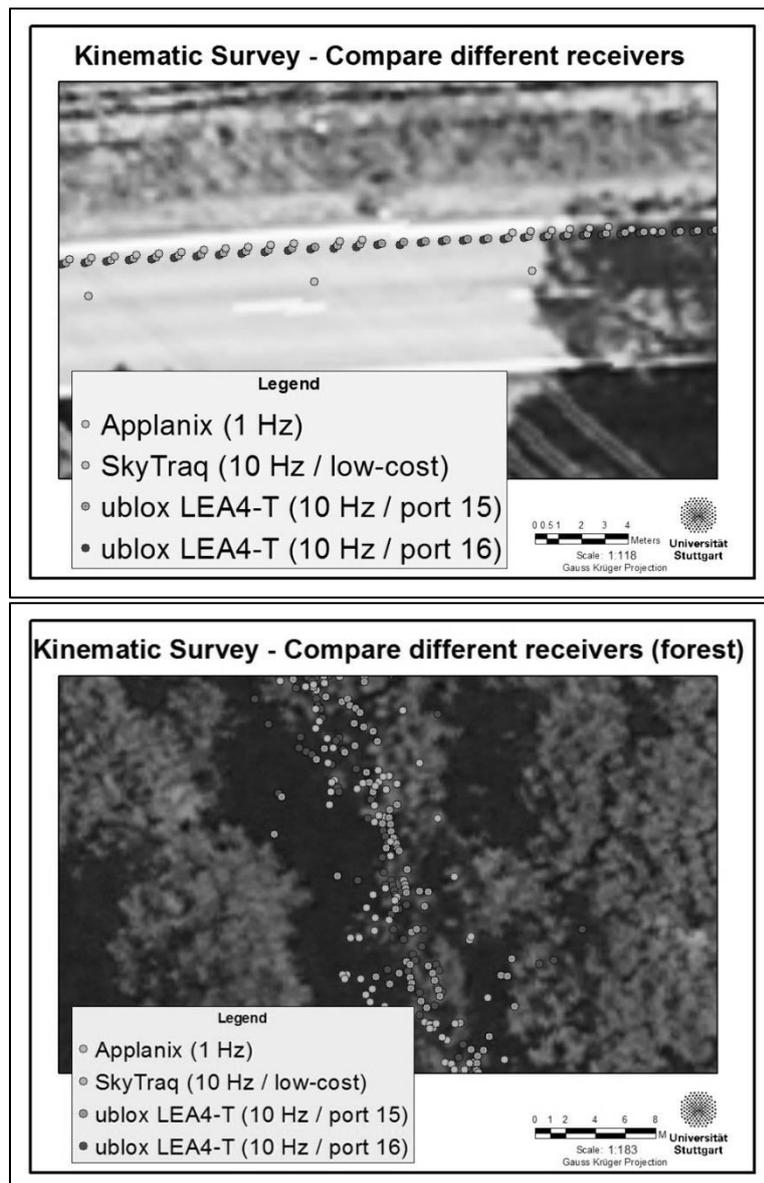


Abb. 10.4: Darstellung der Position in offenem (oben) und stark abgeschattetem Gelände (unten)

### 10.3 Matlab-Tool

Um Messungen im Feld schnell kontrollieren zu können, wurde ein Matlab-Tool zur 3D-Koordinatenberechnung von den Verantwortlichen von Arbeitspaket 10 zur Verfügung gestellt. Hierbei wurden aus zwei Luftbildern und ihren Orientierungen mit Hilfe des räumlichen Vorwärtsschnittes die Gauß-Krüger-Koordinaten des vorher in beiden Luftbildern ausgewählten Punktes berechnet.

Diese berechneten Koordinaten konnten dann zur schnellen Kontrolle während oder nach Messungen im Feld als Vergleichswert benutzt werden um grobe Fehler aufzudecken. Dabei wurde deutlich gemacht wie präzise photogrammetrische Messungen sein können (abhängig von der Auflösung der Luftbilder).

### 10.4 Fazit

Abschließend kann man sagen, dass man durch das Arbeitspaket 10 einen sehr guten Einblick in die Funktionsweise und Möglichkeiten eines Geoinformationssystems bekommen konnte. Vor allem die zur Visualisierung benutzten Tools aus ArcGIS, wie ArcMap oder ArcScene, bieten verschiedene Wege zur Darstellung und sind somit sehr

gut für Planungs- oder Präsentationszwecke geeignet. Aber genau wegen dieser vielen Möglichkeiten die einem die Software bietet, benötigt man doch einige Kenntnisse zum richtigen Umgang mit ArcGIS. Und der Einstieg dazu wurde mit diesem Arbeitspaket gemacht.

## 11 Verdichtung des Referenznetzwerks mit GPS-RTK

Betreuer:

R. Schlesinger (GI)

Bearbeiter:

Sven Steinert (GuG)

Ying Zhang (GEO)

### 11.1 Ziele

In diesem Arbeitspaket sollte mit Hilfe der lokalen Transformationsparameter des Referenzrahmens von WP 2 (3D Referenzrahmen) die für WP 12 (Punktbestimmung mit Tachymetrie) und WP 14 (Laserscanning) benötigten Beobachtungs- und Verdichtungspunkte abgesteckt werden.

Außerdem sollten Punkte, die auf dem Orthophoto klar identifizierbar waren, abgesteckt werden, um die Genauigkeit des Orthophotos von WP 1 zu kontrollieren.

Mit der GPS-RTK Ausrüstung bestehend aus dem GPS System 1200 und dem Rover wurden die mit WP 12 abgesprochenen Punkte abgesteckt und die Koordinaten bestimmt.

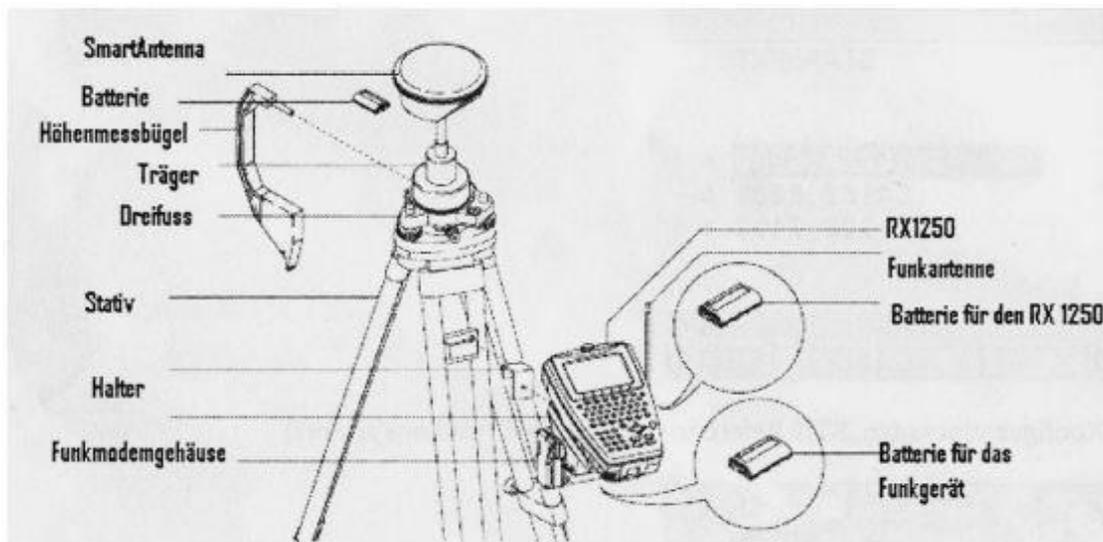


Abb. 11.1: Aufbau der Referenzstation

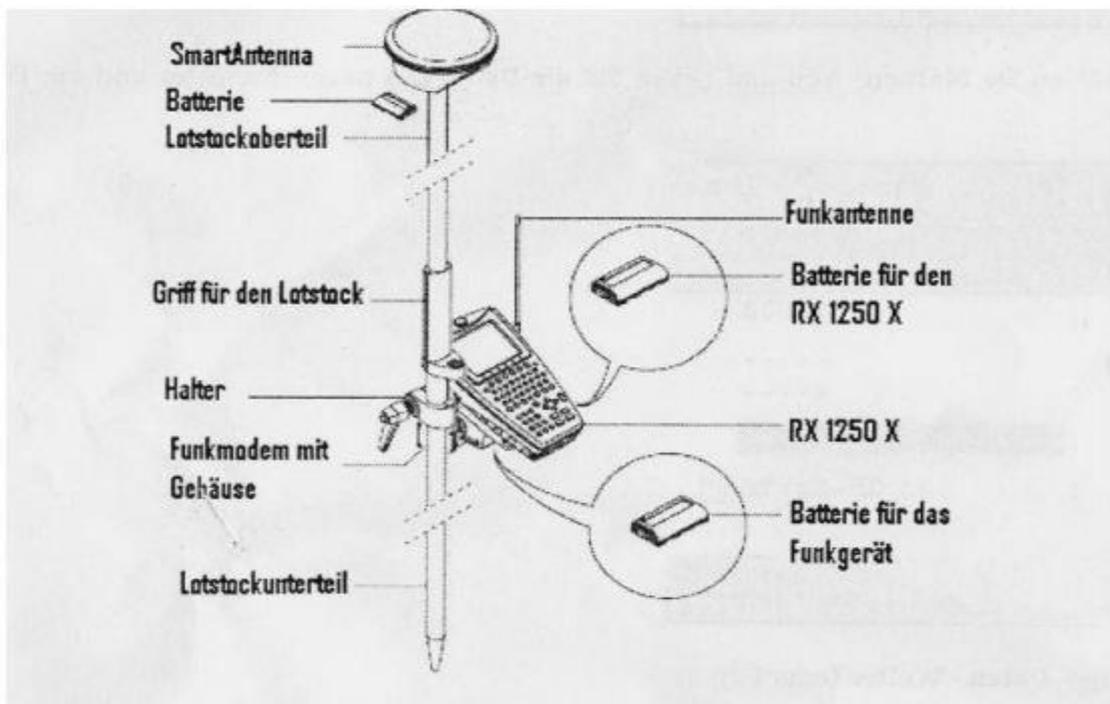


Abb. 11.2: Aufbau des Rovers

## 11.2 Vorgehensweise

In der ersten Woche wurden die Beobachtungs- und Verdichtungspunkte mit dem WP 12 abgesteckt, um mit Tachymetrie frei Stationieren und Gebäudepunkte aufnehmen zu können. Die Punkte mussten so abgesteckt werden, dass die Standpunkte so gewählt werden konnten dass für die freie Stationierung pro Punkt 3 sichtbare Anschlusspunkte zur Verfügung standen.

In der zweiten Woche wurden die Punkte abgesteckt die für die Überprüfung der Genauigkeit des Orthophotos genutzt wurden.

Um die Punkte abstecken zu können musste darauf geachtet werden, dass die Satellitensignale ohne Probleme empfangen werden konnten, d.h. sie eine möglichst geringe Abschattung (z.B. durch Bäume oder Häuser) aufwiesen. Die Punkte wurden mit Holzpflocken markiert.

Die Messung der Punkte wurde mit dem GPS-RTK Verfahren durchgeführt. Das Verfahren gewährt Echtzeit-Genauigkeiten im cm Bereich, für geringe Entfernungen.

Bei der GPS-RTK Messung steht ein Referenzempfänger auf einem Festpunkt, dessen Koordinaten bekannt sind (73A, 217, ABASIN, 14). Die Rover werden mit der Referenzstation verbunden und die Initialisierung gestartet, bei der die Rover mindestens fünf Satellitensignale empfangen müssen. Nach dieser Initialisierung benötigt der Rover nur noch vier Satellitensignale um die Koordinaten der Punkte messen zu können. Nach der Initialisierung wird der Rover auf einem Punkt aufgestellt und horizontalisiert. Sofern eine gute Satellitenkonfiguration vorliegt ist die Messung auf einem Punkt innerhalb weniger Sekunden abgeschlossen, bei schlechter Satellitenkonfiguration kann es durchaus mehrere Minuten oder noch länger dauern bis die vorher eingestellte Genauigkeit erreicht wird.

Jeder Punkt muss mindestens zwei Mal gemessen werden, um die Genauigkeit der Punktkoordinaten zu erhöhen. Es muss darauf geachtet werden, dass zwischen den Messungen das Signal nicht durch Abschattung verloren geht, da dann der Rover wieder neu initialisiert werden muss. Der Lotstock sollte möglichst senkrecht gehalten

werden. Durch Abschattung kann sich die Genauigkeit der Punkte verschlechtern. Gegenüber der statischen GPS-Messung hat das GPS-RTK Verfahren den Vorteil, dass die Punktkoordinaten direkt im Feld erzeugt werden können.

Das GPS-RTK System wird in kleinräumigen Gebieten eingesetzt und hat Standardabweichungen im Bereich von ca. 1-2 cm in der Lage und etwa doppelt so viel in der Höhe, sofern die Distanz zwischen Referenzstation und Rover kleiner als 25 km ist.

Da die von WP 2 gelieferten Transformationsparameter am Abend vor Beginn der Messungen in die Rover eingegeben wurden, musste nur noch die Antennenhöhe eingegeben werden um die Messung zu starten. Die Antennenhöhe bei der GPS-RTK Messung betrug immer 2 m.

Die gemessenen Koordinaten wurden mit der Software Leica GeoOffice ausgewertet. Um die Neupunktkoordinaten zu bestimmen wurden die gemessenen Koordinaten jedes Punktes gemittelt und die Abweichungen berechnet. Die maximal erlaubte Abweichung lag bei 5 cm, Punkte mit höherer Abweichung wurden gestrichen.

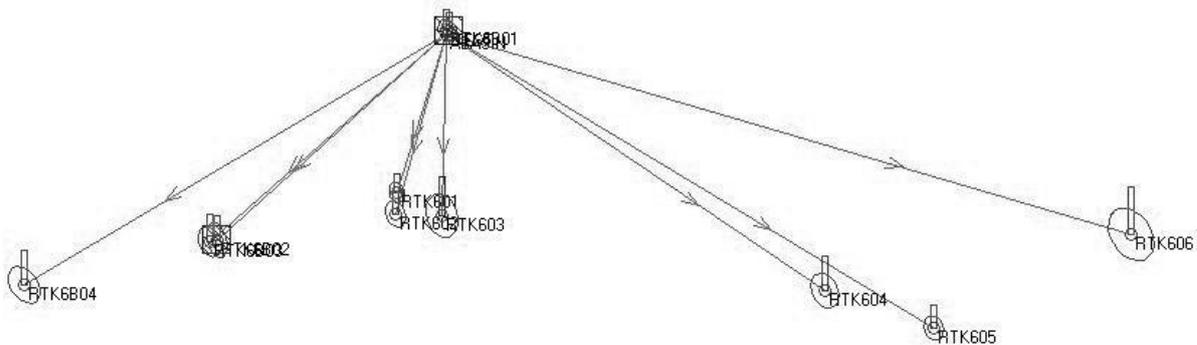


Abb. 11.3: Aussehen der Messungen in Leica GeoOffice

### 11.3 Ergebnisse

vom 24.07.2012

**besten Punkt**, **schlechtesten Punkt**, **Referenzpunkt**

Punktnummer	Easting [m]	Northing [m]	Ellipsoidische Höhe	Positions- und Höhengenaugigkeit [m]
1	3521604,1476	5374497,0626	482,3766	0,0124
2	3521615,4814	5374559,0111	484,2338	0,0157
3	3521743,4570	5374814,0969	478,7291	0,0121
4	3521716,6176	5374827,0425	478,6553	0,0139
5	3521543,6898	5374344,1692	482,2713	0,0199
6	3521542,7194	5374345,7002	482,2099	0,0183
7	3521544,3167	5374346,5784	482,2345	0,0188
8	3521545,1535	5374345,0261	482,2912	0,0211
9	3521566,4972	5374353,7456	482,5649	0,0342
10	3521754,8131	5374003,0745	526,3802	0,0209

11	3521754,8072	5374003,0740	526,3813	0,0219
13	3521235,6814	5373872,8709	497,0485	0,0265
<b>73A</b>	<b>3521642,1065</b>	<b>5374563,9271</b>	<b>484,4113</b>	<b>0,0000</b>
<b>217</b>	<b>3524292,6458</b>	<b>5372269,5838</b>	<b>10,8082</b>	<b>0,0000</b>
1001	3521633,1791	5374587,9870	484,2299	0,0157
1002	3521633,7138	5374587,7855	484,2468	0,0163
1003	3521634,5131	5374590,0241	484,2755	0,0188
1004	3521633,9752	5374590,2266	484,2401	0,0183
1005	3521606,6983	5374601,4193	484,4937	0,0102
1006	3521607,2128	5374601,1998	484,4876	0,0106
1007	3521608,1459	5374603,3610	484,4679	0,0106
1008	3521607,6394	5374603,5928	484,4837	0,0107
1009	3521628,7200	5374646,3860	483,8494	0,0111
1010	3521628,1868	5374646,6057	483,8666	0,0115
1011	3521629,6567	5374648,5617	483,8569	0,0112
1012	3521629,1472	5374648,7729	483,8723	0,0111
1013	3521729,0143	5374817,6619	479,0650	0,0139
1014	3521730,4407	5374816,9434	479,0482	0,0137
1015	3521729,3998	5374814,4465	479,1226	0,0141
1016	3521500,5512	5374323,9347	481,9974	0,0134
1017	3521405,3509	5374292,7878	479,2546	0,0160
1030	3521505,1726	5373863,0824	495,3021	0,0206
1031	3521510,1064	5373889,9694	492,5326	0,0248
1032	3521512,8265	5373888,9989	492,5012	0,0252
1033	3521514,5223	5373893,7468	492,0759	0,0242
1034	3521511,8911	5373894,7236	491,9910	0,0241
1040	3521330,4064	5373947,4908	484,8865	0,0142
<b>ABASIN</b>	<b>3522578,9567</b>	<b>5372449,6645</b>	<b>730,4807</b>	<b>0,0000</b>
RTK6B01	3522578,5254	5372452,1966	730,6837	0,0110
RTK6B02	3522425,2507	5372310,3051	730,4731	0,0147
RTK6B03	3522419,8281	5372309,1237	730,6497	0,0157
RTK6B04	3522296,1503	5372279,8407	732,9583	0,0194
<b>RTK601</b>	<b>3522545,5179</b>	<b>5372341,6727</b>	<b>728,1183</b>	<b>0,0104</b>
RTK602	3522545,0111	5372327,0956	728,2200	0,0134
RTK603	3522576,2121	5372326,0734	727,9915	0,0217
RTK604	3522833,3415	5372275,6593	723,1611	0,0189
RTK605	3522906,0400	5372251,0128	722,0548	0,0126
RTK606	3523038,1663	5372314,1577	724,9391	0,0275

Tabella 11.1 Ergebnis 24.07.2012

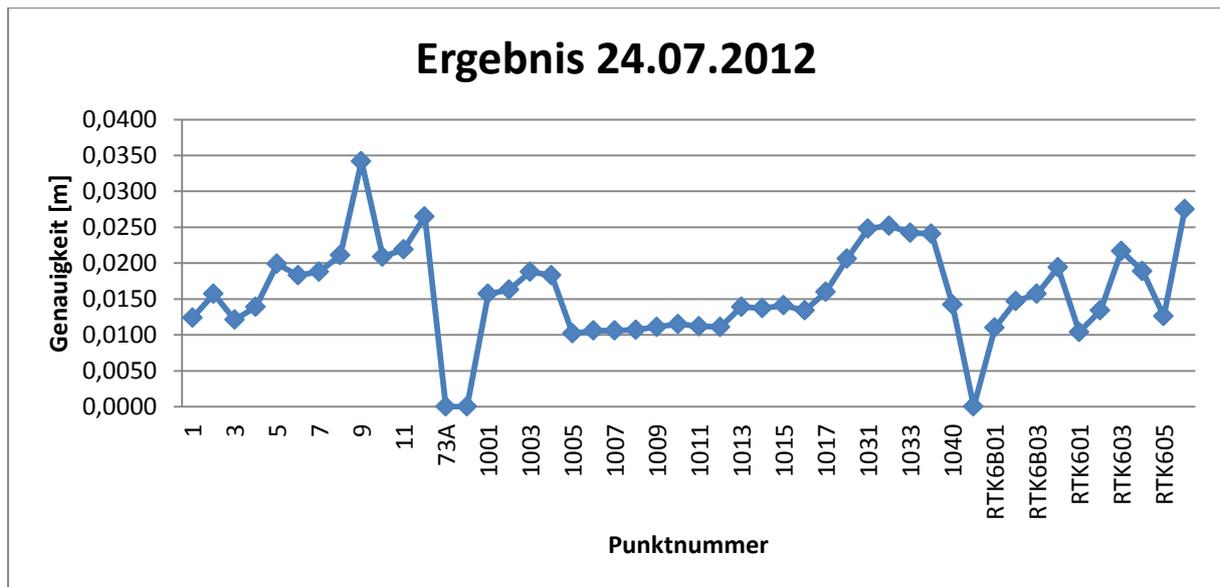


Abb. 11.4: Ergebnis 24.07.2012

vom 25.07.2012

**bester Punkt**, **schlechtester Punkt**, **Referenzpunkt**

Punkt_ID	Easting [m]	Northing [m]	ellipsoidische Höhe [m]	Positions- und Höhengenaugkeit [m]
1	3524357,0207	5374914,8446	769,3421	0,0124
2	3524342,5707	5374921,5357	769,6549	0,0111
3	3524318,9422	5374914,0205	769,5740	0,0135
4	3524306,5536	5374913,0349	769,7032	0,0126
5	3524306,7628	5374909,3459	769,6694	0,0127
6	3524350,0410	5374886,3855	769,1448	0,0103
7	3524339,5984	5374886,0367	769,2990	0,0116
8	3524314,3399	5374883,7479	769,5947	0,0161
9	3524275,3090	5374890,3219	769,9159	0,0103
10	3524243,0650	5374870,1218	770,5334	0,0106
11	3524243,0134	5374870,6442	770,5238	0,0094
12	3524191,8968	5374866,6393	771,5929	0,0094
13	3524128,7954	5374863,0021	772,7186	0,0092
<b>14</b>	<b>3524419,2374</b>	<b>5375132,3420</b>	<b>786,7275</b>	<b>0,0000</b>
15	3524136,1962	5374931,2549	774,9654	0,0123
16	3524136,8533	5374928,8684	774,8987	0,0106
17	3524143,7313	5374964,1093	774,0872	0,0144
18	3524169,3063	5374982,7628	773,5275	0,0208
19	3524300,0556	5375074,3546	777,5986	0,0096
20	3524301,1826	5375075,3090	777,6636	0,0097
21	3524416,0596	5375118,0870	786,3061	0,0094
22	3524417,4600	5375117,4555	786,3479	0,0095
23	3524429,0914	5375098,0241	785,3682	0,0104
24	3524429,5014	5375097,5857	785,3323	0,0095
25	3524517,8171	5375074,4599	787,0775	0,0095
26	3524517,9750	5375073,8648	787,0754	0,0095
27	3524516,0080	5375073,3673	786,8679	0,0096

28	3524515,8687	5375073,9576	786,8712	0,0098
29	3524473,0124	5375061,2190	783,4767	0,0094
30	3524473,1778	5375060,6212	783,4541	0,0107
31	3524471,2330	5375060,0625	783,3493	0,0103
32	3524471,0839	5375060,6482	783,3782	0,0099
33	3524428,0220	5375047,9598	781,1816	0,0095
34	3524428,2018	5375047,3757	781,1362	0,0094
35	3524426,2684	5375046,7946	781,0936	0,0089
36	3524426,0722	5375047,3860	781,1040	0,0112
1000	3524390,7772	5375005,4166	776,5502	0,0097
1001	3524390,5927	5375005,9881	776,5914	0,0095
1002	3524392,5134	5375006,5581	776,6797	0,0092
1003	3524392,6868	5375005,9922	776,6316	0,0095
1004	3524390,2010	5375007,2794	776,5988	0,0094
1005	3524390,5957	5375007,3923	776,6116	0,0086
1006	3524386,3738	5375019,8892	777,6397	0,0097
1007	3524386,2559	5375020,2599	777,6743	0,0090
1008	3524387,4380	5375020,6115	777,7167	0,0098
1009	3524387,5492	5375020,2359	777,6877	0,0083
1010	3524618,7922	5375087,7139	797,8647	0,0095
1011	3524618,6491	5375088,0550	797,8867	0,0081
1012	3524619,7585	5375088,4958	797,9682	0,0082
1013	3524619,8845	5375088,1555	797,9417	0,0077
<b>1014</b>	<b>3524983,7422</b>	<b>5375224,7768</b>	<b>792,5931</b>	<b>0,0443</b>
<b>1016</b>	<b>3524995,7800</b>	<b>5375196,3162</b>	<b>794,6324</b>	<b>0,0009</b>
1017	3524993,4698	5375195,5943	794,7463	0,0093
1018	3524054,5415	5372171,6256	760,1016	0,0352
1019	3524046,7702	5372172,5482	760,1011	0,0274
1020	3524047,0645	5372175,0313	760,0690	0,0321
1021	3524054,8447	5372174,1070	760,0624	0,0411
1022	3524081,1211	5371920,0498	750,2075	0,0176
1023	3524081,0222	5371920,0922	750,2062	0,0208
1024	3524081,1386	5371918,6463	750,2265	0,0224
1025	3524080,9856	5371918,3506	750,3892	0,0138
1026	3524100,7194	5371877,2750	750,1190	0,0169
1027	3524093,9126	5371881,3608	750,2758	0,0313
1028	3524286,7152	5371750,6734	749,9910	0,0163
1029	3524299,5216	5371737,7774	750,0889	0,0124

Tabelle 11.2 Ergebnis 25.07.2012

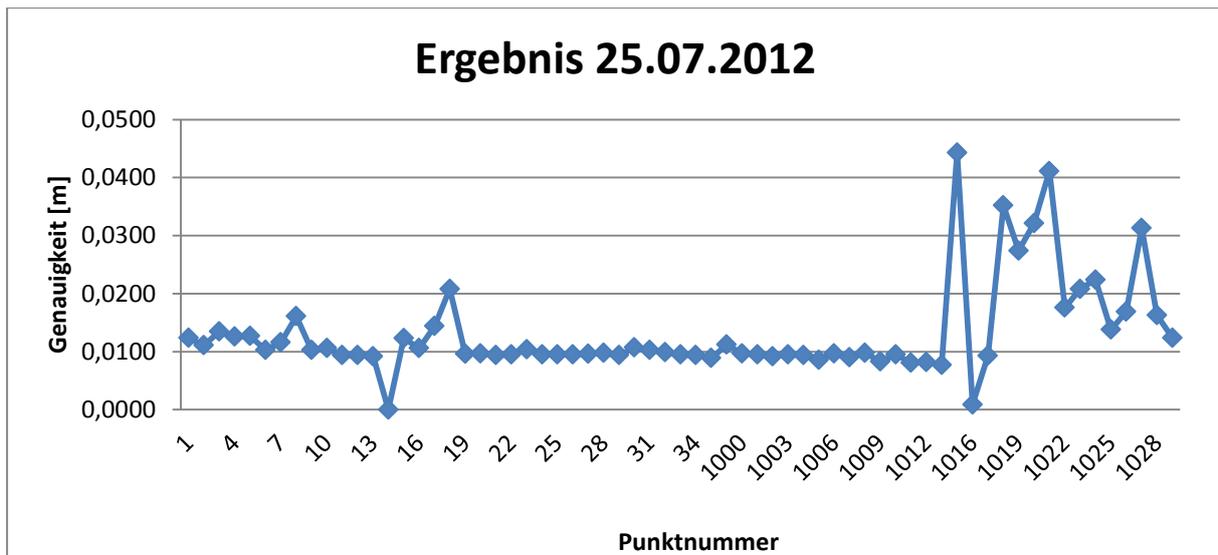


Abb. 11.5: Ergebnis 25.07.2012

## 11.4 Analyse

Die relativ hohe Genauigkeit der Punkte konnte nur erreicht werden, da die einzelnen Punkte zu verschiedenen Zeiten und dadurch auch mit unterschiedlichen Satellitenkonstellationen gemessen wurden; außerdem wurden die Messungen mit den höchsten Abweichungen gestrichen.

Eine höhere Genauigkeit lässt sich nur noch durch andere Messverfahren erreichen (z.B. Tachymetrische Polygonzugmessung).

## 12 Tachymetrische Punktverdichtung

Betreuer:

B. Zheng (IIGS)

Bearbeiter:

Simon Piesch (GuG)

Hailong Fu (GEO)

Eléonore Maire (Erasmus)

### 12.1 Aufgabenstellung

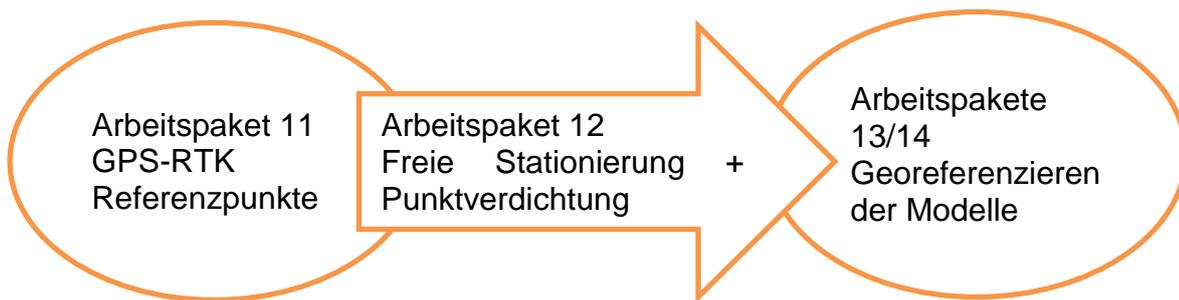
Geplant ist eine neue Falleitung für das Pumpspeicherwerk. Da durch die Bauarbeiten Absenkungen des Erdreiches befürchtet werden, werden die Gebäude aufgenommen um nach den Bauarbeiten eine mögliche Deformation festzustellen.

Dazu müssen die Gebäude georeferenziert werden (siehe Arbeitspakete 13/14). Bei der Georeferenzierung werden jeweils pro Gebäude drei Passpunkte benötigt.

Zu diesem Zweck ermittelt man im Arbeitspaket 11 GPS Referenzpunkte. Da diese nicht an den Gebäuden ermittelt werden können, benötigt man eine Tachymetrische Verdichtung am Gebäude. Der Tachymeter wird dabei mittels Freier Stationierung aus den GPS-Koordinaten positioniert. Dann können die Zielmarken der Arbeitspakete 13/14 oder markante Ecken gemessen werden.

Die daraus resultierenden Koordinaten werden dann an die Arbeitspakete 13/14 weitergegeben.

Schematische Skizze:



## 12.2 Arbeitsablauf

### Zusammen mit Arbeitspaket 11:

Falls die Referenzpunkte aus dem Arbeitspaket noch nicht vorgegeben wurden ist es sinnvoll zunächst das Gelände zu erkunden. Dabei ist ein günstiger Standpunkt für die spätere Stationierung zu bestimmen. Ist ein geeigneter Standpunkt gefunden der möglichst viele aufzunehmende Häuser beinhaltet, so kann mit der Punktsuche für das Arbeitspaket 11 begonnen werden. Dabei ist auf eine geometrische Stabilität und eine gute Sicht zu den Referenzpunkten von der gewählten Station zu achten. Für die Referenzpunkte gilt des Weiteren auf eine geringe Abschattung durch Bäume und/oder Gebäude zu achten. Diese würden starke Multipatheffekte erzeugen, welche zu einer schlechteren Bestimmung der Referenzpunkte führt.

### Ohne Arbeitspaket 11:

Falls die Referenzpunkte schon gesetzt wurden, kann man direkt mit einer Standpunktwahl beginnen.

Steht die freie Stationierung, werden die Höhen an den Referenzpunkten als auch am Tachymeter gemessen und notiert. Mit der Software GeoSamos werden dann die Messungen zu den Punkten, als auch die Höhe zur Standpunktberechnung verwendet. Im Anschluss markiert man das aufzunehmende Gebäude mit Marken und misst diese auf. Besitzt man keine Marken sind markante Punkte (z.B. Ecken) aufzunehmen.

### 12.3 Aufnahmebeispiel Gruppe 2



● Referenzpunkte      ▲ freie Stationierung

*Abb. 12.1: Aufnahmebeispiel Gruppe 2*

Gewählt wurde dann von unserer Gruppe diese Konstellation. In diesem älteren Orthophoto sind die Bäume in der oberen Hälfte noch vorhanden, allerdings in der Realität nichtmehr, so dass sich dieser Standort für einen Referenzpunkt eignete. Des Weiteren fehlt eine Garage(★) zwischen der Turbine und Schuppen, welche ebenfalls aufgenommen wurde.

## Visualisierung mit Arbeitspaket 10: ArcMap



Abb. 12.2: Visualisierung mit Arbeitspaket 10 mit ArcMap

Ergebnistabelle:

ID	X[m]	Y[m]	Z[m]
A_1	3521306,715	5374213,522	467,148
A_2	3521313,879	5374204,002	467,154
A_3	3521313,839	5374204,007	459,847
A_4	3521299,142	5374191,927	466,902
G_1	3521333,071	5374177,657	460,875
G_2	3521333,682	5374177,994	465,014
G_3	3521331,123	5374180,215	459,677
S_1	3521353,190	5374183,671	463,761
S_2	3521360,779	5374188,865	460,864
S_3	3521346,708	5374178,475	460,850
RTK1	3521318,462	5374236,604	459,452
RTK2	3521346,192	5374213,420	459,862
RTK3	3521358,475	5374197,057	459,803
RTK4	3521388,095	5374211,666	465,515
RTK5	3521388,251	5374180,192	463,104
RTK6	3521337,510	5374124,730	464,573
RTK7	3521295,849	5374134,146	465,921
RTK8	3521273,204	5374158,848	459,619
RTK9	3521323,066	5374195,374	459,634
RTK10	3521348,750	5374191,301	459,647
RTK11	3521339,229	5374247,120	460,247

Tabelle 12.1 Ergebnisse

## 12.4 Genauigkeit

Für die verschiedenen Tachymeter:

TCR403:

$$\sigma_r = 1mgon, \sigma_s = 2mm + 2ppm$$

Längste Strecke:  $S=80m$

$$\sigma_q = \sigma_r * S = 0.0001gon * \frac{\pi}{200gon} * 80m = 0.13mm$$

$$\sigma_l = \sigma_s = \sqrt{2mm^2 + \left(2 * \frac{80m}{1000}\right)^2} = 2.006mm$$

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_l^2 + \sigma_q^2} = 2.010mm$$

TCR307:

$$\sigma_r = 2mgon, \sigma_s = 3mm + 2ppm$$

Längste Strecke:  $S=80m$

$$\sigma_q = \sigma_r * S = 0.0002gon * \frac{\pi}{200gon} * 80m = 0.25mm$$

$$\sigma_l = \sigma_s = \sqrt{3mm^2 + \left(2 * \frac{80m}{1000}\right)^2} = 3.004mm$$

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_l^2 + \sigma_q^2} = 3.015mm$$

Die anderen Genauigkeiten liegen darunter, da die Strecke geringer war. Die Arbeitspakete 13/14 benötigen eine Genauigkeit von ca. 1 cm, so dass diese Vorgaben leicht erfüllt wurden.

## 13 Photogrammetrische Aufnahme von Gebäuden

Betreuer:

A. Cefalu (IFP)

Bearbeiter:

Peter Ganzhorn (GuG)

Xingyu Wei (GEO)

### 13.1 Durchführung der Aufnahme

Bei der Durchführung der Aufnahme in der zweiten Woche des integrierten Praktikums stand den einzelnen Gruppen Herr Cefalu vom IFP zur Seite.

Die vorgegebenen Regeln zur Aufnahme von Bildern, die später zur Erzeugung der 3D-Modelle verwendet werden können, wurden von allen Gruppen befolgt.

Es wurden orthogonale Aufnahmen von allen Gebäudeseiten, traversierende Aufnahmen für lange Gebäudeseiten, sowie Aufnahmen im Winkel von 45° an den Ecken gemacht, um die Seiten im 3D-Modell verbinden zu können.

Durch den Einsatz des Stativs für die Kamera entstanden sehr gute, nicht "verwackelte" Bilder. Im Vergleich zum im Vorfeld des Praktikums durchgeführten Testprojekt ließ sich die Bildqualität hier deutlich steigern, wobei die Belichtungszeit durch das gute Wetter auch niedriger war und somit weniger Möglichkeiten zum "Verwackeln" bestanden.

In der Umsetzung von der Theorie der Aufnahme in die Praxis musste von fast allen Gruppen festgestellt werden, dass es in der Praxis keinen tatsächlich frei wählbaren Standpunkt gibt. Durch die Verdeckung von Teilen des Zielgebäudes von Bäumen, Gebüsch, Zäunen und ähnlichen Objekten rund um die Zielgebäude war es teilweise

nicht möglich, einen Standpunkt zu finden, von dem aus alle Ecken einer Gebäudeseite sichtbar sind.

Einzelne Gruppen betrieben hierzu einen relativ großen Aufwand, der sich später in der Qualität der 3D-Modelle auch zeigt.

Als in der Praxis sinnvoll hat sich auch die Durchführung der Photogrammetrie- und Laserscanning-Arbeitspakete am selben Tag gezeigt, da beide Arbeitspakete im Bereich der EnBW-Gebäude am unteren Staubecken des Pumpspeicherkraftwerks Glems durchgeführt wurden.

Sehr vorteilhaft war die dynamische Zeiteinteilung bzw. der sofort mögliche Wechsel zwischen den Arbeitspakete, was es ermöglicht hat, die Datenaufnahme für beide Arbeitspakete am Vormittag zu beenden und sich am Nachmittag auf die relativ umfangreiche Auswertung konzentrieren zu können.

Gegenseitige Beeinträchtigungen bei der Arbeit gab es durch die gleichzeitige Durchführung der zwei Arbeitspakete in selben Arbeitsgebiet nicht.

Aufgenommen wurden im Arbeitsgebiet am Pumpspeicherkraftwerk folgende drei Gebäude:

- Hauptgebäude, im Bild mittig, mit Flachdach.
- Scheune, im Bild unten rechts.
- Garage, im Bild nicht zu sehen, da die Garage erst 2011 erbaut wurde. Die Garage befindet sich zwischen Hauptgebäude und Scheune links neben dem Parkplatz.



Abb. 13.1

Als problematisch haben sich die Texturen der Gebäudefassaden herausgestellt.

Das Hauptgebäude hat große Fensterflächen und besteht sonst aus sandsteinartigem Stein. Die Zuordnung identischer Punkte auf den Steinflächen ist extrem schwierig, auf den Glasbereichen lassen sich keine Punkte identifizieren.

Gebäudeecken waren oft von Bäumen, Büschen oder dem Kran (rechts vom Hauptgebäude) verdeckt.

Die Scheune besteht aus dunklem Holz. Hier ist es manuell fast unmöglich gewesen, identische Punkte zuverlässig zu identifizieren.

Die Garagen waren weiß verputzt, auch hier ist es aufgrund des sehr guten Zustandes und daher homogenen Erscheinungsbild der Fassade schwer gewesen, Punkte auf den Seitenflächen zu identifizieren.

### **13.2 Auswertung / Erstellung der 3D-Modelle mit PhotoModeler**

Bei der Auswertung mit der PhotoModeler 5 Software zeigten sich diverse Probleme, die aber alle zufriedenstellend beseitigt oder gelöst werden konnten.

Fehler bei der Handhabung der Software gab es auch, hauptsächlich da das Programm für alle absolutes Neuland war.

Die ärgerlichsten Probleme bestanden in unregelmäßigen Programmabstürzen oder auch der Tatsache, dass in manchen Dialogen im Programm die Ziffer "1" einfach nicht eingegeben werden konnte.

Glücklicherweise entstanden durch Abstürze keine allzu großen Verluste der Arbeitsdaten, da die Gruppen regelmäßig zwischenspeicherten.

Das Problem mit den Eingaben löste Herr Cefalu sehr geschickt, durch das Eingeben der "1" in einem Texteditor gefolgt von markieren & kopieren.

Damit ließ sich die Ziffer "1" über "Einfügen" bzw. die Tastenkombination Strg+V doch erzeugen.

Bei der Bedienung des Programms gab es insgesamt keine nennenswerten Schwierigkeiten, bei allen Gruppen funktionierte das Messen und Zuordnen der Punkte intuitiv und nach kurzer Eingewöhnungsphase auch relativ schnell.

Leichtsinnfehler wie die Vergabe von falschen IDs für einen Punkt oder die Vergabe mehrerer IDs für identische Punkte kamen nicht vor oder wurden von den Gruppen selbst schnell erkannt und behoben.

Durch die unglückliche Auswahl der zu verwendenden Bilder entstanden teilweise aber Probleme, da Bilder ausgewählt wurden, in denen nur in einem relativ kleinen Bereich Punkte gemessen werden konnten.

Durch die mangelnde Verteilung der Punkte über das Bild entstand in den resultierenden 3D-Modellen hier ein "Drehpunkt" durch den hohen Freiheitsgrad.

In Zwischenergebnissen entstanden so 3D-Modelle, bei denen die eigentlich nach links anschließende Fassadenseite auf einmal senkrecht nach oben verlief.

Durch die Verwendung anderer Fotos und der besseren Verteilung der Punkte konnte dieses Problem jedoch gelöst werden.

Vor allem bei der Scheune entstanden Fehler durch falsch zugeordnete identische Punkte. Die dunkle Holzfassade machte es beim manuellen Messen fast unmöglich, genug Punkte zuverlässig zu identifizieren.

Hier wäre der Einsatz von Software mit automatischer Punkterkennung zu empfehlen, wobei der angestrebte Lernerfolg dabei wahrscheinlich deutlich gelitten hätte.

Bei der Garage entstand durch einen unsauber gemessenen Punkt zum Beispiel eine auffällige Unebenheit im Dachbereich, die in der Realität so nicht vorhanden war.

Im Dachbereich des Hauptgebäudes gab es Blechverwahrungen, die nicht auf der Fassadenebene endeten, sondern überstanden. Hier entstanden auch Modelle, bei denen die Fassade an diesen Stellen nicht mehr lotrecht sondern nach oben schräg nach außen verlief, da die überstehenden Flächen mit der restlichen Fassade als eine Fläche definiert wurden.

### 13.3 Abschließende Beurteilung der Ergebnisse

Insgesamt ist das “Arbeitspaket 13: Photogrammetrische Aufnahme von Gebäuden” aber als durchweg erfolgreich zu bewerten, da alle Gruppen 3D-Modelle erzeugen konnten und die Grundlagen der photogrammetrischen Aufnahme kennengelernt haben.

Komplette Misserfolge blieben aus und die Qualität der erzeugten Modelle bewegt sich im erwarteten Bereich. Von Hand können bei verschachtelten Strukturen wie am Hauptgebäude oder so schlechten textuellen Bedingungen wie auf der Scheune in der für das Arbeitspaket angesetzten Zeit keine detaillierten 3D-Modelle erzeugt werden. Die Form der erzeugten Modelle ist für die zur Verfügung Zeit also durchaus gut.

Da es für alle Gruppen und deren Mitglieder die erste Arbeit im Bereich Photogrammetrie und mit der PhotoModeler-Software war, ist auch klar, dass an den Gebäuden teilweise Ecken fehlen oder einzelne Fassaden fehlerhaft texturiert erscheinen.

Bei einem weiteren Projekt wären diese Fehler sicherlich nicht erneut gemacht worden, ein Lerneffekt ist hier also mit Sicherheit zu verzeichnen.

Die einzige nicht durchgeführte Aufgabe war die Geo-Referenzierung der Modelle – hier gab es zum einen bis zuletzt keine Koordinaten, weiterhin hat die PhotoModeler-Software hier sowieso Probleme gemacht. Die Geo-Referenzierung wäre aber mit etwas mehr Zeit durchaus realisierbar gewesen, von einem Misserfolg kann hier also nicht die Rede sein.

### 13.4 Visualisierung der Ergebnisse

#### 13.4.1 Hauptgebäude:

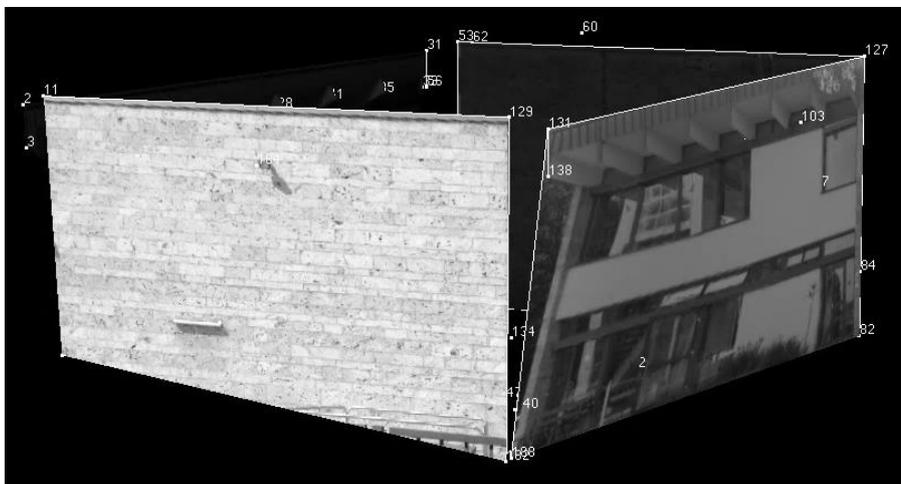


Abb. 13.2: Hauptgebäude-1

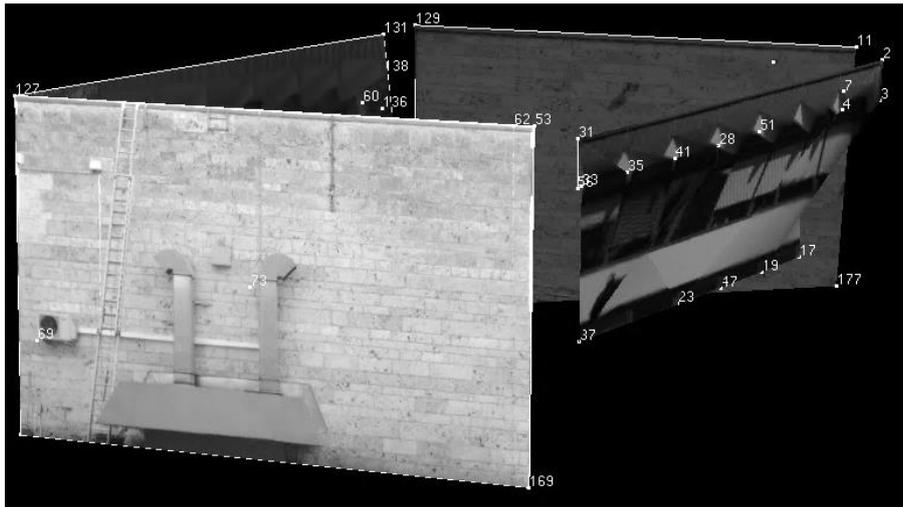


Abb. 13.3: Hauptgebäude-2



Abb. 13.4: Hauptgebäude-3

Zu erkennen sind Fehler in der Texturierung, sowie die nicht lotrechte Fassade, bedingt durch gemessene Punkte auf der überstehenden Blechverwahrung.

### 13.4.2 Garage

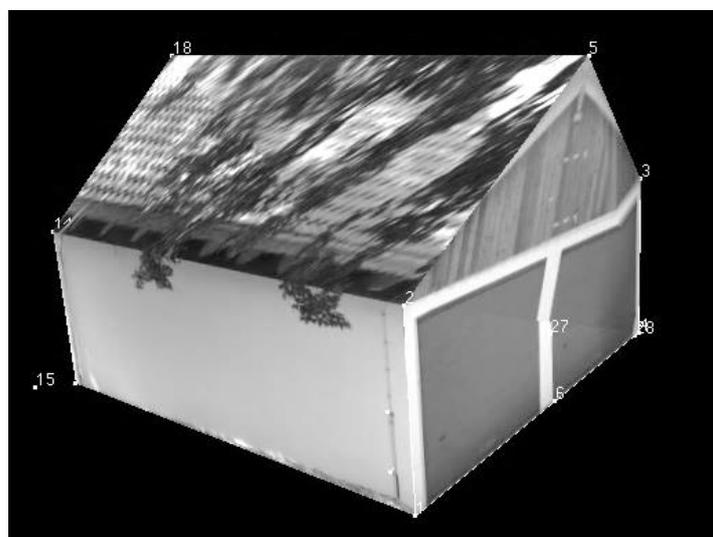


Abb. 13.5: Garage-1

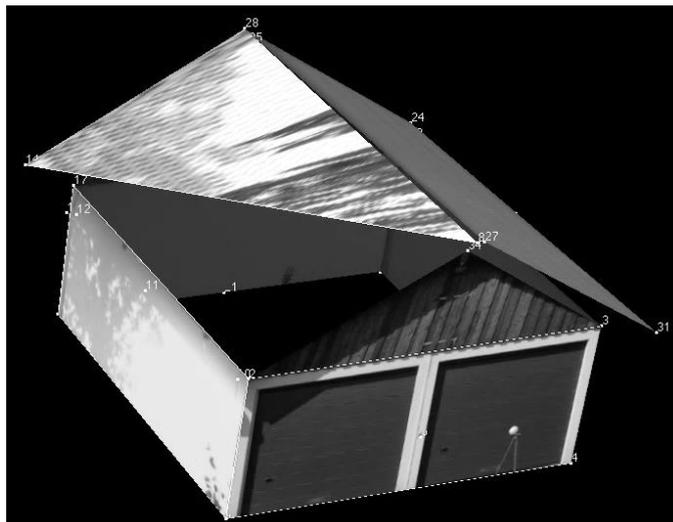


Abb. 13.6: Garage-2

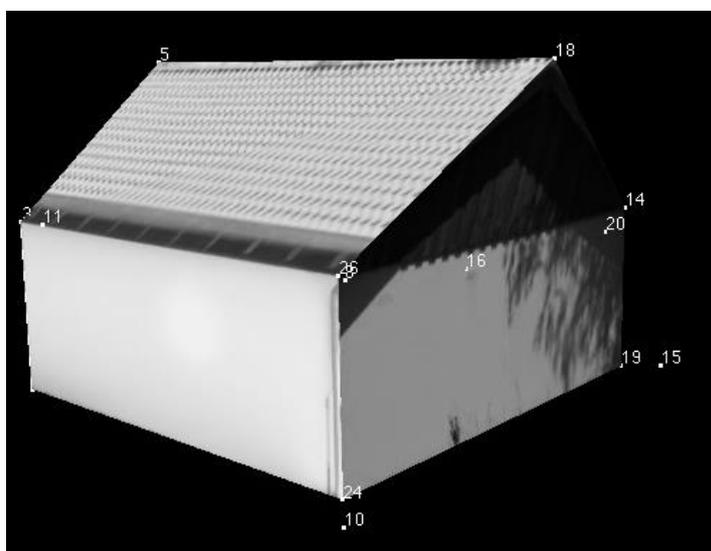


Abb. 13.7: Garage-3

Bei der Garage gab es nur kleine Fehler durch Verzerrungen/Unebenheiten sowie ein nur halb erfasstes Dach. Perspektivische Fehler in den Texturen sind vor allem im Dachbereich zu erkennen.

## 14 Gebäudeaufnahme mittels terrestrischem Laserscanner

Betreuer:

K. Wenzel (IFP)

Bearbeiter:

Dufang Xie (GuG)

Zihan Liu (GEO)

### 14.1 Ziel

Die Aufgabe des gesamten integrierten Praktikums ist die Planung einer Wasserleitung zwischen Unterbecken und Oberbecken in Glems. Wegen des Baus der Wasserleitung kann Senkung des Bodens auftreten. Zum Überwachungszweck werden die Gebäude neben dem Unterbecken mittels Laserscanner aufgenommen. In Abb. 14.1 sehen wir

die drei aufzunehmende Gebäude und andere Einrichtungen.



*Abb. 14.1: Orthophoto des aufzunehmenden Gebiets*

## 14.2 Vorgehensweise

### 14.2.1 Messung

In diesem Arbeitspaket benutzen wir den Laserscanner **Faro Focus 3D** (Abb. 14.2). Das Prinzip ist, dass die Entfernungen und Orientierungen zwischen dem Scanner und Objekten gemessen und danach X,Y,Z Koordinaten durch Transformation berechnet werden. Die Farben werden durch eine im Scanner integrierte Kamera aufgenommen. Um ein komplettes Gebäude zu erfassen, werden die Messungen von mehreren Positionen aus durchgeführt.



*Abb. 14.2: Faro Focus 3D Laser Scanner (Faro, 2011)*

### 14.2.2 Registrierung

Nach den Messungen werden die Daten mit Hilfe der Software **Faro Scene** bearbeitet. Das Verfahren, in dem alle Scans in eine einheitliche Punktwolke zusammengelegt werden, nennt man **Registrierung**. Zur Registrierung müssen wir hinreichende identische Objekte in unterschiedlichen Scans finden. Normalerweise sind die natürlichen Objekte schwierig zu identifizieren. Deshalb benutzen wir Zielmarken und Zielkugeln als Hilfsmittel (Abb. 14.3). Vor den Messungen werden die Zielkugeln mit Stativen um die Scannerstation gelegt und die Zielmarken an die Wände geklebt.

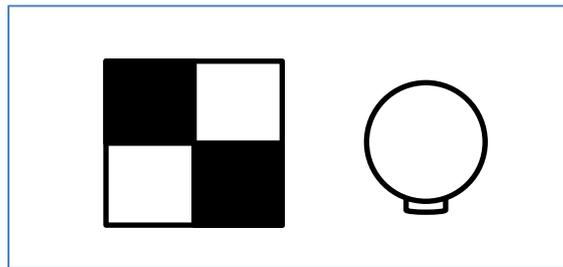


Abb. 14.3: Zielmarke und Zielkugel

### 14.2.3 Georeferenz

Der letzte Schritt ist die Georeferenzierung. Die Gauß-Krüger-Koordinaten von mindestens drei Zielmarken sind angemessen (Abb. 14.4). Die Georeferenz erfolgt auch in der Software Faro Scene. Jedoch muss man darauf achten, dass Faro Scene nicht mit „langer Zahl“ umgehen kann. Die Software war nicht perfekt entworfen. Deswegen benutzen wir nur reduzierte X- und Y-Koordinaten (Tab. 14.1): X-Koordinaten mit Abzug 3521000; Y-Koordinaten mit Abzug 5374000.



Abb. 14.4: Zielmarken für Georeferenz

Punkte	X[m]	Y[m]	Z[m]	red. X[m]	red. Y[m]
GCP7	3521347.589	5374176.771	461.786	347.589	176.771
GCP8	3521350.203	5374173.255	460.495	350.203	173.255
GCP9	3521352.650	5374169.942	461.933	352.650	169.942

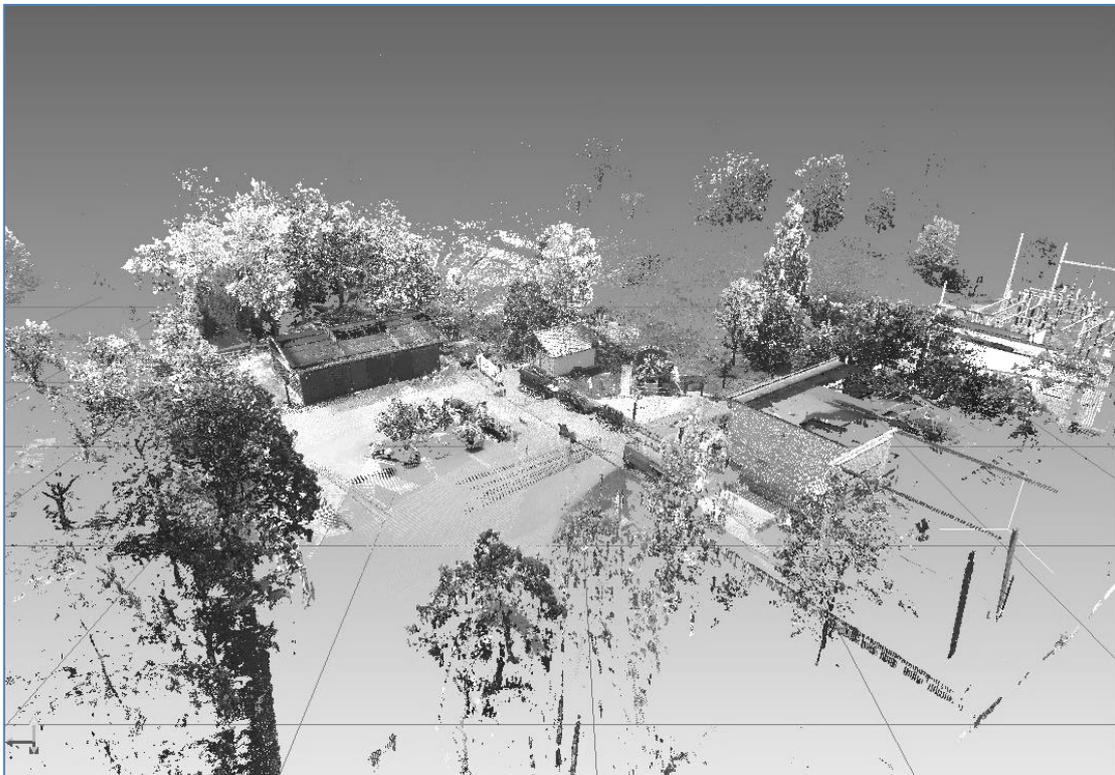
*Tabelle 14.1 Koordinaten für Georeferenz*

## 14.3 Ergebnisse

### 14.3.1 Visualisierung

Insgesamt haben wir 19 Scans für das gesamte Gebiet durchgeführt. Davon hat ein Scan die Farben wegen einer Störung verloren. Die anderen 18 sind in Ordnung. Nach der Datenverarbeitung (Registrierung, Georeferenzierung) wird jeder Scan im Dateiformat **\*.ptx** und **\*.pod** exportiert.

Mit Hilfe der Software **Pointools** lassen sich die Dateien schnell einlesen und visualisieren. Es folgen ein paar Screenshots (Abb. 14.5 bis Abb. 14.9).



*Abb. 14.5: Gesamtes Gebiet*



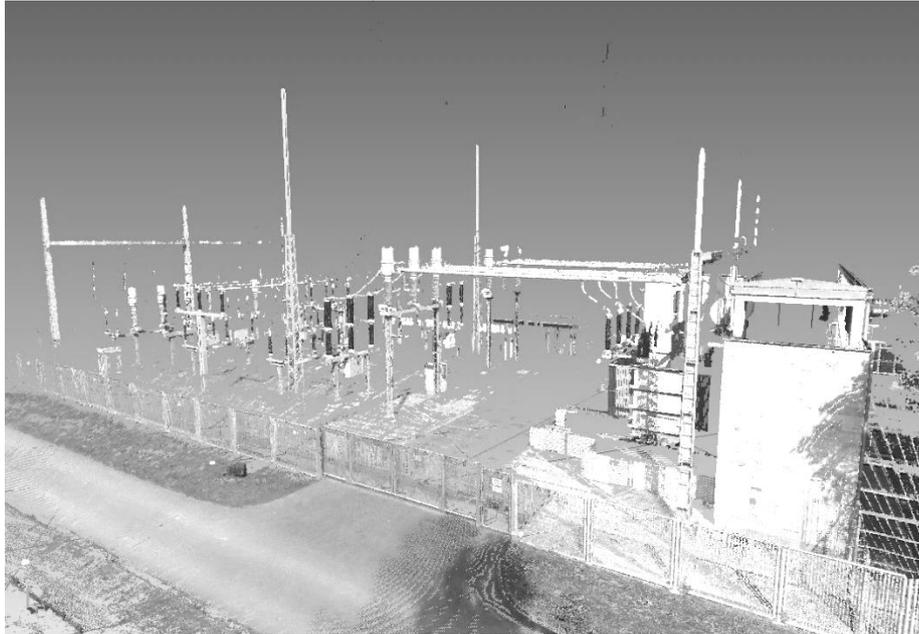
*Abb. 14.6: Haus I (vorne, hinten und innen)*



*Abb. 14.7: Haus II (vorne und hinten)*



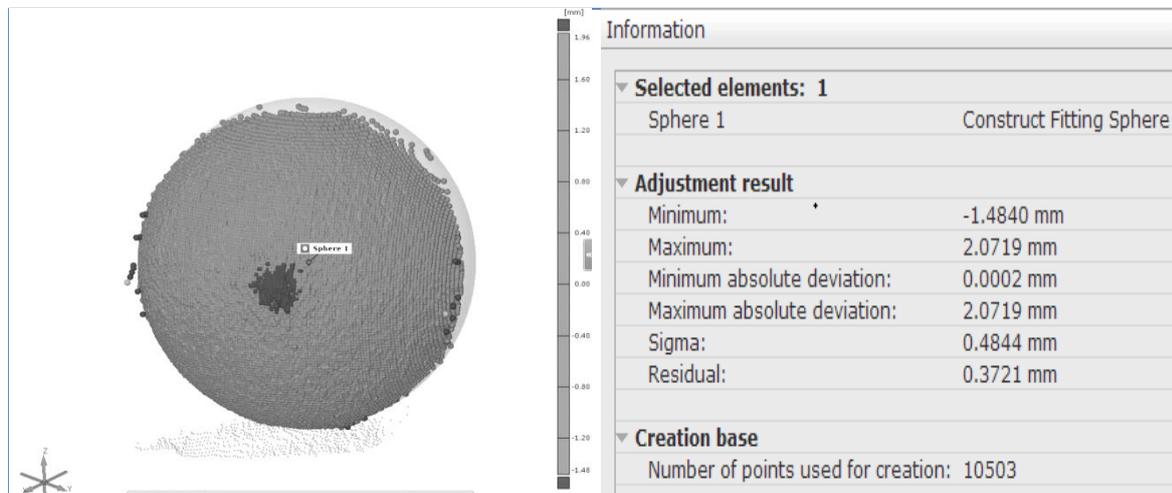
*Abb. 14.8: Haus III*



**Abb. 14.9:** Einrichtung

### 14.3.2 Genauigkeit

Zur Genauigkeitsanalyse werden die Punkte einer Zielkugel ausgeschnitten und dann in die Software **GOM Inspect** eingelesen. Die Software schätzt eine beste passende Kugel und rechnet dann die Abweichungen der Punkte bezogen auf der besten Kugel (Abb. 14.10). Die Standardabweichung beträgt ungefähr **0,5[mm]**.



**Abb. 14.10:** Genauigkeit

# Erfahrungsbericht des Auslandsstudiums an der University of Calgary von Janina Friedrich

September 2012 – Mai 2013



“Twenty years from now you will be more disappointed by the things that you didn't do than by the ones you did do. So throw off the bowlines. Sail away from the safe harbor. Catch the trade winds in your sails. Explore. Dream. Discover.” – Mark Twain

Mit diesem Zitat habe ich mich nicht nur für das Austauschprogramm beworben, sondern dieser Satz war auch mein Motto für diese unvergessliche Zeit.

## **Vor meinem Auslandsaufenthalt**

Schon seit Beginn meines Studiums der Geodäsie und Geoinformatik an der Universität Stuttgart habe ich mit dem Gedanken gespielt eine Zeit lang im Ausland zu studieren. Als ich dann das Plakat des Austauschprogramms mit der University of Calgary entdeckte, war ich zwar begeistert, aber konnte mir trotzdem nicht vorstellen acht Monate in einem fremden Land, mit fremden Menschen und einer mehr oder weniger fremden Sprache zu verbringen. Kanada hat mich allerdings schon immer fasziniert. Da ich ein absoluter Winterfan bin, haben mich selbst Temperaturen von  $-30^{\circ}\text{C}$  bis  $-40^{\circ}\text{C}$  nicht abgeschreckt. Nachdem ich am Informationsabend des Austauschprogramms teilnahm, das von ehemaligen Austauschstudenten geleitet wurde, war ich restlos begeistert.

Das Bewerbungsverfahren war relativ einfach und ging deshalb ziemlich schnell. Nach einer schriftlichen Bewerbung mit Motivationsschreiben, Lebenslauf und weiteren Dokumenten, wurden alle Bewerber zu einem persönlichen Gespräch eingeladen, in dem man das Auswahlkomitee, bestehend aus Professoren der Fakultät 2 und 6, sowie aus Mitarbeitern des Institut für Baustatik und des Internationalen Zentrums, davon überzeugen durfte, warum man der/die Beste für diesen Austausch ist.

Nachdem die Auswahl getroffen wurde, begannen die Vorbereitungen für unsere große Reise. Zwei Bauingenieure und ein weiterer Geodäsie Student wurden ausgewählt. Da wir bereits der 33. Jahrgang waren, wurde fast alles schon für uns geregelt, wie z.B. die Einschreibung an der University of Calgary. Lediglich die Anmeldung für das Wohnheim auf dem Campus und der Antrag für das Studentenvisum wurden uns überlassen.

## Ankunft in Kanada

Die Zeit bis zu unserer Abreise verging sehr schnell. Als wir nach 14 Stunden Flug mit Zwischenstopp in Toronto endlich ankamen, war es 1 Uhr morgens und so verbrachten wir die Nacht am Flughafen. Die ersten Tage wurden wir von den vielen neuen Eindrücken überwältigt, aber auch von der Freundlichkeit und Hilfsbereitschaft der Kanadier angenehm überrascht. Nachdem wir uns im Wohnheim eingerichtet und die Kurswahl mit unserer Betreuerin abgestimmt hatten, wurde Calgary erkundet.

Calgary liegt in der Provinz Alberta, 80 km östlich der kanadischen Rocky Mountains. Sie ist die drittgrößte Stadt Kanadas und hat 1.096.833 Einwohner. Obwohl sie keine besondere Touristenstadt ist, hat sie doch einiges an Sehenswürdigkeiten zu bieten, wie z.B. den Calgary Tower, den Bow River mit Prince's Island Park oder die Calgary Stampede, die Menschen aus der ganzen Welt anlockt. Das typische nordamerikanische Stadtbild ist von Hochhäusern in Downtown geprägt, die meist Banken und Ölkonzerne beherbergen. Ringsum befinden sich Wohngebiete mit ein- bis zweistöckigen Gebäuden, weshalb Calgary auch sehr weitläufig ist. Besonders im Winter ist Downtown wie ausgestorben, da es das „+15 Skyway Network“ gibt. Dies ist ein oberirdisches, geschlossenes Fußgängerbrückensystem, das sich in Höhe von 15 Fuß befindet. Wenn man sich also in Downtown bewegt, muss man kaum einen Fuß nach draußen setzen. Bei -30°C ist das durchaus eine Erleichterung. Leider ist deshalb auch das Stadtleben sehr ruhig. Nur in wenigen Straßen findet man Bars und Restaurants, wie z.B. in der Stephen Avenue und der 17th Avenue.



*Downtown Calgary*



*Prince's Island Park*

Obwohl Calgary eine Millionenstadt ist, sind die öffentlichen Verkehrsmittel sehr beschränkt. Es gibt nur zwei c-train Linien (wie unsere Straßenbahn), die beide durch Downtown dieselbe Strecke befahren. Falls in diesem Streckenabschnitt etwas passiert, ist also das gesamte c-train-Netz still gelegt, was leider des Öfteren vorkam. Es gibt zwar ein Busnetz, aber auch das hat seine Tücken. Die Bushaltestellen haben weder Namen, noch einen Zeitplan oder eine Übersichtskarte. Wenn man demnach eine

Bushaltestelle fand, wusste man weder wann der nächste Bus kommt, noch wo er hinfährt. So war ich doch sehr oft auf das mobile Internet auf meinem Handy angewiesen, sonst wäre ich vermutlich häufig orientierungslos gewesen.

Nach einer Woche Eingewöhnungsphase, begann für mich der Ernst des Lebens: ich besuchte meine erste Vorlesung. Obwohl mein Englisch relativ gut war, hat es doch einige Zeit gedauert bis ich mich daran gewöhnt hatte Vorlesungen auf Englisch zu hören. Besonders die Fachbegriffe waren mir nicht geläufig. Allerdings gewöhnte man sich sehr schnell daran.

## Studium

In meinem ersten Semester habe ich folgende Kurse belegt: Digital Imaging = Digitale Bildverarbeitung, High Precision Surveys und Geodetic and Engineering Surveys = Ingenieurgeodäsie, Natural Disasters and Earth Phenomena = Naturkatastrophen und Erdphänomene. Für die zwei Vermessungskurse wurden wöchentlich Übungen durchgeführt, wie z.B. Polygonzug und Nivellement. Es wurde sowohl bei Sonne als auch bei Schnee und Kälte vermessen.



*EDMI*



*Nivellement*

Im Kurs Natural Disasters and Earth Phenomena gab es eine freiwillige Exkursion zur Frank Slide und Bellevue Mine, 250 km südlich von Calgary, relativ nahe an der Grenze zu den USA. Im Kurs befanden sich ca. 400 Studenten, da die Exkursion aber freiwillig war, hatten sich nur 15 Studenten dafür gemeldet. Zuerst haben wir uns das Interpretive Centre und einige Filme über den Bergsturz angeschaut. Vor über 100 Jahren ist dort ein ganzer Block des Berges Turtle Mountain abgebrochen und hat dort das Dorf Frank unter sich begraben.



*Turtle Mountain*

17 Bergwerker wurden damals in der Mine verschüttet, konnten sich jedoch selbst befreien. Damals nannten die Indianer den Berg "mountain that moves" = "Berg der sich bewegt" und haben deshalb niemals ihr Lager unterhalb des Berges aufgeschlagen.

Darauf folgte noch eine Tour durch die Steine, in der wir sogar eine private Führung von unserem Professor bekamen. Später sind wir dann in die Mine gegangen. Allerdings war die Führung nach einigen Hundert Metern beendet, da es natürlich zu gefährlich ist, sich tiefer in die Mine zu begeben.

In meinem zweiten Semester habe ich folgende Kurse belegt: Satellite Positioning und Geodesy = Grundlagen der Navigation und Fernerkundung und Erdmessung, Principles of Photogrammetrie = Photogrammetrische Bildverarbeitung. Auch im Kurs Satellite Positioning wurden des Öfteren Vermessungsübungen draußen durchgeführt. Hierbei wurden Satellitendaten für verschiedene Projekte gesammelt und mit C++ oder Matlab ausgewertet.

Abgesehen vom Aufbau des Campus, der einer Kleinstadt ähnelt, gibt es noch andere Unterschiede. Ein großer Unterschied liegt in der Struktur der Kurse. An der University of Calgary gibt es nicht nur eine Abschlussprüfung, sondern auch eine Zwischenprüfung, die 25-30% der Endnote ausmacht. Auch die wöchentlichen Übungen und Ausarbeitungen werden mit 25-30% bewertet. So zählt die Abschlussprüfung nur 40-50% und man kann unter Umständen selbst einen Kurs bestehen, bei dem man in der Abschlussprüfung durchgefallen ist. In Stuttgart dagegen zählt einzig und allein die Abschlussprüfung. Falls man diese also nicht besteht, ist man durch den ganzen Kurs gefallen. Es gibt zwar auch hier wöchentliche Übungen und Ausarbeitungen, diese werden aber nicht benotet, sondern dienen lediglich als Prüfungsvorleistung, ohne diese man nicht an der Prüfung teilnehmen darf. Einerseits hat man in Calgary viele Chancen seine Note noch zu verbessern, andererseits ist diese Art der Kursstruktur mit wesentlich mehr Arbeit während des Semesters verbunden. Man bleibt aber auch einfacher am Stoff dran und muss für die Abschlussprüfung weniger Zeit investieren, da man die Hälfte des Stoffes bereits für die Zwischenprüfung gelernt hat. Es gibt Vor- und Nachteile für beide Systeme. Eine Mischung aus beiden wäre meiner Meinung nach perfekt, wenn z.B. die Übungen in Stuttgart bewertet und in die Note mit einfließen würden. Die Zwischenprüfungen in Calgary waren doch immer sehr stressig, da sie zu einer Zeit geschrieben werden, in der man sowohl Vorlesungen besuchen als auch Ausarbeitungen schreiben muss. Es bleibt nur wenig Zeit sich ordentlich auf die Zwischenprüfungen vorzubereiten.

Auch die Semester unterscheiden sich sehr. In Kanada gibt es ein Herbst- und ein Wintersemester, die jeweils von September bis Dezember und von Januar bis April gehen. Dazwischen gibt es lediglich zwei Wochen Weihnachtsferien, aber keine richtigen Semesterferien, wie wir sie kennen. Stattdessen haben sie von Mai bis August frei. Es gibt zwar Sommerkurse, an denen aber nur wenige Studenten teilnehmen. Die Prüfungen befinden sich alle innerhalb von zwei Wochen am Ende des jeweiligen Semesters. In dieser Zeit werden keine Vorlesungen gehalten.

In Stuttgart werden eigentlich alle Prüfungen in den Semesterferien geschrieben, was zum einen den Vorteil hat, dass man sich vollständig auf die Prüfungen konzentrieren kann, zum anderen aber auch den Nachteil hat, dass es möglich ist, dass alle Prüfungen auf die gesamten Semesterferien verteilt sind und somit nicht wirklich Freizeit oder Zeit zum Arbeiten bleibt. Auch hier gibt es Vor- und Nachteile für beide Systeme. Ich persönlich hatte den Vorteil in nur 8 Monaten gleich 2 Semester im Ausland studieren zu können.

Besonders Sport wird an der University of Calgary großgeschrieben. Alle Sportarten sind durch Teams vertreten und alle anderen Studenten fiebern bei Spielen ordentlich mit. Das Gemeinschaftsgefühl ist dadurch gestärkt und selbst wenn man nur als Zuschauer dabei ist, fühlt man sich doch als Teil eines Ganzen. Man ist stolz auf die Universität und seine Kommilitonen und jeder hat mindestens ein University of Calgary T-Shirt. Besonders die Atmosphäre und das Gemeinschaftsgefühl der Uni haben mir unglaublich gut gefallen. Das fehlt an der Universität Stuttgart doch leider sehr.

Ein anderer Unterschied, der mir gravierend aufgefallen ist, ist das Verhältnis der Professoren zu den Studenten. Ich war doch sehr überrascht, dass man die meisten Professoren mit ihrem Vornamen ansprechen durfte und auch sie kannten die Namen

ihrer Studenten. Oft wurden Späße in den Vorlesungen gemacht und es war immer eine lockere Atmosphäre.

An dieser Stelle sei aber auch erwähnt, dass Kanadier generell die nettesten und herzlichsten Menschen sind, die ich jemals treffen durfte. Wir Deutschen wirken dagegen unfreundlich und unhöflich. Das ist mir besonders aufgefallen seit ich wieder in Deutschland bin.

In Stuttgart dagegen ist das Verhältnis doch eher distanziert. Nur wenige Professoren kennen ihre Studenten beim Namen, selbst wenn die Semester kleiner sind. Die Atmosphäre ist nicht besonders locker und Späße werden selten gemacht. Ein gutes Beispiel dafür ist die Pi-Week bzw. der Pi-Day. Die amerikanische Schreibweise des Datums ist Monat/Tag/Jahr, d.h. am 14. März war  $3/14 = 3,14 =$  die Zahl Pi. Und da die Zahl Pi im englischen genauso ausgesprochen wird wie das Wort für Kuchen = pie, wurden hier an der Universität Kuchen/Torten für 5\$ verkauft, die man an eine beliebige Person senden konnte, die dann "gepie" wurde, d.h. ihr wurde die Torte ins Gesicht gedrückt. Falls man die Torte aber nicht haben möchte, kann man sie an den Absender zurückschicken und muss dafür 10\$ bezahlen. Das kann dann so lange gehen bis einer aufgibt und die Torte ins Gesicht bekommt. Das gesammelte Geld wird dann an eine gemeinnützige Organisation gespendet. Besonders die Professoren waren sehr beliebt und haben den Spaß sogar mitgemacht.

### **Campus und Wohnheim**

Viele kennen es vielleicht aus Filmen, aber es ist auch in der Realität so, dass der Campus eine eigene kleine Stadt ist. Im Zentrum des Campus der University of Calgary liegt die MacEwan Hall, was einem Einkaufszentrum ähnelt. Dort befindet sich nicht nur der Food Court, sondern auch ein Bücherladen, ein Pub, Ärzte, eine Apotheke, ein Reisebüro, ein Frisör, Club Areas, Konzerthallen und vieles mehr. Man findet so ziemlich alles, was man zum Leben braucht, auf dem Campus. Lediglich ein richtiger Supermarkt fehlt, aber auch dieser ist mit dem Bus in 10min oder zu Fuß in 15-20min erreichbar.

Direkt neben der MacEwan Hall befindet sich das Olympic Oval, die Eissporthalle, die das schnellste Eis der Welt beherbergen soll. Dies war auch einer der Schauplätze der olympischen Winterspiele 1988. Außerdem gibt es zahlreiche Sportangebote, wie ein Fitnessstudio, eine Kletterwand, Squash-Plätze und eine Schwimmhalle. Das tolle ist, dass all diese Angebote für Studenten kostenlos sind, so wurden diese von mir immer wieder gerne genutzt. Besonders von der Eissporthalle war ich begeistert, da ich schon als Kind Eiskunstlauf betrieben habe und auch heute noch sehr gerne Eislaufen gehe. Außerdem habe ich in Calgary das erste Mal Squash ausprobiert, was mir auf Anhieb gefiel.



*Olympic Oval*



*MacEwan Hall*

Da die Wohnheime auf dem Campus sehr beliebt sind, haben wir uns frühzeitig dafür angemeldet. Die Anmeldung war eines der kompliziertesten Verfahren für das Austauschprogramm, da man sich erst einmal online einen Account erstellen und sich um ein Zimmer bewerben musste, dann einen Timeslot zugewiesen bekam und genau zu diesem Zeitpunkt online kommen musste um sich ein noch freies Zimmer auszusuchen. Während des Anmeldeverfahrens mussten auch im Voraus immer wieder verschiedene Anzahlungen geleistet werden. Es hat aber doch alles funktioniert und so bekam ich ein Zimmer mit 3 Mitbewohnerinnen im Wohnheim Cascade Hall. Die Wohnungen waren mit einer Küche/Wohnzimmer und 2 Badezimmern ausgestattet, allerdings sehr teuer im Vergleich zu deutschen Wohnheimen.

## **Sport**

In Kanada dreht sich alles um Eishockey, vergleichbar wie Fußball in Deutschland. Selbst auf dem 5 Dollar Schein sind Eishockey spielende Kinder abgebildet. So sind wir auch oft zu Spielen unserer Uni-Mannschaft, den Dinos, gegangen. Da es uns aber so gut gefiel, sind wir auch zu einem Spiel der Calgary Hitmen im Scotiabank Saddledome gegangen, die in der Central Division der Western Hockey League spielen, einer der drei höchsten kanadischen Juniorenligen. Mein persönliches Eishockey Highlight war dann aber, bei einem Spiel der National Hockey League mit den Calgary Flames dabei sein zu können.

Football ist auch ein beliebter Sport in Kanada. Gleich in der ersten Woche war das große Kickoff der Football-Uni-Mannschaft im Stadion der Universität. Es war eine große Feier mit kostenlosen Getränken und Essen. Außerdem waren vor dem Stadion viele Spiele und sogar eine Hüpfburg aufgebaut.

Ein weiterer Nationalsport Kanadas (neben Eishockey) ist Lacrosse. Er gilt als schnellster Mannschaftsballsport auf zwei Beinen und ist

deshalb besonders interessant, weil einfach immer etwas passiert. Wir waren bei einem Spiel der National Lacrosse League mit den Calgary Roughnecks im Scotiabank Saddledome. Ich hatte davor weder ein Spiel gesehen, noch selbst gespielt und war deshalb besonders überrascht, dass es mir so gut gefiel.



*Kickoff der Football-Uni-Mannschaft*

Anstatt beim Sport nur zuzuschauen, haben wir uns natürlich auch selbst betätigt. Abgesehen vom Sportangebot auf dem Campus, haben wir uns auch an einer anderen typisch kanadischen Sportart versucht, dem Curling. Es ist eine auf dem Eis gespielte Wintersportart, die dem Boule-Spiel und dem Boccia ähnelt. Zuerst wurden uns die Regeln erklärt und gezeigt, wie man sich auf dem Eis bewegt, danach durften wir es selbstversuchen. Es ist viel schwieriger als es aussieht, wenn man die Technik aber ein bisschen verstanden hat, hat es viel Spaß gemacht.



*Curling*

Da Calgary das Tor zu den Rocky Mountains ist und der Trans Canada Highway einen direkt in die Berge führt, war es natürlich die perfekte Gelegenheit Ski fahren oder snowboarden zu gehen. So beschloss ich snowboarden zu lernen. Der Canada Olympic Park am Stadtrand von Calgary war auch einer der Schauplätze der olympischen Spiele 1988 und beinhaltet somit eine Bobbahn, Skisprungschanzen und einfache Abfahrten. Dort habe ich für eine Stunde Snowboard-Unterricht genommen, um ein Gefühl dafür zu bekommen, bevor ich mich auf in die Rockies machte.

### **Rocky Mountains**

Das erste Mal war ich in den Rockies gleich im September als es noch warm war und die Sonne schien. Unser erstes Ziel war Banff und der Sulphur Mountain. CISSA (Centre for International Students and Study Abroad) organisiert viele Ausflüge und Unternehmungen, wie z.B. Fahrten nach Edmonton, in die Rocky Mountains, Eislaufen im Olympic Oval oder gemeinsam Essen gehen. So ging der erste Ausflug zum Sulphur Mountain, bei dem man mit einer Gondel bis zur Spitze des Berges fahren konnte. Von dort aus hatte man einen gigantischen Ausblick auf die umliegenden Berge. Danach sind wir noch in die Stadt Banff gefahren, die etwa 140km westlich von Calgary befindet. Sie hat eine Bevölkerung von 7853 Einwohnern und liegt in einer Höhe von 1399m. Mir hat es dort sofort unglaublich gut gefallen, da sie einen gemütlichen Kleinstadt Flair ausstrahlt und mitten in den Bergen liegt.



*Sulphur Mountain*

Ein weiterer Ausflug von CISSA organisiert ging nach Drumheller, einer Kleinstadt 110 km östlich von Calgary. Bekannt ist sie durch die Funde von Dinosaurierfossilien im umgebenden Red Deer River Valley.

Bevor wir in die Stadt fahren, ging es zuerst zum Horseshoe Canyon (= Hufeisen Canyon), der seinen Namen seiner hufeisenförmigen Struktur verdankt. Von dort aus fahren wir zu den Hoodoos (Gesteinssäulen aus Sandstein) und zur Star Mine Suspension Bridge, einer Hängebrücke, die zur Sicherheit nur maximal 20 Personen tragen kann. Zum Mittagessen waren wir in der Stadt Drumheller, die uns aber alle etwas enttäuschte. Die Stadt sah sehr heruntergekommen aus und leider wenig wie eine Touristenstadt. Lediglich die vielen ausgestellten Dinosaurier, wie auch der größte Dinosaurier der Welt mit 25m Höhe, locken Besucher an. Das Royal Tyrrell Museum of Palaeontology ist ein weltweit bekanntes paläontologisches Museum. Es stellt unter anderem 40 vollständige Dinosaurierskelette aus und ist somit die weltweit größte Sammlung dieser Art. Außerdem beherbergt es eine große Anzahl von Fossilien aus den kanadischen Rocky Mountains, sowie einen botanischen Garten mit 600 Pflanzen aus der Kreidezeit.

Weitere selbst organisierte Ausflüge gingen zum Lake Louise, Lake Minnewanka und Johnson Lake, die sich alle im Banff Nationalpark befinden. Es hat sich eigentlich immer eine Gruppe internationaler Studenten finden lassen, die auch die Rockies erkunden wollten. Da es im Oktober bereits angefangen hatte zu schneien, die Seen aber noch nicht zugefroren waren, war es eine traumhafte Kulisse. Besonders die türkisblaue Farbe des Lake Louise ist wunderschön



Lake Louise

und stammt von Steinmehl, das von Gletscherschmelzwasser in den See gespült wird. Die Bilder zeigen nur annähernd wie schön es dort wirklich ist.

Im Dezember waren wir erneut im Banff Nationalpark zum einen um den FIS alpine Skiweltcup der Frauen in Lake Louise zu besuchen, zum anderen um in der Stadt Banff die Santa Claus Parade of Lights mit anzuschauen. Da ich sowieso ein großer Weihnachtsfan bin, konnte ich mir eine Weihnachtsparade inmitten der Rockies natürlich nicht entgehen lassen.

Nachdem ich bereits an einem Snowboardkurs im Canada Olympic Park in Calgary teilgenommen hatte, wollte ich mein Talent an einem richtigen Berg unter Beweis stellen. Mit dem Ski Club der University of Calgary ging es im Januar für ein Wochenende zum Kicking Horse Ski Resort. Der Berg war doch sehr anspruchsvoll und da ich erst das zweite Mal auf einem Snowboard stand, hat es mich doch einiges an Überwindung gekostet, aber ich habe es ohne große Verletzungen nach unten geschafft. Inmitten des Ski Resorts befindet sich auch eine Grizzlybär Zone. Da die Bären aber Winterruhe halten, haben wir leider keinen gesehen. Obwohl ich doch sehr gehofft hatte, einen Bären in der Natur zu entdecken, habe ich in diesen 8 Monaten leider nur Bären im Zoo gesehen.

Unter anderem waren wir auch am Mount Norquay snowboarden, denn dort gibt es einmal im Monat den „Toonie Thursday“ (Toonie = 2 kanadische Dollar), d.h. das Liftticket hat nur 2\$ gekostet anstatt Regulär über 60\$. Da ich mich auf dem Snowboard immer sicherer fühlte, hat es auch noch mehr Spaß gemacht. Auch hier in Deutschland werde ich noch sicher oft snowboarden gehen.



*Kicking Horse Ski Resort*

Abgesehen vom Snowboarden kann man natürlich noch viele andere Dinge in den verschneiten Rocky Mountains unternehmen. Am Mount Norquay gibt es einen Tubing-Park. Tubing ist eine Art Rodeln in einem großen aufblasbaren Reifen. Es geht also nicht nur geradeaus den Berg hinunter, sondern man dreht sich auch dabei. Es macht unglaublich viel Spaß und deshalb haben wir den ganzen Tag dort verbracht.

Auch ich als Eislauf-Fan bin in den Rockies auf meine Kosten gekommen. Da es in den Bergen im Winter konstant Minusgrade hat, sind alle Seen teilweise meterdick zugefroren. So hatten wir die Möglichkeit auf dem Lake Louise inmitten der Berge mit einer Traumkulisse eislaufen zu gehen. Am selben Wochenende war dort auch das Ice Magic Festival, bei dem viele Eisskulpturen sowohl neben als auch auf dem See ausgestellt wurden.

Zum Abschluss sind wir noch mit Hundeschlitten gefahren. Da ich meinen Hund in dieser Zeit sehr vermisst habe, hatte ich dort einen kleinen Ersatz. Zuerst wurde einem erklärt, wie man einen Hundeschlitten führt und welche Kommandos es gibt. Allerdings kann man den Schlitten nicht wirklich lenken, sondern die Hunde entweder antreiben oder dazu bringen anzuhalten. Zuerst durfte ich mich hineinsetzen, nach der Hälfte aber auch mal selbst den Schlitten führen. Die Kulisse war wieder traumhaft, es ging durch die Berge und über einen zugefrorenen See. Diese Tour war zwar nicht billig, aber für mich jeden Cent wert.



*Tubing am Mount Norquay*



*Eisskulptur am Lake Louise*



*Hundeschlitten*

## **Reisen**

Natürlich habe ich auch größere Reisen unternommen anstatt nur in die Rocky Mountains zu fahren. Die erste Reise ging mit einer Gruppe anderer Austauschstudenten an die Westküste nach Vancouver und Victoria. Anfang November hatten wir Reading Days, d.h. zwei Tage frei um sich auf die Zwischenprüfungen vorzubereiten. Allerdings hatte ich alle meine Prüfungen schon vor diesen freien Tagen und somit haben wir die Zeit genutzt um etwas mehr von Kanada zu sehen. Da wir Geld sparen wollten, sind wir mit dem Greyhound Bus die 1000 km Strecke über die Rockies gefahren. Die Fahrt hat 15 Stunden gedauert und dank eines Problems mit dem Bus mussten wir um 3 Uhr morgens auch noch den Bus wechseln. Wir sind aber dennoch heil in Vancouver angekommen. Obwohl wir von vielen vorgewarnt wurden, dass Vancouver das London von Kanada sei, waren wir doch überrascht, dass es täglich regnete. Wir waren von Calgary zu sehr verwöhnt, da es die sonnenreichste Großstadt in Kanada ist und es in den 8 Monaten nur dreimal geregnet hat. In den drei Tagen, in denen wir dort waren, hat es wirklich leider nur geregnet. Wir haben das Beste daraus gemacht und trotzdem die Stadt erkundet. Wir haben unter anderem Granville Island und den Public Market besucht, sind auf den Vancouver Tower hoch gegangen, sind den Strand entlang gelaufen, wobei es mich doch sehr überrascht hat, dass es Palmen in Kanada gibt. Besonders gut hat mir der Capilano Suspension Bridge Park gefallen. Der Park ist etwas außerhalb von Vancouver und bietet einen Treetop Walk, Cliffwalk, eine 70 m hohe Seilbrücke und vieles mehr. Vancouver würde mir vielleicht fast besser gefallen als Calgary, wenn es nicht ständig regnen würde.

Von Vancouver nach Victoria ist es eine 3,5 stündige Fahrt mit Bus und Fähre. Victoria liegt auf Vancouver Island und ist die Hauptstadt der Provinz British Columbia. Dort haben wir einen weiteren Tag verbracht, an dem es ausnahmsweise nicht geregnet hatte. Es ist eine sehr schöne Hafenstadt, in der auch der Startpunkt des Trans-Canada Highway liegt. Dieser Highway ist mit über 7000 km Länge sowohl die einzige durchgehende transkontinentale Straßenverbindung Kanadas als auch die drittlängste Straßenverbindung der Welt.

Die einzigen Ferien, die ich in diesen acht Monaten hatte, waren knapp drei Wochen über Weihnachten und Silvester. Diese Zeit wollten wir natürlich so gut wie möglich nutzen. So entschlossen Freunde und ich Weihnachten in New York und Silvester an den Niagara Fällen zu verbringen.

Es war eine unglaubliche Reise, die ich sicher nie vergessen werde. Da wir uns den New York Pass kauften, mit dem man über 70 Attraktionen besuchen kann, haben wir sehr viel gesehen, wie z.B. das Empire State Building, das 9/11 Memorial, Little Italy, die Brooklyn Bridge, das Rockefeller Center, das Intrepid Sea-Air-Space Museum, die Freiheitsstatue, Central Park, das Yankee Stadium und vieles mehr. Da Weihnachten vor der Tür stand, war die ganze Stadt geschmückt und es gab viele Weihnachtsmärkte. Ein besonderes Highlight war der große Weihnachtsbaum am Rockefeller Center, den man aus Filmen, wie z.B. Kevin allein in New York, kennt.



*Weihnachtsbaum am Rockefeller Center*



*Central Park*

Mit unserem New York Pass hatten wir außerdem die Möglichkeit kostenlos mit dem Bus nach Atlantic City zu fahren. Die Stadt liegt direkt am atlantischen Ozean ca. 200km südlich von New York und wird auch „kleines Las Vegas“ genannt, da es auch hier viele Casinos gibt.

Über Silvester sind wir dann zu den Niagara Fällen geflogen. Dort fand mit über 60.000 Besuchern die größte Silvesterparty Kanadas statt, die sogar im Fernsehen übertragen wurde. Es war zwar sehr kalt, aber ein tolles Erlebnis.



*Niagara Fälle*

Im zweiten Semester hatten wir im Februar erneut eine Reading Week, die ich dazu nutzte nach Las Vegas zu fliegen. Es war sehr beeindruckend die vielen Casinos und Luxushotels zu sehen, von denen jedes nach einer Stadt oder einem Thema gebaut und eingerichtet ist, wie z.B. Caesars Palace, New York New York, Paris, Monte Carlo, Venetian. Aber wir sind nicht nur in der Stadt geblieben, sondern sind auch ins Valley of Fire, nach Arizona zum Grand Canyon und nach Kalifornien ins Death Valley gefahren.

Jeder dieser Orte war unglaublich beeindruckend. Der Grand Canyon war so groß, dass man ihn mit einem Blick gar nicht erfassen konnte. Death Valley ist ein Ort der Superlative. Er ist offiziell der heißeste Ort auf der Erde mit einem Rekord von 57°C. Er ist der trockenste Ort in den USA. Außerdem ist Badwater Basin (inmitten des Death Valleys) der niedrigste Ort in Nordamerika; er liegt 85,5 m unter dem Meeresspiegel.



*Las Vegas*



*Death Valley*

### **Fazit**

Abschließend möchte ich sagen, dass diese acht Monate eine der besten meines Lebens waren. Ich habe so viele großartige Momente erlebt und viele internationale Freunde gewonnen. Ich bin unglaublich dankbar diese Chance bekommen zu haben. Deshalb möchte ich mich bei allen bedanken, die dieses Austauschprogramm ermöglichen und unterstützen. Ein besonderer Dank geht an den Verein Freunde des Studienganges Geodäsie und Geoinformatik an der Universität Stuttgart e.V. (F2geoS) für die finanzielle Unterstützung, ohne diese vieles nicht möglich gewesen wäre.

# **Kurzbericht über die im Jahr 2012 mit dem Preis des Vereins F2GeoS ausgezeichnete Diplomarbeit von Thomas Friederichs**

**Titel: Entwicklung eines Algorithmus zur Bestimmung der Objektlage und der Position im dreidimensionalen Raum**

Diese Diplomarbeit wurde bei der Bosch Engineering GmbH in der Abteilung Sensor Systems in Abstatt angefertigt. Zudem wurde die Arbeit seitens der Universität vom Institut für Navigation betreut. Die Abschlussarbeit ist in den Themenbereichen Inertialnavigation bzw. Sensordatenfusion anzusiedeln.

## **Einleitung, Motivation und Ziel:**

Die Bosch Engineering GmbH bietet ein breites Tätigkeitsfeld und ein Leistungsspektrum, welches unter anderem Anwendung in Sensorsystemlösungen für Nutzfahrzeuge, Bau- und Landmaschinen, Schienenfahrzeuge, Freizeitfahrzeuge, maritime Anwendungen, industrielle Anwendungen bis hin zum Motorsport und mehr bietet.

Unter anderem spielen in diesen Bereichen Sensoren eine sehr große Rolle.

Besonders sollen hier die Inertialsensoren Erwähnung finden; also Sensoren die der Messung translatorischer und rotatorischer Beschleunigungen dienen.

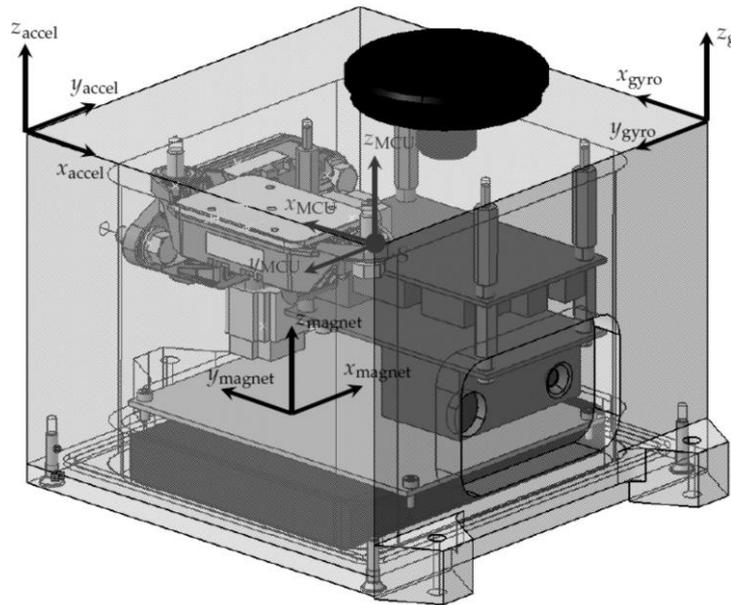
Sie spielen im Fahrzeugbereich egal ob zu Land, zu Wasser oder zu Luft eine wichtige Rolle.

Im Automobilbereich seien als Beispiel hierfür Fahrerassistenzsysteme angeführt. Mittlerweile sind Inertialsensoren auch aus der Unterhaltungselektronik oder aus Sicherheitssystemen fast nicht mehr wegzudenken.

Dieser verstärkte Einsatz von Inertialsensoren basiert zum einen auf der Fähigkeit immer kleinere, miniaturisierte Sensoren entwickeln zu können. Zum anderen gründet er auch auf der Möglichkeit diese durch Großserienfertigung immer kostengünstiger erwerben zu können. Durch diese beiden Eigenschaften wird ein vielseitiger Einsatz ermöglicht.

Da Sensoren in der Regel nur eine Messgröße registrieren können, werden oftmals mehrere, verschiedene Sensoren miteinander gekoppelt. Ein somit entstehendes Sensorsystem kann in häufigen Fällen einem Einzelsensor überlegen sein. Denn im übertragenen Sinne werden Sensoren im Verbund mächtiger, sie können voneinander profitieren und können mehr Auskunft geben, als wenn man nur jeden Sensor für sich alleine verwendet.

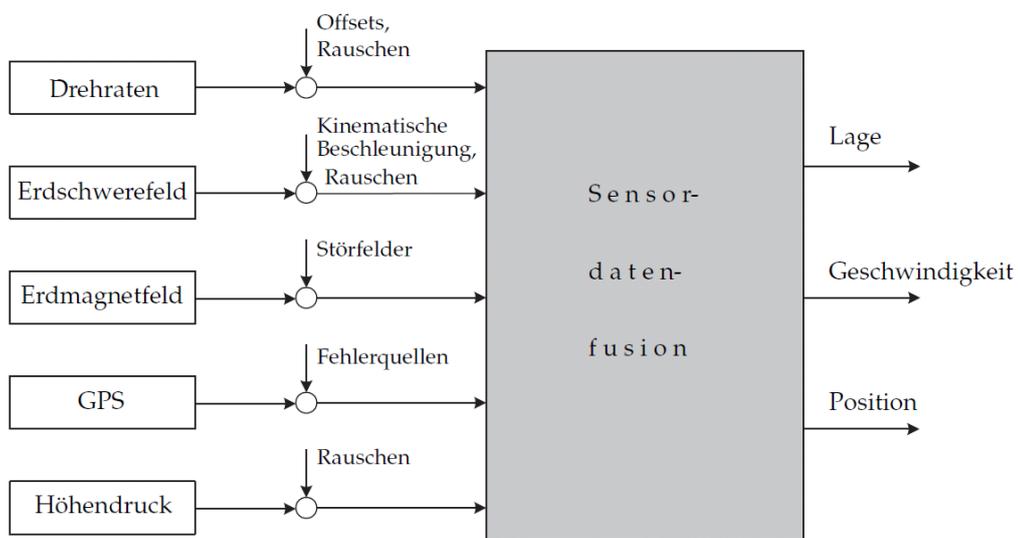
Ein solcher Verbund von kostengünstigen Sensoren ist auch das Sensorsystem bei der Bosch Engineering GmbH namens Motion Control Unit (abgekürzt MCU), das für die Abschlussarbeit die zentrale Rolle einnimmt.



Grafik 1: Modell der MCU

Grafik 1 zeigt ein Modell der MCU, die bestückt ist mit zwei Bosch-Sensoren, sodass in drei Dimensionen die Drehraten und die Beschleunigungen bekannt sind. (Ein Bosch-Sensor misst die Beschleunigung dreidimensional, die Winkelgeschwindigkeit jedoch nur in zwei Dimensionen. Durch das um 90° versetzte Anbringen zweier Bosch-Sensoren an den Innenwänden des MCU-Gehäuses wird gewährleistet, dass in allen drei Dimensionen Beschleunigungs- und Winkelgeschwindigkeitsmessungen vorliegen.) Zusätzlich zu den genannten zwei Bosch-Sensoren sind ein dreiachsiger Magnetfeldsensor und ein GPS-Empfänger integriert. Hinzukommen soll noch ein Drucksensor. Die MCU ist als Strapdown System konzipiert, so dass man es also später fest an einem Objekt anbringen kann.

Das Ziel der Abschlussarbeit besteht darin, die Sensordaten so zu fusionieren, dass am Ende möglichst genau die Lage, Geschwindigkeit und Position zu jedem Zeitpunkt bestimmt werden. Grafik 2 zeigt schematisch dieses Zielvorhaben.



Grafik 2: Schematische Darstellung des Diplomarbeitsthemas

Der Kern der Abschlussarbeit liegt in der Entwicklung eines Algorithmus zur Sensordatenfusion und Zustandsbestimmung.

Die Informationen über Lage, Geschwindigkeit und Position sind deshalb von Interesse, da sie vielseitig nutzbar und hilfreich sein können. Zum einen können unterschiedlichste Fahrzeuge mit einer MCU ausgerüstet und deren Position und Bewegungsverhalten erfasst und ausgewertet werden. Ein Sensorsystem wie die MCU kann beim Aufbau von Offshore-Windkraftanlagen hilfreich sein: Der Bau von Windkraftanlagen auf See ist oft schwierig. Das Abladen von Bauteilen auf künstliche Plattformen wird mit Kränen durchgeführt. Kraneigenbewegung, und Wellengang erschweren dabei die Bedienung des Lastenkrans. Eine MCU kann zur Stabilisierung des Lastenkrans der Plattform eingesetzt werden und Hilfestellung zum präzisen Führen des Krans leisten.

Denkbar ist auch eine Anwendung bei stabilisierten Hubschrauberlandeplätzen auf Schiffen. Relativ zur Schiffsbewegung werden diese Landeplattformen geregelt, um die Landung eines Hubschraubers zu ermöglichen.



*Grafik 3: Anwendungsmöglichkeiten für eine MCU (Links: Erfassung des Bewegungsverhaltens von Fahrzeugen, Mitte: Stabilisierung von Lastkränen beim Aufbau von Offshore-Windkraftanlagen, Rechts: Stabilisierung von Hubschrauberlandeplätzen)*

Ein Messsystem wie die MCU könnte also für Zeitersparnis und damit Kostenersparnis sorgen. Letzteres auch deshalb, weil Großseriensensoren eingesetzt werden sollen.

Der Vorteil von geringen Investitionen in die Hardware bedingt aber auf der anderen Seite, ein möglichst gutes Zusammenspiel der Sensoren dafür zu finden. Dies ist die Aufgabe der Sensordatenfusion – und deren Herz ist wiederum ein funktionierender Algorithmus.

### **Vorgehensweise:**

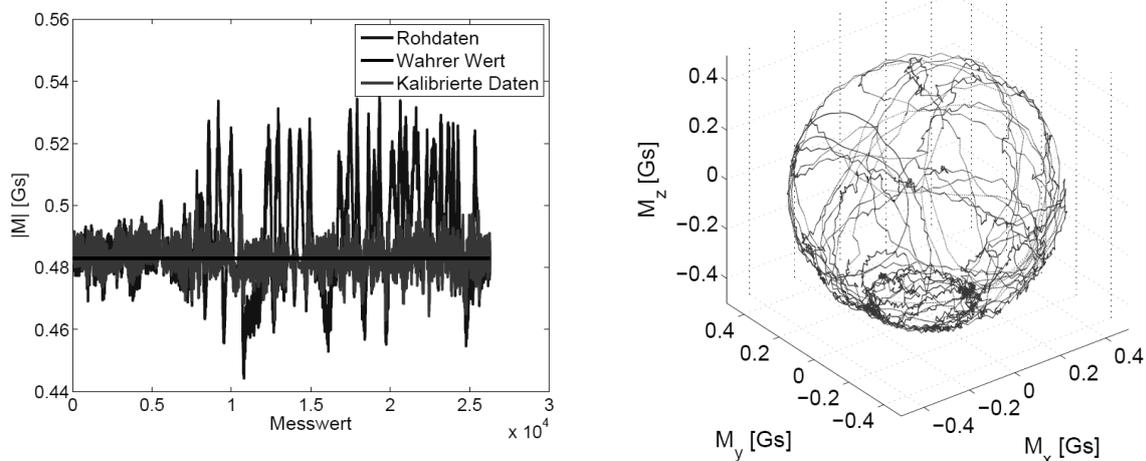
Betrachtung der Signale der MCU-Sensoren

Sind die Sensoren der inertialen Messeinheit durch Nullpunktfehler beeinträchtigt, so hat dies Auswirkungen auf die spätere Bestimmung der Lage, Geschwindigkeit und der Position, da der Fehler ebenfalls integriert wird. Beispielsweise wirkt sich ein Offset der Beschleunigungssensoren nach Integration linear auf die berechnete Geschwindigkeit und bereits quadratisch auf die Position aus. Ein Offset der Drehratensensoren wirkt sich hingegen linear auf die Lagewinkel aus und führt bei Geschwindigkeiten zu einem quadratischen, bei Positionen bereits zu einem kubischen Fehler. Die Drehraten und Beschleunigungen werden durch einen Bosch-Sensor ermittelt. Eine Analyse der Signale ergab, dass zwar Messrauschen, aber keine systematischen Fehler in Form von Modellen Berücksichtigung finden müssen, da ausreichende Kalibrierungen - beispielsweise am Drehtisch - bereits bei der Entwicklung des Bosch-Sensors durchgeführt wurden.

Vonnöten ist allerdings eine Kalibrierung des dreiachsigen Magnetfeldsensors. Dieser liefert Messungen des Erdmagnetfeldvektors in einem körperfesten System. Alle drei Komponenten des Magnetometers liefern in der Gesamtheit den Betrag des lokalen Magnetfeldvektors. Dreht man den Magnetfeldsensor beliebig im Raum, so sollte der Betrag am selben Ort im Idealfall stets konstant bleiben. Denn die langzeitliche Änderung des Erdmagnetfelds spielt hier keine Rolle. Auf diese Eigenschaft hin wird der eingesetzte Magnetfeldsensor geprüft. Daraus resultiert, dass der Betrag des Magnetfeldvektors während ausgeführter Drehungen nicht konstant bleibt. Mögliche Ursachen sind metallische Gegenstände innerhalb des Aluminiumgehäuses der MCU wie zum Beispiel zur Sensormontage verwendete Schrauben. Zudem ist der Magnetfeldsensor natürlich stark anfällig gegenüber magnetischen Störfeldern, die in naher Arbeitsumgebung beispielsweise innerhalb von Büroräumen durch nahestehende Spannungsversorgungsgeräte oder im Freien in der Nähe von Transformatoren, Hochspannungsleitungen, elektrifizierten Eisenbahnstrecken oder Industrieanlagen hervorgerufen werden. Ein weiterer wichtiger Grund liegt in der Imperfektion des Sensors. Damit sind eine mögliche Nicht-Orthogonalität der drei Sensorachsen, Skalierungsfehler und Nullpunktfehler gemeint. Dadurch wird das Ergebnis des Magnetometers noch zusätzlich verfälscht. Aus diesen Gründen sollten zum einen ungewollt künstlich erzeugte, magnetische Störfelder vermieden werden, zum zweiten verlangten diese Tatsachen eine Sensorkalibrierung.

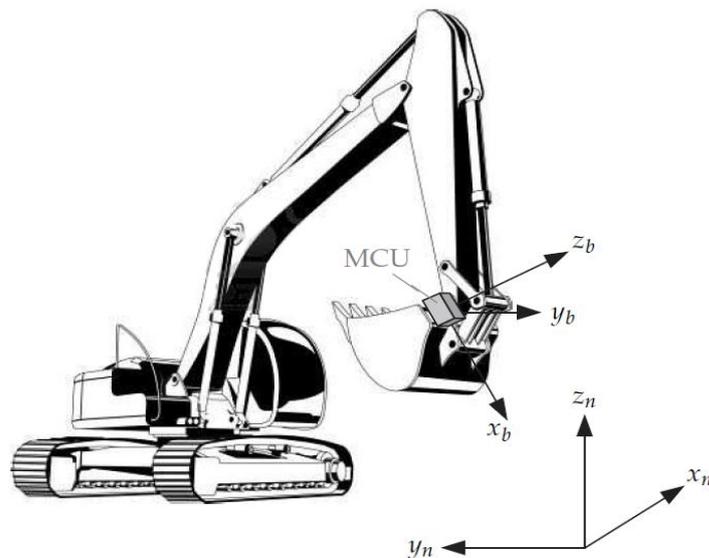
Für die Sensorkalibrierung wurden die Parameter Nullpunktfehler, Skalierungsfaktor und Nicht-Orthogonalitäten (gegenseitige Schiefstellungen) der Achsen in allen drei Dimensionen angesetzt und mittels der Methode der kleinsten Fehlerquadrate bestimmt.

Da der Magnetfeldsensor bereits in der MCU verbaut war, wurden Messdaten aufgenommen, indem die MCU um sämtliche Achsen gedreht wird. Das Ziel lag darin, dass möglichst viele vollumfängliche Drehungen ausgeführt werden, um den ganzen dreidimensionalen Raum zu erfassen. Im Idealfall sollte daraufhin die Darstellung der aufgezeichneten dreidimensionalen Messdaten einer Kugel gleichen. Die tatsächlich ermittelten Daten glichen jedoch bestenfalls einem entarteten Ellipsoid. Dass durch die Kalibrierung eine wesentliche Verbesserung erzielt werden konnte, kann den beiden folgenden Schaubildern (Grafik 4) entnommen werden.



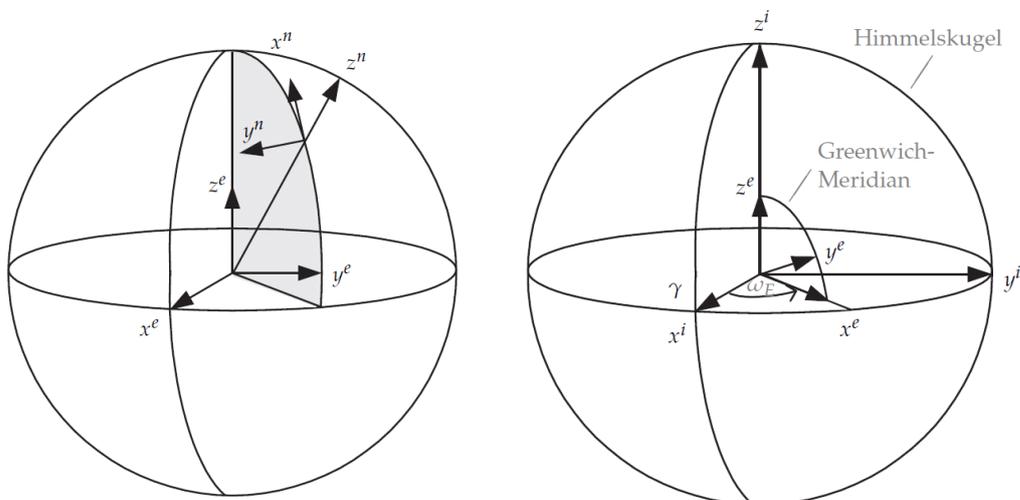
*Grafik 4: Links: Beträge der gemessenen magnetischen Flussdichten vor und nach der Kalibrierung, Rechts: Dreidimensionale Darstellung der kalibrierten Magnetometerdaten (Die schwarze Linie kennzeichnet den bekannten wahren Betrag des Erdmagnetfelds in Abstatt und entspricht dem Sollwert.)*

Ein weiterer für die Sensordatenfusion wichtiger Entwicklungsschritt liegt in der Definition von Koordinatensystemen. Wie in Grafik 1 bereits dargestellt ist, liefert zunächst jeder Sensor die Daten bezogen auf sein eigenes Koordinatensystem. Diese müssen auf ein gemeinsames MCU-Koordinatensystem mit einem gemeinsamen Bezugspunkt gebracht werden. Da die MCU als Strapdown System konzipiert ist und später beispielsweise an einem Nutzfahrzeug wie einem Bagger fest montiert werden kann ist durch das Fahrzeug (im Schaubild durch die Baggerschaufel) ein körperfestes Koordinatensystem festgelegt (siehe Index b). Mit Index n ist das Horizontsystem gekennzeichnet, das tangential an einem Punkt der Erdoberfläche anliegt.



Grafik 5: Körperfestes System  $b$  mit Horizontsystem  $n$

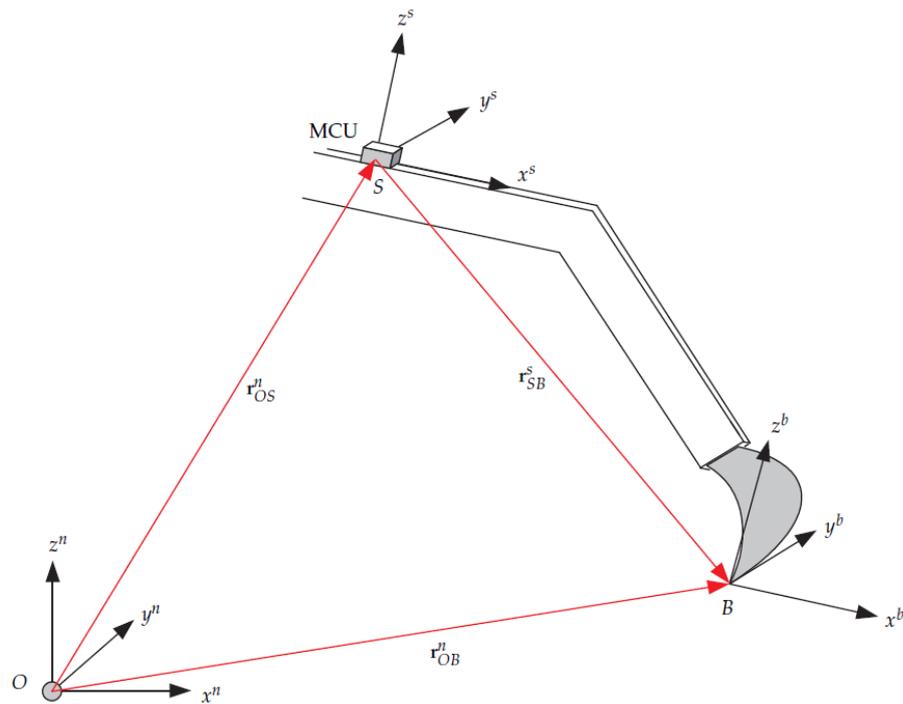
Zusätzlich sind noch zwei weiter übergeordnete Koordinatensysteme zu verwenden. Zum einen das erdfeste System, das sich mit der Erde mitbewegt und das Inertialsystem, das in Ruhe bleibt und in dem sich die Erde dreht. Denn auf das letztere System beziehen sich die Messungen der Inertialsensoren. In Grafik 6 sind die Beziehungen dieser Systeme zueinander skizziert.



Grafik 6: Links: Horizontsystem  $n$  mit Erdfestem System  $e$ /Rechts: Erdfestes System  $e$  mit Inertialsystem  $i$

Für die Beschreibung und Bestimmung der Orientierung (Winkellage) wurden Quaternionen anstelle der Eulerwinkel. Die wesentlichen Gründe hierfür sind in der schnelleren Berechnungsgeschwindigkeit und dem Umgehen von Singularitäten bei bestimmten Rotationsabfolgen zu finden. Veränderungen in der Winkellage, die durch eine Drehbewegung der MCU hervorgerufen werden, wurden mit einer Lagedifferentialgleichung beschrieben.

Ebenso bedarf es einem kinematischen Modell, das alle möglichen Bewegungsabläufe abdeckt und beschreibt. Zur Herleitung des kinematischen Modells wurde folgender schematischer Aufbau betrachtet (Grafik 7):



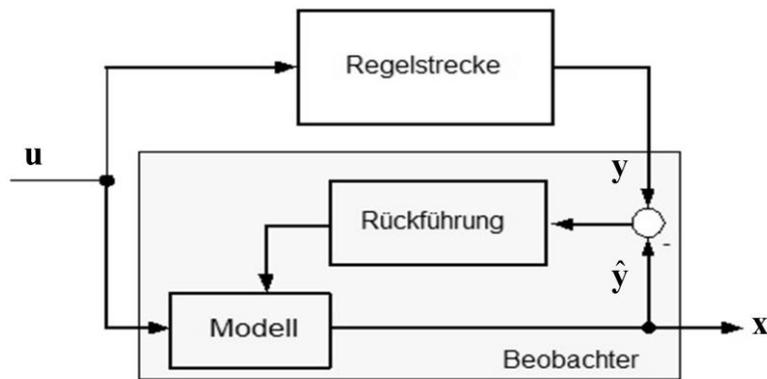
Grafik 7: Schematischer Aufbau zur Herleitung des kinematischen Modells

Dabei steht O für den Ursprung des Horizontsystems n, S für die Position der Sensorbox MCU und B für den Arbeitspunkt, für den Geschwindigkeit und Position berechnet werden soll. Letztlich entspringt daraus folgender Zusammenhang für die Beschleunigung im körperfesten System b:

$$\mathbf{a}^b = \underbrace{\mathbf{a}_{OS}^b}_{\text{Spezifische Beschleunigung}} + \underbrace{\dot{\boldsymbol{\omega}}_{nb}^b \times \mathbf{r}_{SB}^b}_{\text{Eulerbeschleunigung}} + \underbrace{\boldsymbol{\omega}_{nb}^b \times (\boldsymbol{\omega}_{nb}^b \times \mathbf{r}_{SB}^b)}_{\text{Zentrifugalbeschleunigung}}$$

Unter anderem wird mithilfe dieser Gleichung das kinematische Modell erstellt, welches sowohl aus einer Differentialgleichung für die Geschwindigkeit als auch aus einer weiteren für die Position besteht.

Es wurde somit jeweils eine Differentialgleichung für die Lage, die Geschwindigkeit und die Position ermittelt. Diese drei genannten Zielgrößen sind Zustände, die zu jeder Zeit fortlaufend bestimmt werden und somit bekannt sein sollen. Für die Sensordatenfusion wurde daher ein Zustandsbeobachter angewendet, der in Grafik 8 vereinfacht dargestellt ist.



Grafik 8: Vereinfachte Darstellung eines Zustandsbeobachters

In den Zustandsbeobachter fließen als Eingangsgrößen  $u$  Sensordaten ein. Diese Daten durchlaufen eine Regelstrecke, sprich ein reales System, und man erhält als Ausgangsgrößen die Messgrößen. Gleichzeitig wird das reale System auch modelliert und man erhält eine rekonstruierte, geschätzte Messgröße. Leicht zu erkennen ist hier die Parallelschaltung des Beobachters zum Regelstreckenmodell.

Dabei wird die Differenz zwischen dem Messwert der Regelstrecke und dem "Messwert" des Beobachters (im Schaubild die Differenz aus  $y$  und  $\hat{y}$ ) auf das Modell zurückgeführt. Damit kann der Beobachter auf Störungen beziehungsweise Ungenauigkeiten reagieren.

Für derartige Beobachter gibt es unterschiedliche Methoden. Für die weitere Entwicklung fiel aus mehreren Gründen die Entscheidung auf ein Kalman-Filter. Vorteilhaft schien die iterative Struktur eines Kalman-Filters, welche sich gut für Echtzeitanwendungen eignet. Darüber hinaus ermöglicht es, die von Messgeräten verursachten Störungen zu entfernen. Schließlich ist es auch ein optimales Filter, weil der mittlere quadratische Fehler minimiert wird.

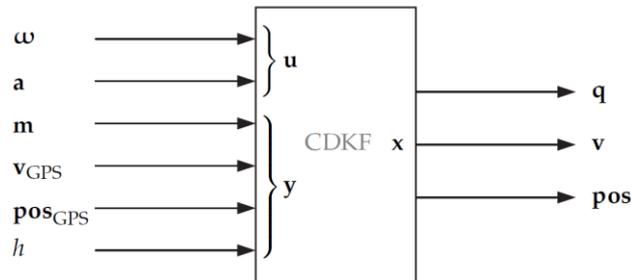
Im Rahmen der Entwicklungsarbeit nahm die Auswahl und die Anwendung eines geeigneten Kalman-Filters eine große Rolle ein. Kurz zusammengefasst lassen sich unterschiedliche Kalman-Filter in Typklassen gliedern. So ist ein gewöhnliches Standard-Kalman-Filter ausschließlich für lineare Systeme anzuwenden. Für schwach nicht-lineare Systeme eignet sich ein linearisiertes Kalman-Filter, bei dem nicht der Systemzustand direkt geschätzt wird, sondern der Fehler. Eine weitere Typklasse stellt ein Erweitertes Kalman-Filter dar, das sich ebenso für schwach nicht-lineare Systeme eignet, jedoch den Systemzustand direkt schätzt. Aber dadurch, dass die möglichen Bewegungsabläufe für die Anwendungen einer MCU durch Differentialgleichungen beschrieben sind, die ein stark nicht-lineares System repräsentieren, konnten die oben genannten Kalman-Filter keine Anwendung finden. Aus diesem Grund kam ein sogenanntes Sigma-Punkt-Kalman-Filter in Betracht und wurde umgesetzt.

Die Grundidee eines Sigma-Punkt-Kalman-Filter besteht darin, Mittelwert und Kovarianz eines normalverteilten Zustandsvektors durch eine Menge deterministisch gewählter Sigma-Punkte darzustellen, wobei jeder Sigma-Punkt als ein Zustandsvektor verstanden werden kann. Die Propagation des Zufallsvektors durch eine nichtlineare Funktion wird dadurch realisiert, dass die einzelnen Sigma-Punkte durch diese nichtlineare Funktion propagiert werden und anschließend Mittelwert und Varianz dieser transformierten Sigma-Punkte berechnet wird. Dadurch ist eine Linearisierung überhaupt nicht nötig, nichtlineare Prozess- und Messmodelle können direkt im Filter formuliert werden.

Bei nichtlinearen dynamischen Systemen wie den Anwendungsfällen einer MCU bietet ein Sigma-Punkt-Kalman-Filter daher bessere Schätzungen als ein Erweitertes Kalman-Filter oder ein Linearisiertes Kalman-Filter, da hier Mittelwert und Kovarianz genauer ermittelt werden.

Für den Algorithmus wurden verschiedene Architekturen ausgedacht.

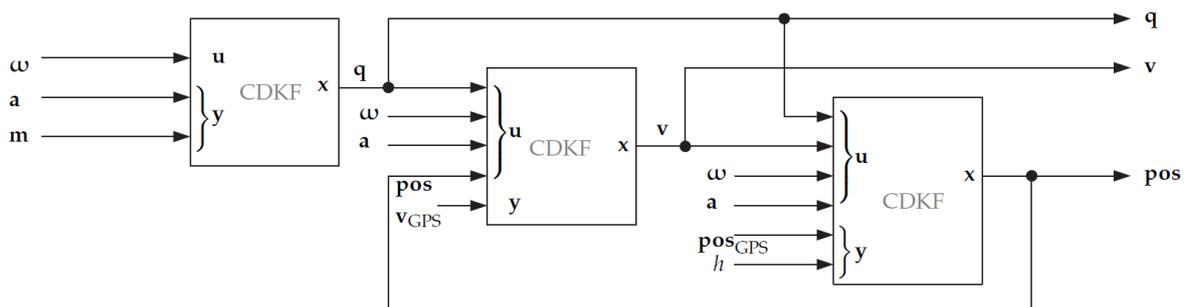
Die erste Version besteht aus einem gesamten Beobachter, in den alle Daten einfließen und alle Zustände (3 Lagewinkel, 3 Geschwindigkeiten, 3 für die Position) geschätzt werden.



Grafik 9: Ein gemeinsamer Beobachter für alle Zustände

(Am Ausgang rechts repräsentiert  $q$  die Lage,  $v$  die Geschwindigkeit und  $pos$  die Position. Auf der linken Seite werden die Drehraten  $\omega$  und die Beschleunigungen  $a$  als Eingangsgrößen in den Beobachter eingespeist, während die GPS-Messungen als reine Messwerte in den Beobachter fließen).

Als große Nachteile erwiesen sich dabei jedoch das umfangreiche Prozess- und Messmodell mit hohen Dimensionen der Zustandsvektoren und der zugehörigen Kovarianzmatrizen. Dies resultiert letztlich in einer rechenintensiven Zustandsbestimmung. Die zur Verfügung stehende geringe Rechenleistung der MCU stand dazu im Widerspruch, weshalb eine zweite Version (siehe Grafik 10) verfolgt wurde:



Grafik 10: Architektur eines Algorithmus mit drei Einzelbeobachtern

Hier hat man eine Aufteilung in drei Beobachter, so dass Vektoren und Matrizen klein gehalten werden. Der Algorithmus besteht aus einem Beobachter für die Lage, einem für die Geschwindigkeit und einem weiteren Beobachter für die Position. Für jeden Beobachter kommt jeweils ein eigener Central Difference Kalman-Filter zum Einsatz.

Der erste Block ganz links stellt den Lagebeobachter dar. In ihn fließen die Drehraten, die Beschleunigungen und die Magnetfeldsensordaten ein. Daraus wurde zu jedem Zeitpunkt die Lage in Form einer Quaternion berechnet.

Für die Lagebestimmung sind neben den Drehratensensordaten auch Beschleuni-

gungsmesser- und Magnetometerdaten von großer Bedeutung. Letztere machen Gebrauch vom Erdschwerefeld beziehungsweise Erdmagnetfeld.

Beide Felder stellen an jedem Ort Richtungsinformationen dar, die mittels Vektoren beschrieben werden können. Durch langjährige Untersuchung beider Felder ist bekannt, welche Richtung und welchen Betrag sie an welcher Position auf der Erde haben. Auf diese Weise wurden für die Entwicklungsarbeit auch die entsprechenden Daten für das Firmengelände von Bosch in Abstatt herangezogen.

Bekanntermaßen fällt aufgrund der ellipsoidähnlichen Gestalt der Erde der Betrag der Erdbeschleunigung, abzüglich der durch die Erdrotation verursachten Zentrifugalbeschleunigung, an den Polen etwas größer aus als am Äquator.

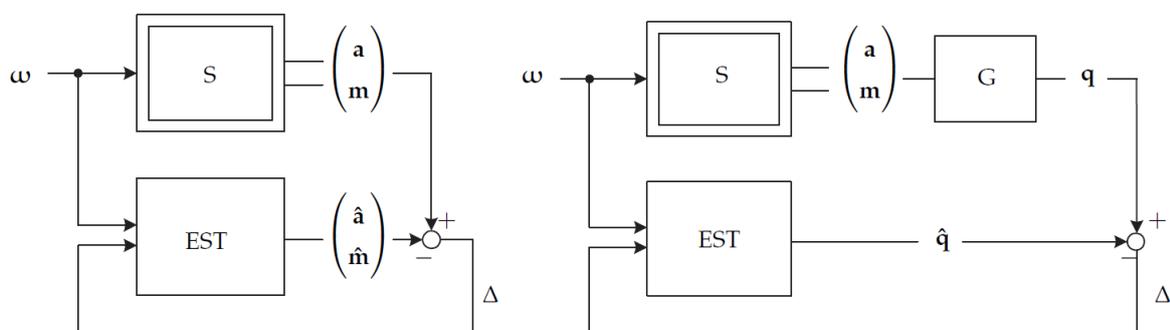
Das Erdmagnetfeld ähnelt nahe der Erdoberfläche dem eines magnetischen Dipols. Die magnetischen Feldlinien treten im Wesentlichen auf der Südhalbkugel aus der Erde aus und durch die Nordhalbkugel wieder in die Erde ein. Diese klare Süd-Nord-Richtung schlägt sich in der ersten Komponente des Vektors der magnetischen Flussdichte nieder, sowie in einer nur gering ausgeprägten West-Ost-Komponente. In mittleren und hohen Breiten kommt zusätzlich eine starke Vertikalkomponente dazu. Diese dritte Komponente weist auf der Nordhalbkugel nach unten, auf der Südhalbkugel hingegen nach oben.

Misst man nun mithilfe eines dreiachsigen Beschleunigungssensors und eines dreiachsigen Magnetfeldsensors die Erdbeschleunigung bzw. die magnetische Flussdichte, so liegen neben den bekannten tatsächlichen Werten nun auch gemessene Werte vor. Diese können miteinander verglichen werden, womit die Bestimmung einer Veränderung in der Lage ermöglicht wird.

Auf diese Weise lieferten das Erdschwerefeld und das Erdmagnetfeld zwei zusätzliche Informationen für die Orientierung.

Diese beiden zusätzlichen Informationen wurden genutzt, um die Drehratensensordaten zu stützen. Die Stützung ließ sich dabei in zweierlei Varianten für den Lagebeobachter durchführen wie in Grafik 11 zu erkennen ist.

Zum einen können die Drehraten, Beschleunigungen und Magnetfelddaten direkt in das Filter eingehen, um ein Quaternion zu schätzen. Zum anderen kann vorab aus den Beschleunigungen und Magnetfelddaten ein Referenzquaternion berechnet werden. Anschließend werden dann nicht die originalen Messdaten, sondern dieses Quaternion als Messung angesehen und in das Filter eingebracht.

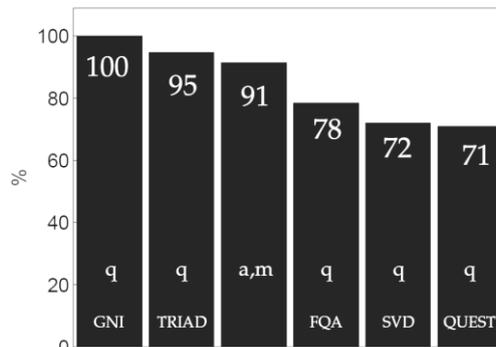


Grafik 11: Lagegeschätzung durch zwei unterschiedliche Beobachter. Links werden die Drehratensensordaten  $\omega$  direkt durch die reinen Sensordaten aus Beschleunigungsmesser und Magnetometer gestützt. Im Lagebeobachter rechts wird zunächst ein Quaternion berechnet und darüber die Stützung durchgeführt.

In den Skizzen steht ein doppelter Rahmen für ein nichtlineares System  $S$ . Des Weiteren steht EST für Schätzung (estimation) und G für die Generierung eines Referenzquaternions.

Für die Bestimmung eines Quaternions, also eine Lageberechnung, aus den Daten der Beschleunigungsmesser und des Magnetfeldsensors wurden verschiedene Ansätze adaptiert, implementiert und getestet:

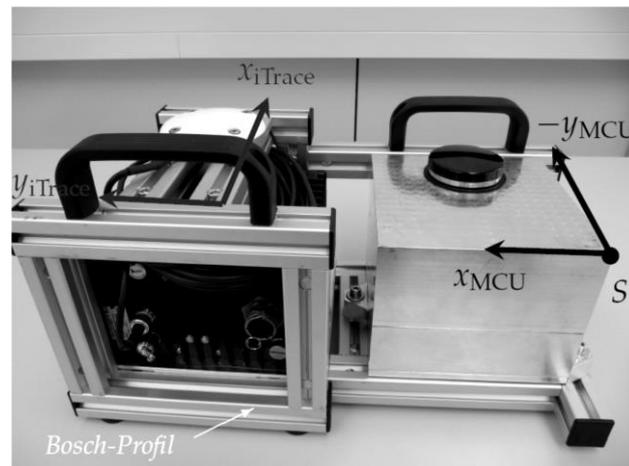
Die Generierung G eines Referenzquaternions wurde erreicht mit einer Gauß-Newton-Iteration (GNI) und anderen Unter-Algorithmen, die mit TRIAD, QUEST, FQA und SVD abgekürzt wurden.



Grafik 12: Prozentuale Rechenzeiten

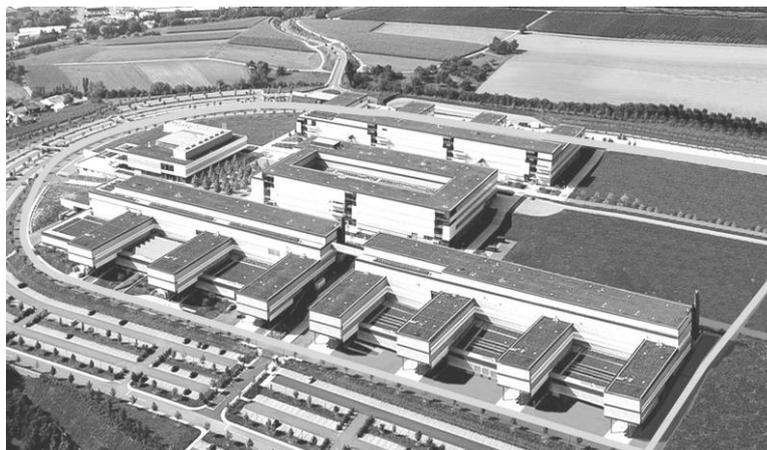
Für die Lageschätzung der MCU wurde die erste der beiden oben genannten Varianten eingesetzt. Denn es zeigte sich, dass kein Unter-Algorithmus zur Bestimmung eines Referenzquaternions an die Genauigkeit heranreichte, die mittels der Stützung durch reine Sensordaten erzielt werden konnte. Zwar lag die ausgewählte Methode beim anderen entscheidenden Kriterium, der Rechenzeit, nur im Mittelfeld (siehe 91% in Grafik 12). Da damit jedoch die besten Schätzwerte erzielt werden konnte, und Genauigkeit Priorität genoss, war dies die erste Wahl.

Der gesamte Algorithmus mit allen drei Beobachtern für die Zustände Lage, Geschwindigkeit und Position wurde anhand der Rohdaten eines hochgenauen Messgeräts zu Referenzzwecken getestet. Anschließend folgte die Überprüfung des Algorithmus mit den MCU-Daten. Um einen Vergleich zwischen den beiden Sensorsystemen zu ermöglichen wurden beide Systeme zu einem Verbund vereint. Diesen Verbund sieht man in Grafik 13 abgebildet. Zu betonen ist freilich, dass beide Systeme für einen sinnvollen Vergleich denselben Bezugspunkt haben müssen. Als gemeinsamen Punkt wurde der Bezugspunkt der MCU gewählt. Durch Einstellungen am Referenzmessgerät wurde sichergestellt, dass auch das Referenzmessgerät die Daten auf diesen extern gelegenen Punkt liefert.



Grafik 13: Verbund aus MCU und Referenzmessgerät

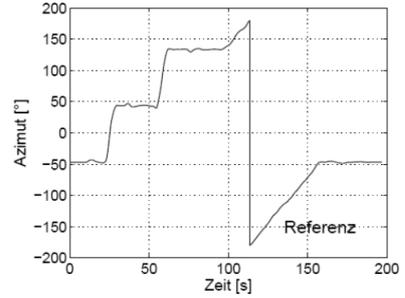
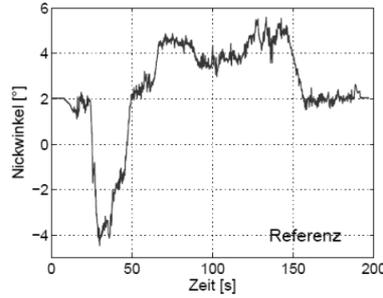
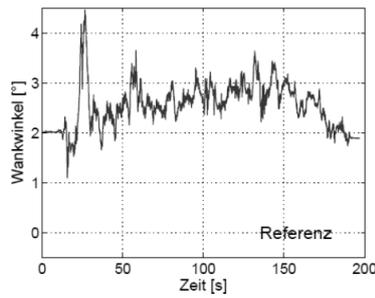
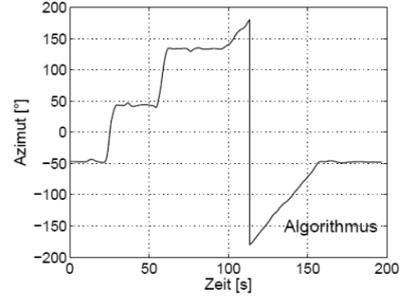
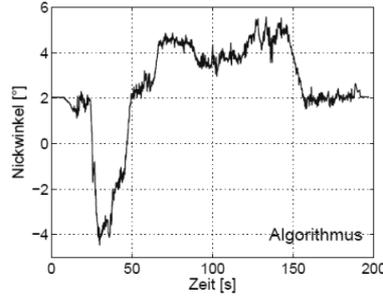
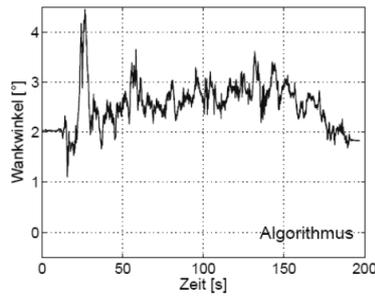
Verschiedene Messszenarien wurden nun mit diesem Verbund durchgeführt. Als Beispiel soll hier eine Messfahrt auf dem Firmengelände (siehe Grafik 14) herangezogen werden, die mit einem Auto unternommen wurde, in dem vorab die Messgeräte integriert wurden.



Grafik 14: Messszenario auf dem Firmengelände in Abstatt

Die Ergebnisse des Algorithmus bei Verwendung der Rohdaten (Drehraten, Beschleunigungen, etc.) des hochgenauen Referenzmessgeräts stimmten sehr gut mit den Lage-, Geschwindigkeits- und Positionsdaten des hochgenauen Referenzmessgeräts überein.

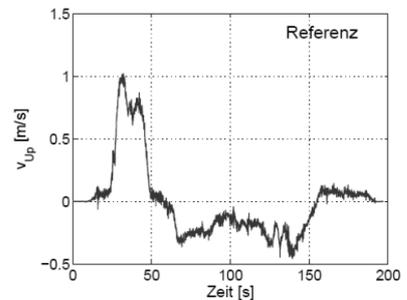
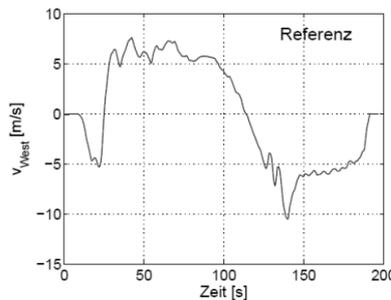
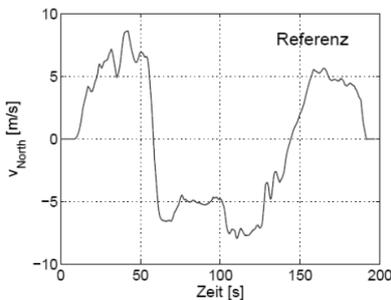
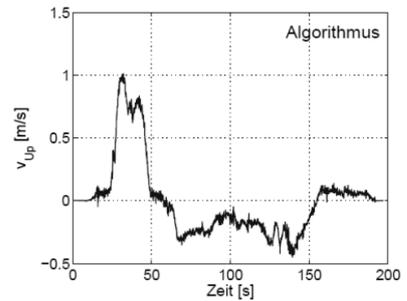
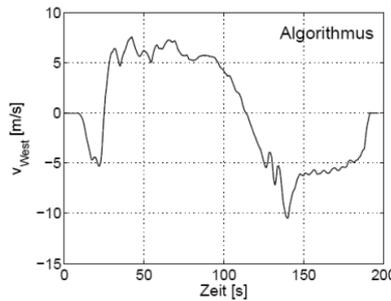
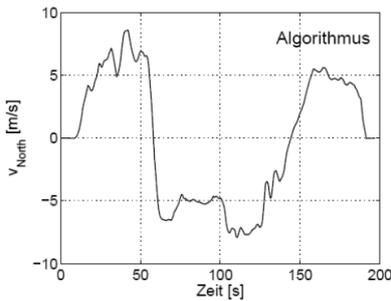
Zur Veranschaulichung der Lage wurden die Quaternionen in Winkel umgerechnet. Im Folgenden sollen nun einige Ergebnisse grafisch dargestellt werden. Dabei entsprechen in den Darstellungen die Grafiken der jeweils unteren Zeile den Ausgabedaten aus dem hochgenauen Referenzmessgerät. Sie entsprechen also den Sollwerten. Die Grafiken der oberen Zeile stellen hingegen die Istwerte dar, die mithilfe des Algorithmus tatsächlich erreicht wurden.



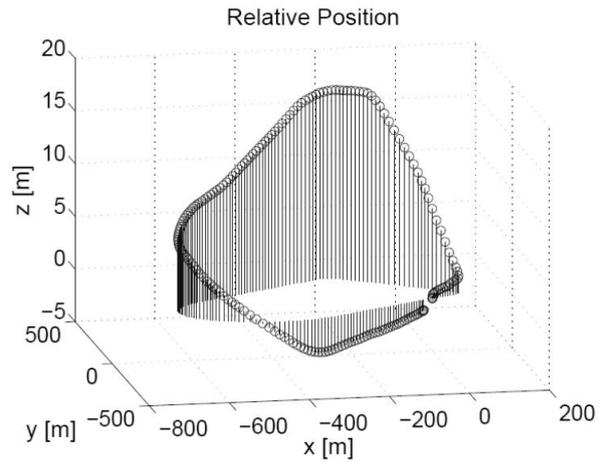
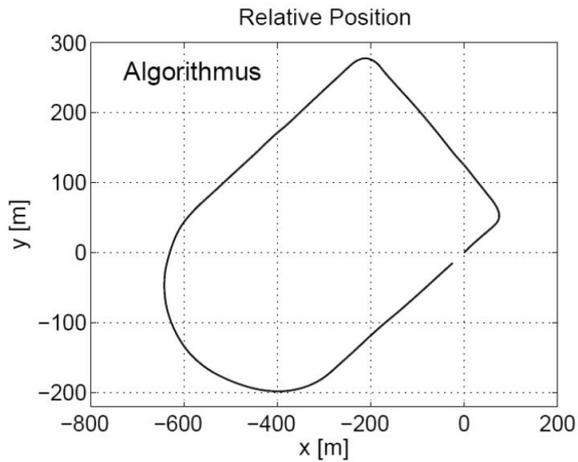
Die Abweichungen in Wank- und Nickwinkel betragen durchschnittlich  $0,01^\circ$ . Im Azimut liegt diese bei  $0,17^\circ$ .

Es folgen die Ergebnisse für die Geschwindigkeit und der Position. Wie anhand der Grafiken zu erkennen ist, entsprechen die Istwerte nahezu den Sollwerten. In der Position liegt hierbei die durchschnittliche Abweichung bei  $0,34$  m.

Geschwindigkeit:



Position:



Nachdem mit ausreichendem Genauigkeitsniveau die Funktionalität des entwickelten und angewendeten Algorithmus anhand der Rohdaten des Referenzmessgeräts nachgewiesen wurde, wurde selbiges mithilfe der MCU-Sensordaten vollzogen. Die Abweichungen fielen hier aus verschiedenen Gründen (Prototyp, Großseriensensoren, GPS-Empfänger, etc.) erwartungsgemäß größer aus:

Zustand	Abweichung
Wankwinkel	1,33°
Nickwinkel	1,47°
Azimut	3,55°
Geschwindigkeit (horizontal)	0,70 m/s
Geschwindigkeit (vertikal)	1,68 m/s
Position	13 m (reines GPS-Signal)

Weitere Genauigkeitsverbesserungen sind durch zusätzliche Entwicklungsarbeit und zeitlicher Investition erzielbar. Ansatzpunkte sind hierfür die Untersuchung weiterer angedachter Beobachteransätze, die Stützung der Position aus GPS-Differenzen, zusätzliche Schätzung von Drehratenoffsets, indem diese als extra Zustände betrachtet werden. Weitere Untersuchungen auch zur Optimierung der Kovarianzen sind ebenso denkbar und ratsam.

## Adressliste des Vorstandes

<b>Name</b>	<b>1. Dienststelle/Firma 2. Privatanschrift</b>	<b>Funktion</b>
<b>Dipl.-Ing. Hansjörg Schönherr</b>	Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg Büchsenstr. 54, 70174 Stuttgart Tel: 0711/95980-110 E-Mail: <a href="mailto:hansjoerg.schoenherr@lgl.bwl.de">hansjoerg.schoenherr@lgl.bwl.de</a> Weidenfeld 10, 73430 Aalen Tel.: 07361/68646	Vorsitzender
<b>Dr.-Ing. Gerrit Austen</b>	Stadtmessungsamt Stuttgart Lautenschlagerstr. 22, 70173 Stuttgart Tel.: 0711/216-59620 E-Mail: <a href="mailto:gerrit.austen@stuttgart.de">gerrit.austen@stuttgart.de</a> Weinstr. 18/1, 71394 Kernern Tel.: 07151/1652859	Stellvertretender Vorsitzender
<b>Dipl.-Ing. Walter Köpf</b>	Ingenieurbüro Köpf Bietigheimer Str. 5, 70435 Stuttgart Tel.: 0711/987905-0 E-Mail: <a href="mailto:koepf@ingenieurbuero-koepf.de">koepf@ingenieurbuero-koepf.de</a> Gustav-Siegler-Str. 43, 70193 Stuttgart Tel.: 0711/291787	Schatzmeister
<b>Dipl.-Ing. Andrea Heidenreich</b>	Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg Kernerplatz 10, 70182 Stuttgart Tel.: 0711/126-2283 E-Mail: <a href="mailto:andrea.heidenreich@mlr.bwl.de">andrea.heidenreich@mlr.bwl.de</a> Hecklestr. 4, 71634 Ludwigsburg Tel.: 07141/7968225	Schriftführerin

<b>Dipl.-Ing. Jürgen Eisenmann</b>	Landratsamt Ostalbkreis Flurneuordnung und Landentwicklung Ostalbkreis / Landkreis Heidenheim Obere Straße 13, 73479 Ellwangen Telefon: 07961/567-3268 E-Mail: <a href="mailto:juergen.eisenmann@ostalbkreis.de">juergen.eisenmann@ostalbkreis.de</a> Im Schönblick 9, 74542 Braunsbach Tel.: 07906/8761	Beisitzer
<b>Dipl.-Ing. Sabine Feirabend</b>	RIB IT AG Vaihinger Str. 151, 70567 Stuttgart Beethovenweg 4, 73630 Remshalden Tel.: 07151/1696257 E-Mail: <a href="mailto:Sabine.Feirabend@gmx.de">Sabine.Feirabend@gmx.de</a>	Beisitzerin
<b>Dipl.-Ing. Volker Hell</b>	Vermessungsbüro Hell Hirschgasse 5, 74613 Öhringen Tel.: 07941/647947 E-Mail: <a href="mailto:v.hell@hell-vermessung.de">v.hell@hell-vermessung.de</a> Panoramaweg 45, 71696 Möglingen Tel.: 07141/4883595	Beisitzer
<b>Dipl.-Ing. Karlheinz Jäger</b>	Stadtmessungsamt Stuttgart Lautenschlagerstr. 22, 70173 Stuttgart Tel.: 0711/216-6984 E-Mail: <a href="mailto:karlheinz.jaeger@stuttgart.de">karlheinz.jaeger@stuttgart.de</a> Goldschmiedstr. 16, 74232 Abstatt Tel.: 07062/62236	Beisitzer
<b>Dipl.-Ing. Roland Mayer-Föll</b>	Postfach 1384, 73603 Schorndorf Tel.: 07181/68790 E-Mail: <a href="mailto:mayer-foell@web.de">mayer-foell@web.de</a>	Beisitzer
<b>Dipl.-Ing. Matthias Wengert</b>	Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Büchsenstr. 54, 70174 Stuttgart Tel.: 0711/95980-197 E-Mail: <a href="mailto:matthias.wengert@lgl.bwl.de">matthias.wengert@lgl.bwl.de</a> Kaupstr. 5, 64289 Darmstadt Tel.: 06151/9674700 E-Mail: <a href="mailto:mwengert@web.de">mwengert@web.de</a>	Beisitzer

## Adressliste der Rechnungsprüfer und des Geschäftsführers

### Rechnungsprüfer:

Name

1. Dienststelle/Firma

2. Privatanschrift

**Dipl.-Ing. Kurt Kohler**

Landesamt für Geoinformation und  
Landentwicklung Baden-Württemberg  
Büchsenstr. 54, 70174 Stuttgart  
Tel.: 0711/95980-288  
E-Mail: [kurt.kohler@lgl.bwl.de](mailto:kurt.kohler@lgl.bwl.de)  
August-Müller-Str. 16, 71691 Freiberg  
Tel.: 07141/76467

**Dipl.-Ing. Gerhard Waldbauer**

Landesamt für Geoinformation und  
Landentwicklung Baden-Württemberg  
Stuttgarter Str. 161, 70806 Kornwestheim  
Tel.: 07154/9598-600  
E-Mail: [gerhard.waldbauer@lgl.bwl.de](mailto:gerhard.waldbauer@lgl.bwl.de)  
Richard-Wagner-Str. 21, 71686 Remseck  
Tel.: 07146/891110  
E-Mail: [gerhard.waldbauer@gmx.de](mailto:gerhard.waldbauer@gmx.de)

### Geschäftsführer

Name

1. Dienststelle/Firma

2. Privatanschrift

Prof. Dr. sc. techn.  
Wolfgang Keller

Universität Stuttgart, Geodätisches Institut  
Geschwister-Scholl-Str. 24D, 70174 Stuttgart  
Tel.: 0711/685 8-3459  
E-Mail: [wolfgang.keller@gis.uni-stuttgart.de](mailto:wolfgang.keller@gis.uni-stuttgart.de)  
Sperberweg 5, 71364 Winnenden  
Tel.: 07195/942157