Integrated Fieldwork

2018

Abschlussbericht

SUPERVISOR

Institut für Ingenieuregeodäsie (IIGS)

Geodästisches Institut (GIS)

Institut für Navigation (INS)

Institut für Photogrammertrie (IFP)

Studenten

GeoEngine

Geodäsie und Geoinformatik





Inhalte

1.	Eir	ıfüh	rung6
2.	3D	-Re	ferenzrahmen über GNSS-Beobachtungen8
,	2.1.	Eint	ührung
-	2.2.	Bes	chreibung des Praktikums
	2.2.	1.	Tatsächliche Messung 8
	2.2.2	2.	Die Probleme und Lösungen 10
	2.2.	3.	Zusammenfassung 10
-	2.3.	Date	enverarbeitung und Ergebnisse 11
	2.3.	1.	Ausgleichung des Netzwerkes 11
	2.3.	2.	Transformation in UTM-System
	2.3.	3.	Analyse der Ergebnisse 13
3.	Ge	ome	etrisches Nivellieren15
-	3.1.	Einl	eitung
	3.2.	Met	hodik 16
-	3.3.	Erge	ebnisse
-	3.4.	Her	ausforderungen und Empfehlungen 18
4.	Er	stell	ung eines 3D Netzes mit einer Total Station19
4	4.1.	Einl	eitung
4	4.2.	Wic	htige Bemerkungen für die Vermessung 19
	4.2.	1.	Das Netz planen und Punkte markieren 19
	4.2.	2.	Plan zur Vermessung 20
	4.2.	3.	Wichtige Bemerkungen 21
4	4.3.	Abl	auf der Datennachverabeitung 22
4	4.4.	Nac	hverarbeitung und Ergebnisse 22
	4.4.	1.	Lokale Netzausgleichung jeder Gruppe: 23
	4.4.	2.	Lokale Netzausgleichung aller Beobachtungen
	4.4.	3.	Lokale Netzausgleichung aller Messungen

5.	Pr	rofilmessungen mit Gravimeter	30
5	5.1.	Einleitung	30
5	5.2.	Feldmessung	30
5	5.3.	Datenverarbeitung	32
	5.3.	3.1. Gravitation	32
	5.3.	3.2. Simple Bouguer Anomalies	34
	5.3.	3.3. Probleme der Datenverarbeitung	35
5	5.4.	Ergebnisse	36
	5.4.	4.1. Allgemeines Ergebnis	36
	5.4.	4.2. Post Processing.	38
5	5.5.	References	39
6.	Ki	inematische Vermessung von Wegen	40
f	5.1	Finleitung	40
	6.1	1 1 Messgehiet	40
	6.1.	1.2. Aufgaben	40
6	5.2.	Arbeitsablauf	41
	6.2.	2.1. Fahrtenplan	41
	6.2.	2.2. Messergebnisse	41
	6.2.	2.3. Nachbearbeitung	43
6	5.3.	Ergebnisanalyse	44
	6.3.	3.1. Messresultate	44
	6.3.	3.2. Vergleich mit anderen Arbeitsgruppen	45
7.	Kl	lassifikation der Landbedeckung auf der Grundlage von de	r
Fe	rnei	erkundung	47
7	7.1.	Kurze Beschreibung der Feldarbeit	47
	7.1.	1.1. Vor der Feldarbeit.	47
	7.1.	1.2. Während der Feldarbeit	47
	7.1.	1.3. Nach der Feldarbeit (Post Processing)	48
7	7.2.	Probleme und Lösungen	50

7.3.	Datenaustausch
7.4.	Ergebnisse und Diskussionen
7.4.	1. Sentinel-2 Bilder (unüberwacht) 51
7.4.	2. Sentinel-2 Bilder (überwacht) 52
7.4.	3. Luftbilder (überwacht) 54
7.4.	4. Diskussionen
7.5.	Referenzen
8. 3D	-Objekt-Rekonstruktion mit Nahbereichsphotogrammetrie
und T	errestrisches Laserscanning58
8.1.	Einleitung
8.2.	Hangar
8.2.	1. PhotoScan
8.2.	2. Cyclone
8.3.	Flugzeug
8.3.	1. PhotoScan
8.3.	2. Cyclone
8.4.	Diskussion
8.4.	1. Herausforderungen
8.4.	2. Vergleich der beiden Methoden
9. 3D	Objektrekonstruktion durch AUS-Photogrammetrie73
9.1.	Einleitung
9.2.	Workflow
9.3.	Kontrollpunkte
9.4.	Datenverarbeitung
9.5.	Datenanalyse
10. I	Erstellung eines digitalen Geländemodells90
10.1.	Einleitung
10.2.	Methode und Grundlagen
10.3.	Vorgehensweise bei der Feldarbeit

11. Zus	ammenfassung	101
10.6.	Fazit	100
10.5.2.	Erstellung des DGM	97
10.5.1.	Datentransformation	95
10.5.	Datenverarbeitung	95
10.4.	Probleme, die aufgetreten sind	94
10.3.2.	DGM Datenerfassung	94
10.3.1.	Generelle Vermessung	92

1. Einführung

Jedes Jahr findet im Sommer das Integrierte Praktikum der Universität Stuttgart statt. Beteiligt waren dabei zehn Studierende des Bachelorstudiengangs Geodäsie und Geoinformatik und 20 des Masterstudiengangs GEOENGINE. Neu waren dieses Jahr die Messumgebung und Aufgaben. Das Praktikum fand nicht wie in den Jahren zuvor in der Erddeponie Renkenberg, sondern auf dem Flugfeld der Fliegergruppe Hülben nahe Dettingen an der Erms statt. Bei zuletzt genanntem lag auch die neue Unterkunft, das Naturfreundehaus Waldheim. Hier wurden alle benötigten Instrumente gelagert, die Nachbearbeitung durchgeführt und Besprechungen abgehalten.

Die Vorbereitungen fanden bereits das ganze Semester statt. Hierzu zählten unter anderem die Verteilung der einzelnen Arbeitspakete, die Planung der Messungen, die vor Ort durchgeführt werden sollten und die Einarbeitung in die einzelnen Aufgaben und der darauffolgenden Präsentation für alle beteiligten Betreuer und Studierenden. Zur letzten Vorbereitung zählte ein Workshop, bei dem der fachgerechte Umgang mit allen benötigten Instrumenten von den einzelnen Gruppen vorgestellt und von jedem Studierenden einmal durchgeführt werden musste.

Aufgrund der geringeren Teilnehmerzahl im Vergleich zu den letzten Jahren wurden diesmal von allen Studierenden die Messungen über zwei Wochen durchgeführt. Die dritte Woche bestand aus der finalen Nachbearbeitung der Messungen und der Abschlusspräsentation, bei welcher die Ergebnisse der letzten zwei Messwochen anschaulich präsentiert und diskutiert wurden.

Die Arbeitspakete sind dieses Jahr auf zehn festgesetzt worden, wodurch von jedem der Geodäsie und Geoinformatik Studenten genau eines bearbeitet werden konnte. Das erste Arbeitspaket befasste sich nicht direkt mit der Messung, sondern mit der Organisation des integrierten Praktikums. Es war vor allem für die Kommunikation der Studenten untereinander mit den Betreuern und die Finanzierung zuständig.

Um das Flugfeld in das Landesvermessungsnetz einzubinden, wurde im Vorfeld ein

GNSS-Netz geplant und während der ersten Woche realisiert. Ebenfalls sollte alles in das deutsche Haupthöhennetz angebunden werden, weshalb zu einem nahegelegenen Höhenfestpunkt nivelliert wurde. Über das gesamte Flugfeld verteilt wurde mittels Tachymeter ein lokales Netz erstellt und in den folgenden Tagen durch Total Station verdichtet worden. In einem kleineren Bereich wurde mit einem Gravimeter Bougueranomalie im Schwerefeld erfasst und auf einer Karte dargestellt. Zudem wurden das gesamte Straßennetz und der Hangar topografisch und per Laserscanning dreidimensional erfasst. Durch mehrere Drohnenflüge konnten außerdem hochauflösende Luftbilder des gesamten Geländes erstellt und anschließend zu einem Orthofoto und einem digitalen Geländemodell weiter prozessiert werden. Das Straßennetz auf und um das Flugfeld war mit Hilfe eines speziell ausgerüsteten Messbusses erfasst worden.

2. 3D-Referenzrahmen über GNSS-Beobachtungen

2.1. Einführung

Die Hauptaufgaben von WP 2 sind die Schaffung des fundamentalen Netzwerks im Praktikumsbereich und die Bestimmung der Koordinaten von neuen Vermessungspunkten im Flugfeld. Die Koordinaten der Punkte sollten im globalen WGS84-System und in der UTM-Projektion für andere Arbeitspakete zur Verfügung gestellt werden.

Insbesondere sind die folgenden Aufgaben notwendig:

- Auswahl der Punkte
- Design des Netzwerks
- Vorbereitung des Session Plans und des Feldbuchs
- Beobachtungen gemäß dem Session Plan
- Datenverarbeitung mit Leica Geo Office

2.2. Beschreibung des Praktikums

2.2.1. Tatsächliche Messung

Die GNSS-Messung wurde gemäß des Session Plans durchgeführt, wobei sich gewisse Probleme ergaben. Das tatsächliche Netzwerk hat insgesamt 8 Punkte und damit zwei unbekannte Punkte im Flugfeld. Am ersten Tag haben wir zwei Sessions für die gesamten 8 Punkte durchgeführt. Am folgenden Tag wurden vier Sessions mit jeweils 6 Punkten am Morgen und am Nachmittag gemessen. Am dritten Tag wurden vier Sessions mit jeweils 4 Punkten gemessen. Am letzten Tag der Messung wurden zwei Sessions mit jeweils 4 Punkten durchgeführt. Deshalb haben wir insgesamt 12 Sessions mit verschiedenen Punkten gemessen. Im Durchschnitt wurde jeder Punkt 8 Mal besetzt.

Wir haben 12 Sessions mit 52 Basislinien geplant. Aber letztendlich erhielten wir nur

72 Prozent der erwarteten Rohdaten aufgrund der Handhabungs- und Instrumentenprobleme. Außerdem wurden nur 58 Prozent der geplanten Daten mit 29 Basislinien für die Ausgleichung des Netzwerks berücksichtigt (s.a. Figur 1 & 2).



Figur 1. nützliche Beobachtungen pro Punkt

Figur 2. Nutzbarkeitsverhältnis der Rohdaten



2.2.2. Die Probleme und Lösungen

Im Praktikum wurden in den meisten Fällen die Messungen erfolgreich durchgeführt. Es gab jedoch auch einige Probleme:

- Falsche Eintragung ins Feldbuch
- Fehlende Feldbücher
- Nicht-synchronisierte Beobachtungen der Punkte
- Probleme mit den Instrumentenhöhenmessungen

Der erste Datenverarbeitungsschritt besteht darin, die inkonsistenten Messungen zu löschen, die nicht durch Feldbücher oder Informationen der Beobachter korrigiert werden können. Dies führte zu einer geringen Nutzbarkeitsrate der Rohdaten.

2.2.3. Zusammenfassung

- Um detailliertere Informationen zu dokumentieren und Fehler zu vermeiden, müssen wir darauf achten, dass das Feldbuch so detailliert wie möglich geführt wird.
- Es ist wichtig, jede Session gleichzeitig zu starten und zu beenden, was durch eine gemeinsame WhatsApp-Gruppe ausgeführt werden kann.
- Insbesondere f
 ür die Messung der Antennenh
 öhe muss jeder Beobachter die Methode der H
 öhenmessung und ggf. Einstellung des Antennenoffsets im Kontroller beachten. Insbesondere m
 üssen H
 öhenablesung und -offset übereinstimmen, da diese Unstimmigkeiten Probleme bei der sp
 äteren Datenverarbeitung verursachen.
- In der Praxis ist es besser, mehr redundante Messungen einzuplanen um ein nutzbares Netzwerk zu gewährleisten.

2.3. Datenverarbeitung und Ergebnisse

2.3.1. Ausgleichung des Netzwerkes

Leica Geo Office wird für die Datenverarbeitung verwendet. Wenn es möglich ist, werden die Mehrdeutigkeiten pro Station gelöst und die anderen Daten gelöscht. Die nutzbaren Beobachtungen werden für die Ausgleichung der Basislinien verwendet. Nach der Vorverarbeitung der Daten wählen wir Referenzstationen und Rover pro Session aus und berechnen die Basislinien. Danach können wir die Qualität jedes Punktes und jeder Session überprüfen. In diesem Praktikum gibt es viele Beobachtungen mit großen Fehlern, die gelöscht werden müssen. Zum Beispiel haben einige Basislinien von Punkt 76 einen Höhenunterschied von fast 6 Metern im Netzwerk. Nachher wird die Ausgleichung erneut durchgeführt, bis die Qualität hoch genug ist (s.a. Figur 3). Die endgültigen Koordinaten sind in Tabelle 1 dargestellt.





Punkt	Punktklasse	Х	Y	Ζ	Positionsqualität	Höhenqualität	Pos.+Höh.
ID							Qualität
19	zur Kontrolle	4175373.51	691678.03	4756605.39	0.014	0.010	0.017
53	ausgeglichene	4177471.21	693135.66	4754267.96	0.005	0.007	0.009
76	zur Kontrolle	4176844.78	688216.31	4755411.17	0.003	0.005	0.006
105	ausgeglichene	4175053.16	691265.88	4756934.16	0.005	0.007	0.009
150	ausgeglichene	4173255.49	687951.97	4758607.60	0.003	0.004	0.005
152	zur Kontrolle	172486.73	693252.32	4758878.89	0.014	0.010	0.017
NP1	zur Kontrolle	4175509.60	691239.25	4756539.17	0.006	0.009	0.011
NP2	zur Kontrolle	175523.61	691029.79	4756550.61	0.003	0.005	0.006

Tabelle 1. Koordinaten in WGS84 [m]

2.3.2. Transformation in UTM-System

Als Eingabe verwenden wir die Koordinaten von Punkt 152, die mit dem Tachymeter von WP4 gemessen wurden, und die Höhen von Punkt 76, NP1, NP2, 19 von WP3 durch Nivellement. Deshalb sind die Punkte 76, NP1, NP2 in der Höhe fixiert und die Punkte 152, 19 in der Position fixiert. Wir verwenden sie als identische Punkte mit einer Standardabweichung von 1 cm. Die Koordinaten sind in Tabelle 2 dargestellt:

Punkt	Punktklasse	Osten	Norden	Ortho.	Positionsqualität	Höhenqualität	Pos.+Höh.
ID				Höhen			Qualität
19	zur Kontrolle	32529974.81	5375217.65	728.33	0.014	0.010	0.017
53	ausgeglichene	32531086.87	5371947.95	(506.0951)	0.005	0.007	0.009
76	zur Kontrolle	32526328.63	5373744.40	421.29	0.003	0.005	0.006
105	ausgeglichene	32529618.06	5375720.51	(720.8002)	0.005	0.007	0.009
150	ausgeglichene	32526628.80	5378546.29	(443.2794)	0.003	0.004	0.005
152	zur Kontrolle	32531980.38	5378673.40	717.46	0.014	0.010	0.017
NP1	zur Kontrolle	32529520.41	5375124.55	720.15	0.006	0.009	0.011
NP2	zur Kontrolle	32529311.46	5375146.30	715.2298	0.003	0.005	0.006

Tabelle 2. Koordinaten in ETRS89_UTM32 mit den Höhen in DHHN 2016 [m]

Die Kontrollpunkte sind Festpunkte und die Abweichung der Koordinaten kann bis zu einem cm erreichen. Die Höheninformationen in Klammern bezeichnen die geschätzten pseudo-orthometrischen Höhen nach der Transformation von WGS84 in UTM-System.

2.3.3. Analyse der Ergebnisse

Der Vergleich zwischen den ausgeglichenen Koordinaten und den angegebenen UTM-Koordinaten ist folgendermaßen (Residuen = ausgeglichene Koordinaten angegebene Koordinaten):

Tabelle 3. Die angegebenen Koordinaten und Residuen

Punkt ID	Osten [m]/ Residuer	n in Osten [mm]	Norden [m] / Residuen in Norden [mm]			
19	32529974.81	0	5375217.65	0		
53	32531086.88	-1.0	5371948.03	-8.3		
76	32526328.64	-1.0	5373744.43	-3.5		
105	32529618.05	-1.0	5375720.54	-3.3		
150	32526628.83	-3.0	5378546.21	7.4		
152	32531980.38	0	5378673.40	0		



Figur 4. Die Differenz der Koordinaten für 53 und 150

Aus der Tabelle 3 ist ersichtlich, dass Punkt 150 und Punkt 53 die größte Bewegung haben. Dies könnte damit erklärt werden, dass Punkt 150 auf einem Feld liegt, sodass er durch die schweren Traktoren beschädigt sein könnte. Punkt 53 liegt an einem unbebauten Hang, der im Laufe der Zeit instabil sein könnte. Die Bewegungen von Punkt 150 und 53 sind in Figur 4 dargestellt. Daher sollten die Koordinaten von Punkt 53 und 105 erneuert oder neue Punkte bei der Ausgleichung verwendet werden.

3. Geometrisches Nivellieren

3.1. Einleitung

Das dritte Arbeitspaket beschäftigt sich mit der Bestimmung der Höhen der GNSS Punkte und der Verdichtung des Höhennetzes rund um den Flugplatz in Hülben. Somit erhalten vier gemessene GNSS Punkte, einige Neupunkte auf dem Fluggelände und weitere Punkte, welche für die photogrammetrische Auswertung benötigt werden, nivellierte Höhen. Diese wurden mit den Feinnivellieren von Leica (Leica DNA03) und von Trimble (Trimble DiNi) ermittelt.



Übersicht mit allen Schleifen

3.2. Methodik

Es werden vier Schleifen gemessen und anschließend der Schleifenabschlussfehler berechnet, um die Genauigkeit der Schleife zu ermitteln. Die zwei kurzen Schleifen können an einem halben Tag aufgenommen werden und somit von einer Messgruppe. Die zwei langen Schleifen benötigen einen ganzen Tag Arbeit und werden daher auf zwei Gruppen aufgeteilt. Wobei es hierbei Kontrollpunkte gibt, um die Teilschleife auf mögliche Fehler untersuchen zu können. Jede Schleife wird mit beiden Feinnivellieren gemessen und von unterschiedlichen Gruppen, um eine bessere Vergleichbarkeit zu schaffen. Für die Ermittlung des Höhenunterschieds wird bei dem Feinnivellier von Leica die Methode BFFB gewählt, wobei jeweils mit dem Rückblick begonnen wird und zwei Vorblicke vor dem letzten Rückblick folgen. Hierbei werden Einflüsse wie das einsinken des Messgerätes oder der Grundplatten mit den Nivellierlatten möglichst eliminiert. Das Feinnivellier von Trimble arbeitet mit der alternierenden BFFB Methode, wodurch an jedem Standpunkt gewechselt zwischen BFFB und FBBF. Da für beide Feinnivelliere bei der Horizontierung auf das Verfahren der "roten Hose" geachtet wird, lässt sich die alternierende BFFB Methode sehr gut umsetzen. Es werden jeweils die Höhenunterschiede und die Strecken gemessen. Für jede Schleife und auch Teilschleife wird eine gerade Anzahl der Standpunkte vorgegeben, um die Einflüsse der Refraktion zu eliminieren. Der gesamte Höhenunterschied lässt sich wie folgt berechnen:

 $\Delta h_{AB} = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_n = \sum_{i=1}^n \Delta h_i = \sum_{i=1}^n R_i - \sum_{i=1}^n V_i.$

Wobei n die Anzahl der Instrumentenstandpunkte angibt.

3.3. Ergebnisse

Aus allen gemessenen Schleifen werden für die GNSS Punkte, Neupunkte und photogrammetrischen Punkte die Höhen bestimmt und anschließend untereinander verglichen. Das in der Tabelle 1 dargestellte Ergebnis beinhaltet die gemittelten Werte der berechneten Höhen der Punkte:

Höhe der Punkte

Punkt Nummer	Höhe [m]	Kommentar
19	728.3278	
76	421.2850	GNSS Pupleto
150	443.3606	
152	717.4629	
NP1	720.1505	
NP2	715.2305	
NP9	725.5872	Neupunkte am Flugplatz
NP11	718.1111	
NP12	718.7864	
P3	725.0286	
P18	718.5911	Photogrammetrische
P19	718.6510	Punkte
P20	719.6308	

3.4. Herausforderungen und Empfehlungen

Die langen Schleifen, welche von zwei unterschiedlichen Messgruppen gemessen werden, zeigen eine höhere Anfälligkeit von Fehlern, da teilweise nicht ausreichend Kommentare aufgeschrieben und weitergegeben werden, vor allem wenn es Fehler gibt und die Messung trotz allem fortgesetzt wird. Für eine höhere Genauigkeit sollte jede Schleife von einer Messgruppe bearbeitet werden und ausreichend Notizen gemacht werden.

Bei einigen Messgruppen wurden die Punkte, für die die Höhen bestimmt werden sollen, korrekt in der Schleife eingebunden, jedoch wurde kein Vermerk gemacht oder Änderung der Punktnummer im Gerät durchgeführt, sodass diese Schleife für die Auswertung nicht verwendet werden kann, da nicht mit 100 prozentiger Sicherheit festgelegt werden kann welcher der Punkte der Punkt von Interesse ist. Es gab auch hin und wieder kleine, aber gravierende Fehler, wie das vorzeitige Verschieben der Grundplatte, wodurch die gesamte Messung erneut begonnen werden musste. Dies kostet Zeit und Nerven. Daher muss in der Messgruppe klarer abgesprochen werden, welche Kommandos es gibt und wer bei der Messung das Sagen hat.

Einige Messgruppen haben mit den Feinnivellieren noch nie zuvor gearbeitet und daher wurden bei der Messung teilweise gravierende Fehler gemacht. Es wurden Punkte gelöscht, welche für die Messung notwendig sind oder Vorblick und Rückblick vertauscht, wodurch in der Nachbearbeitung die Höhenunterschiede erneut berechnet werden müssen, da die Höhendifferenz das falsche Vorzeichen hat. Somit ist es für die Zukunft hilfreich für alle Studierenden vorab eine Einführung zu geben. Die größten Fehler gab es bei der kurzen Schleife in der Nähe von Neuffen. Auf den ersten Blick erscheint diese Schleife recht einfach zu nivellieren. Hierbei traten in jeder Messung andere Fehler auf, weshalb die Endergebnisse jeder Schleife für den GNSS Punkt 150 nicht besser als 6mm zueinander passten.

18

4. Erstellung eines 3D Netzes mit einer Total Station

4.1. Einleitung

In der ersten Woche, wurde nach 4 Messtagen ein lokales 3D Netz erstellt. Dieses Netz wird in einem lokalen Koordinatensystem dargestellt, wird aber nach der Ausgleichung, mit globalen Koordinaten und Höhen von WP2, in ein globales Koordinatensystem transformiert, um das finale ausgeglichene Netz zu erhalten.

4.2. Wichtige Bemerkungen für die Vermessung

4.2.1. Das Netz planen und Punkte markieren

Die Punkte des Netzes sind im unteren Bild zu sehen.

NP1 und NP2 waren markiert, während WP2 und NP3 bis NP8 am ersten Messtag der ersten Woche markiert wurden.

Zu beachten gilt, dass die Punkte von mindestens 2 Standpunkten aus sichtbar sind. Es wurden Holzpflöcke und Nägel zum Markieren benutzt.

Bemerkung: In den ersten 2 Tagen wurden 8 Punkte markiert und in den 2 folgenden Tagen wurde das Netz durch die Punkte NP9 bis NP12 verdichtet Punkt NP8 wurde am 2. Messtag der ersten Woche ausversehen entfernt. Das Netz wurde um 2 weitere Punkte ergänzt und NP8 wurde aus den Beobachtungen entfernt.



4.2.2. Plan zur Vermessung

1) 1. Woche

Um möglichst genaue Ergebnisse zu erhalten, haben die Gruppen Beobachtungen von verschiedenen Standpunkten aufgenommen, um eine gute Verteilung und eine gute Abdeckung zu ermöglichen.

2) 2. Woche

In der 2. Woche, wurden die detaillierten Punkte aufgenommen und die Koordinaten wurden auf Basis des global ausgeglichenen Netzes berechnet.

Diese Punkte wurden an WP8 bis W10 weitergeleitet.

Eine freie Stationierung für jede Aufgabe ist möglich, da die Koordinaten zur Verfügung stehen.

Die Qualität des Netzes wurde im Feld, durch die sehr geringen Abweichungen bestätigt. Diese Abweichungen haben ein Ausmaß von 1-4 mm in der Ebene und maximal 2cm in der Höhe.

Bemerkung: Die benötigten Punkte für WP8 sind auf dem Gebäude fixiert und nicht in der Grafik sichtbar.



Fiugre (2) Kontrollpunkte vom WP9

4.2.3. Wichtige Bemerkungen

- Einer der häufigsten Fehler war die falsche Benennung der Punkte und der Stationspunkte. Diese Fehler führen zu einer gänzlich falschen Ausgleichung.
- Die anzuvisierenden Punkte lagen auf einer Linie oder sind sehr dicht beieinander. Dies führt zu einer fehlerhaften Messung, da die Total Station die Punkte nicht separieren kann und falsche Punkte anzielt. Um diesen Fehler zu vermeiden, muss der Standpunkt dementsprechend gewählt werden.
- Die Punkte müssen stabil und fest bis zum Ende der 2. Messwoche gesetzt werden.

Wird ein Punkt entfernt, so kann dieser nicht mehr im Netz verwendet werden.



4.3. Ablauf der Datennachverabeitung

4.4. Nachverarbeitung und Ergebnisse

Die Ausgleichung und die Analyse der Daten, wurde für jede Gruppe einzel durchgeführt, um die Ausreißer für jeden Tag zu finden. Diese Ausreißer kann man eliminieren, um eine bessere Ausgleichung zu erhalten.

Während der Ausgleichung kann man die erwartete (a-priori) Standardabweichung für die gemessenen Werte, Horizontalwinkel, Schrägstrecken und Zenitwinkel anpassen.

Gegebene Werte führen zu einer schlechten Ausgleichung, mehr Werte liefern ein besseres Ergebnis und erlauben mehr Freiheiten in der Ausgleichung und ungenauere Beobachtungen.

Soll die Standardabweichung jedoch klein bleiben, so bleiben weniger Freiheiten um das Netz aufzuspannen und die Daten müssen genauer sein.

Im zweiten Schritt werden die Beobachtung im lokalen System aus der ersten Woche mit den globalen Koordinaten mit Hilfe von 3 ausgeglichenen Fixpunkten von WP2 und den Höhen von WP3 kombiniert.

Dieser Schritt wurde vor Beginn der 2. Woche durchgeführt.

In der 2. Woche wurden die Koordinaten der benötigten detaillieren Punkte gemessen und berechnet.



4.4.1. Lokale Netzausgleichung jeder Gruppe:

Fiugre (3) Lokales Netz vom 1. Tag

Hier ist ein Beispiel für die Ausgleichung vom ersten Tag.

342 wurde benutz um die Ausgleichung anzupassen. Das Netz besteht aus 7 Punkten

und 3 Standpunkten.

Group name	n _G	r _G	Ω_{G}	$1:\sigma^{2}{}_{G}$	$\Phi^{-1}\left(F_{r,\infty,1-a}\right)$	$T_G \leq \Phi^{\text{-}1} \mid H_0$
Total Adjustment	342	313.00	291.32	0.93	1.00	 Image: A set of the set of the
Directions	148	143.59	130.90	0.91	1.01	 Image: A set of the set of the
Directions σ _a	148	136.69	120.92	0.88	1.01	×
Directions σ_c	148	6.89	9.98	1.45	2.34	 Image: A second s
Slope Distances	150	134.33	122.49	0.91	1.01	 Image: A set of the set of the
Slope Distances σ_a	150	120.65	104.70	0.87	1.02	~
Slope Distances σ_c	150	13.68	17.79	1.30	1.63	 Image: A set of the set of the
Zenith Angles	44	35.08	37.93	1.08	1.20	 Image: A set of the set of the
Zenith Angles σ _a	44	33.41	37.09	1.11	1.21	×
Zenith Angles σ_c	44	1.67	0.84	0.50	6.85	×

Variance Component Estimation

Variance Component Estimation

Figure (4) variance component estimation am ersten Tag

Datum Points: Points

Point-Id	Code	East Y0 [m]	North X0 [m]	Height Z0 [m]	East Y [m]	North X [m]	Height Z [m]	σ _Y [mm]	σ _x [mm]	σ _z [mm]	A [mm]	B [mm]	C [mm]
np1	0	52.21560	162.46085	2.12725	52.21558	162.46176	2.15403	0.0	0.1	1.5	5.7	0.3	0.0
np2	0	56.63984	-47.66938	-2.75583	56.63986	-47.67029	-2.78261	0.0	0.1	1.5	5.7	0.3	0.0

Point Group: Points

New Points: Points

Point-Id	Code	East Y0 [m]	North X0 [m]	Height Z0 [m]	East Y [m]	North X [m]	Height Z [m]	σ _γ (mm)	σχ [mm]	σz (mm)	A [mm]	B [mm]	C [mm]
np3	0	-144.98945	235.86366	6.88273	-144.99141	235.86074	6.94607	0.2	0.3	5.3	19.5	1.0	0.3
np4	0	-63.27192	115.31825	2.78646	-63.27288	115.31783	2.79361	0.2	0.1	2.1	7.7	0.6	0.4
np7	0	97.84008	-178.89731	-7.46835	97.84352	-178.89941	-7.40983	0.4	0.2	3.8	13.9	1.6	0.4
s1d1	0	-1.07576	176.95143	5.76674	-1.07614	176.95275	5.73123	0.1	0.1	1.7	6.4	0.5	0.3
s2d1	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00061	0.00082	-0.07169	0.1	0.1	1.5	5.7	0.5	0.3
s3d1	0	33.17787	-100.10157	-3.83187	33.17772	-100.10421	-3.79115	0.2	0.2	3.7	13.8	0.6	0.4

New Points: Points

Point-Id	Code	East Y0 [m]	North X0 [m]	Height Z0 [m]	East Y [m]	North X [m]	Height Z [m]	σ γ [mm]	σ χ [mm]	σz (mm)	A [mm]	B (mm)	C [mm]
np5	0	-63.27104	18.53744	-0.80679	-63.27040	18.53793	-0.83411	0.1	0.2	2.1	7.6	0.5	0.5
np6	0	8.95861	-180.94157	-8.59872	8.95658	-180.94516	-8.55606	0.4	0.2	3.6	13.4	1.6	0.4
								4					

Figure (5) Ausgeglichene lokale Koordinaten mit der Standardabweichung vom ersten Tag

Das Netz erfüllt alle statistischen Anforderungen. Die Hauptachsenlängen der

Fehlerellipsen sind maximal 2cm (auf Punkt NP3).

Dieser Punkt liegt ungünstig im Netz, da er ganz am Rand ist.

Tag	Gruppe	Total adjustment	Horizontalwinkel Hz	Schrägdistanz D	Zenitwinkel V
1	E & F	342	148	150	44
2	А	509	212	212	85
2	D	260	98	112	50
3	В	514	208	208	98
3	С	328	137	140	51
4	F	200	56	80	64
4	Е	259	103	104	52

Table (1) Anzahl der Beobachtungen



Figure (6) Ausgleichung für jede Gruppe



Figure (7) Horizontalwinkel für jede Gruppe



Figure (8) Schrägdistanz für jede Gruppe



Figure (9) Zenitwinkel für jede Gruppe

4.4.2. Lokale Netzausgleichung aller Beobachtungen

Die lokalen Koordinaten des Netzes wurden mit den Beobachtungen der ersten Messwoche ausgeglichen und berechnet.

Dieser Schritt ist aufwendiger als die Ausgleichung der einzelnen Gruppen, da eine große Anzahl an Beobachtungen verglichen werden müssen (ca. 2000). Eleminiert man die Ausreißer und ändert man die Parameter, so entsteht ein gutes und funktionales lokales 3D Netzwerk.



Figure (10) Lokales Netz mit allen Beobachtungen

4.4.3. Lokale Netzausgleichung aller Messungen

Das 3D Netz wurde nur leicht auf die 2D Koordinaten von WP2 gelegt und auf die Höhen von WP3 gezwungen.

Als Beispiel kann man in diesem Netz die Entfernung zwischen NP1 und NP2 berechnen und die gleichen Entfernungen mit den Koordinaten von WP2

NP1 NP2 105 wurden als Referenzpunkte für das gesamte Netz verwendet. Alle Punkte können in globale ETRS39-UTM Koordinaten mit einer orthometrischen Höhe transformiert werden.



Figure (11) Globales Netz mit allen Beobachtungen

Finale Koordinaten mit Standardabweichung:

Punkt	Ostwert (m)	Nordwert (m)	Ortho.Höhe (m)	σ_{Nord} (m)	σ _{Nord} (m)	σ _{Höhe} (m)
np1	32529520.429	5375124.435	720.148	0.0002	0.0004	0.0025
np2	32529311.380	5375146.222	715.223	0.0003	0.0009	0.0026
105	32529618.120	5375720.705	720.781	0.0005	0.0007	0.0045
np10	32529005.036	5375201.732	709.495	0.0007	0.0032	0.0081
np11	32529385.646	5375133.578	718.098	0.0004	0.0007	0.0032
np12	32529445.368	5375108.729	718.787	0.0004	0.0005	0.0036
np3	32529617.818	5375310.966	724.951	0.0011	0.0007	0.0035
np4	32529488.038	5375244.898	720.782	0.0008	0.0003	0.0028
np5	32529392.010	5375256.954	717.167	0.0009	0.0005	0.0027
np6	32529185.084	5375210.140	709.437	0.0007	0.0017	0.0033
np7	32529176.041	5375121.691	710.583	0.0003	0.0017	0.0035
np9	32529696.224	5375191.926	725.582	0.0007	0.0006	0.0038

Table (2) Ausgeglichene ETRS39-UTM Koordinaten

Die Datumspunkte haben eine kleine Abweichung.

5. Profilmessungen mit Gravimeter

5.1. Einleitung

Für die Landung der Flugzeuge sollte das Zielgebiet möglichst flach sein. Unebenheiten können im Flughafenbereich schädlich sein. Da die Gravitation stark mit der großen Masse um das Messgebiet korreliert, können wir die Anomalien erhalten.

5.2. Feldmessung



Abbildung 1. Messplan

Wir haben den Referenzpunkt vor und nach der ganztägigen Messung gemessen. Mit dem Referenzpunkt können wir die relative Schwere der Messung auf den absoluten Wert beziehen. Um den Offset der Punkte zu eliminieren, müssen wir unseren Startpunkt vor und nach jeder Messperiode messen. Um die Drift des Instruments zu bestimmen, müssen wir nicht nur vorwärts, sondern auch rückwärts messen. Um Zeit zu sparen messen wir jedoch nicht jeden Punkt rückwärts. Stattdessen messen wir alle drei Punkte und den Referenzpunkt.



Wie Abbildung 2 zeigt, haben wir ein Gitter über das gesamte Feld mit einer Dichte von 5 m × 10 m erstellt. In der ersten Woche haben wir vier Streifen über dem Zielbereich gemessen, um ein 10m × 10m Raster zu erreichen. Und in der zweiten Woche haben wir vier weitere Streifen gemessen und ein dichteres Raster von 5m × 10m erhalten. Am Ende haben wir insgesamt 8 Streifen und 113 Punkte. Für jeden Punkt haben wir drei Minuten die Gravimetriemessung durchgeführt, Höhe vom Instrument zum Punkt und GNSS Positionen einschließlich der Höhen gemessen.

5.3. Datenverarbeitung

Gravimetrie ist die Messung der Stärke eines Gravitationsfeldes. Die Gravitation wird normalerweise in Einheiten m/s^2 oder mGal $(10^{-5}m/s^2)$ gegeben.

Während der Berechnung sollten die Anomalien, die durch lokale Dichtevariationen verursacht werden, korrigiert werden. Die Theorie dieses Verfahrens kann durch die folgende Gleichung verallgemeinert werden:

$$g_{obs} = g_r + c_{fa} + c_B + c_t + c_{Et} + c_i + c_g$$

 c_{fa} : Freiluftkorrektur

- c_B : Bouguerkorrektur
- c_t : Topografische Korrektur
- c_{Et} : Eötvös Korrektur
- c_i : Isostatisch Korrektur
- c_g : Geologische Korrktur

5.3.1. Gravitation

Das folgende Modell für Messungen sollte angewendet werden:

$$y_n(t_k) = g_n + b + dt_k + \epsilon.$$

Das Modell geht davon aus, dass der beobachtete Gravitationswert eines einzelnen Punktes nicht nur die Gravitation g_n , sondern auch einen unbekannten Offset b, eine lineare Drift d und das Messrauschen ε enthält. Die Gravitationsdifferenz zwischen dem gemessenen Wert eines Punktes und dem gemessenen Gravitationswert des Referenzpunktes wird gebildet:

$$\Delta y_n(t_k) = y_n(t_k) - y_1(t_1) + \epsilon = \Delta g_n + d(t_k - t_1) + \epsilon$$

Dann wird ein Gleichungssystem $\mathbf{y} = \mathbf{A}\mathbf{x}$ aufgebaut und nach den Unbekannten aufgelöst. Die Genauigkeit $\hat{\sigma}_{\Delta g}$, $\hat{\sigma}_{\Delta d}$ der geschätzten Gravitationsdifferenzen und der geschätzten Drift d werden mittels Fehlerfortpflanzung bestimmt werden. Im letzten Schritt haben wir die relative Gravitation auf unseren Referenzpunkt bezogen, der in der Ausgleichung als $g_r = 0$ definiert ist, und die absolute Gravitation ermittelt, die auch in Kapitel 4 gezeigt wird.

5.3.2. Simple Bouguer Anomalies

Die Bouguer-Anomalie korrigiert den gemessenen Schwerewert um die Anziehung des Geländes. Sie berücksichtigt die Masse zwischen dem Beobachtungsniveau und dem Meeresspiegel.

 $\Delta g_{sb} = g_{obs} - g_{fa} - g_{sb} - g_0$

 g_{obs} : gemessene absolute Schwerkraft

 g_0 : theoretische Schwerkraft,

g_{fa} : Freiluftkorrektur,

 g_{sb} : simple Bouger Korrektur.

Die theoretische Schwerkraft ist eine Funktion der ellipsoidischen Breite, die Korrektur von free air ist eine Funktion der Höhe über dem Meeresspiegel und die einfache Bouger-Korrektur nimmt die Masse über dem Meeresspiegel als homogene, unendlich ausgedehnte Platte, deren Anziehungskraft wie folgt beschrieben werden kann:

$$g_{sh} = 2\pi\gamma\rho h$$

 γ die normalen Schwerkraft, ρ die Dichte und h die Dicke der Platte. Mit einer typischen Krustendichte von 2670 kg·m⁻³ bekommen wir:

$$g_{_{sb}} = 0.1119 \times 10^{-5} h$$
 ,

 g_{sh} hat die Einheit Gal and h ist in cm

5.3.3. Probleme der Datenverarbeitung

Bei der Datenverarbeitung haben wir folgenden Probleme gefunden und am Ende diese gelöst.

1. Daten sollten in einem bestimmten Format wie in Abbildung 3

dargestellt bearbeitet werden.



Abbildung 3 Daten Format

- Alle Punkt-IDs und Zeilennummern von Gravitationsdaten und Felddatensätzen sollten übereinstimmen. Falls die Punkt-ID aus dem Instrument nicht mit der Punkt-ID in dem Felddatensatz übereinstimmt, sollten wir sie vor der Datenverarbeitung gleich bearbeiten.
- Und die 'PointID + line' in den Felddatensätzen und den Gravitationsdaten sollte gleich sein. 'Line' ist die Messsitzung eines Punktes.
- 4. Wenn keine absolute Gravitation gegeben ist, können die Bouguer-Anomalien nicht berechnet werden, nur die Differenz zu einem bestimmten Punkt wird angegeben. Daher ist es notwendig, die bekannte absolute Schwerkraft vom Referenzpunkt zu geben.
- 5. Wenn ein Punkt mehr als 9 Mal gemessen wird, wird das Programm der alten Version beendet, wenn Daten geladen werden. Für unsere Messung wurde der Punkt G1 13 Mal gemessen, so dass das Programm nicht funktioniert. Der Grund liegt darin, dass die PtIDLine auf diese Weise markiert ist:

```
dataset_CG5 = dataset({strcat(num2str(Sta-
tion'),'.',num2str(ObsLine')),'PtIDLine'}, ...
```

Figure 4 PtIDLine Mark (Alte Version)

So erhalten wir zum Beispiel für die 1. und 10. Messung vom Punkt 1 die PtIDLine '1.1' und '1.10'. Für MatLab wird es zu einer inkorrekten Beendigung führen (Fehler in der Funktion 'unique (PtIDLine)'). Deshalb haben wir den Code ein bisschen geändert, im roten Teil: dataset_CG5 = dataset{{strcat(num2str(Station'),'.',num2str(ObsLine', '%02d')}, 'PtIDLine'},

Figure 5 PtIDLine Mark (Neue Version)

Dann kann die größte Messsitzung 99 betragen.

5.4. Ergebnisse

Für die GNSS-Rover-Messung können wir die Positionsgenauigkeit bei 2 cm und die Höhenposition bei 3 cm erreichen. Wir wissen, dass die Schwerkraft stark mit der Höhe zusammenhängt. Die Abweichung von Höhe in 3cm Bereich führt weiter zu etwa 10 µGal Abweichung von der absoluten Schwerkraft.

5.4.1. Allgemeines Ergebnis

Die Abbildung 6 zeigt das Ergebnis der absoluten Schwerkraftpunkte. Der Bereich der absoluten Gravimetrie unterscheidet sich von 980762,75 mGal bis 980763,1 mGal. In diesem Fall können wir davon ausgehen, dass die Gravimetrie in unserem Zielgebiet glatt verläuft. Inzwischen können wir den allmählichen Rückgang von links nach rechts beobachten. Betrachtet man das Gelände des Flughafens, welches Neigung aufweist, gehen wir davon aus, dass dieser Trend hauptsächlich vom Höhenunterschied abhängt.


Figure 6 absolute Schwerkraft (Alle Messungen)

Außerdem haben wir die Bouguer-Anomalien unter Verwendung der obigen Formeln durchgeführt. Das Ergebnis ist in Fig. 7 gezeigt. Wie der Farbbalken zeigt, ist die Differenz der Anomalien kleiner als 1 mGal. Dies bedeutet, dass das gesamte Gebiet homogen ist und keine offensichtliche Anomalie aufweist. Das Bild zeigt auch eine Abnahme der Höhe vom links nach rechts, die der Abnahme der absoluten Gravimetrie entspricht.

Der Bereich von Streifen 6 zeigt was Besonderes. Der Punkt 511 zeigt einen abnormalen Charakter. Wenn wir uns die ursprünglichen Daten dieses Punktes ansehen, stellen wir fest, dass der Neigungsfehler des Instruments im Vergleich zu anderen Werten besonders groß ist. Wir nehmen an, dass diese Messung aus der Fehlmessung in der Feldarbeit resultiert. In der Mitte des gleichen Streifens können wir eine offensichtliche Zunahme der Schwerkraft sehen. Im linken Teil dieses Streifens zeigt sich eine fehlende Masse unter der Erde, die unter dem Feld ein Loch sein kann.



Figure 7 Simple Bouguer Anomalien (alle Messungen)

Beim Streifen 3 können wir eine besondere Zunahme zwischen den Streifen sehen. Der Grund dafür liegt wahrscheinlich in menschlicher Bewegung. Im nächsten Schritt des Post-Prozesses werden wir diesen Streifen löschen und das gleiche Verfahren in den zwei verschiedenen Perioden erneut durchführen.

5.4.2. Post Processing

Wir löschen den Streifen 3 und wiederholen das gleiche Verfahren. Wir können sehen, dass das Ergebnis jetzt glatter wird. Der Streifen 3 ist in der zweiten Woche gemessen und die Nachbarstreifen sind in der ersten Woche gemessen. Wir nehmen an, dass der abnormale Wert durch die Zeitvarianten verursacht werden kann. Außerdem haben wir das Verfahren in den zwei Wochen getrennt durchgeführt.



Figure 8 Simple Bouguer Anomalien (Ohne Streifen 3)



Figure 9 Simple Bouguer Anomalien (erste Woche)



Figure 10 Simple Bouguer Anomalien (zweite Woche)

Dann haben wir die Abbildung 9 mit Abbildung 10 verglichen. Wie Abbildung 9 zeigt, kann es sein, dass sich ein Loch beim Streifen 5 befindet. Aber von der Abbildung 10 sieht man keine offensichtliche fehlende Masse oder zusätzliche unterirdische Masse. In diesem Fall können wir nicht sicher auf die möglichen Löcher schließen. Zusammenfassend glauben wir, dass das abnormale Ergebnis mehr mit der linearen Drift, die aus der Zeitdifferenz resultiert, zusammenhängt. Ein zuverlässigeres Ergebnis erfordert mehr Messungen im selben Feld. Wir können Gitter in verschiedenen Richtungen anordnen, zum Beispiel orthogonale Richtung im nächsten Jahr, um ein stabiles Netzwerk zu erhalten und weiter zu analysieren.

5.5. References

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Gravimetry

[2] Blakely, R. J. (1995). Potential theory in gravity and magnetic applications. Potential theory in gravity and magnetic applications.

6. Kinematische Vermessung von Wegen

6.1. Einleitung

Die Grundidee des Arbeitspaketes 6 ist die integrierte Navigation mit dem System Applanix POS LV420 (Positionierungs- und Orientierungssystem für Landfahrzeuge). Desweiteren wird die Nachbearbeitungssoftware POSPac MMS für die Rohdatenverarbeitung benötigt.

6.1.1. Messgebiet



In diesem Arbeitspaket gibt es zwei Hauptaufgaben. Die erste besteht darin, die dreidimensionalen Routen der abgefahrenen Straßen und der Landebahnen in lokalen ETRS89-UTM-Koordinaten abzubilden. Danach werden diese mit dem DTM-Modell von WP10 verglichen.

6.2. Arbeitsablauf

6.2.1. Fahrtenplan

Während des Praktikums haben fünf Gruppen die Daten der Routen zu unterschiedlichen Zeiten gesammelt. Der in Tabelle 1 aufgelistete Ablaufplan zeigt den Start- und Endzeitpunkt sowie die Gesamtlänge der Fahrten jeder Gruppe an. *Tabelle 1: Ablaufplan mit Referenz zur GPS-Zeit*

Gruppe	Datum	Zeit z. Start	Zeit z. Ende	Länge Fahrt [m]
В	24.07.2018	11:27:59	12:00:06	2815.201
С	23.07.2018	12:13:02	13:04:45	9022.220
D	24.07.2018	08:20:08	09:09:39	3683.241
E	23.07.2018	10:41:37	11:15:02	6107.415
F	25.07.2018	08:07:52	08:41:39	8466.095

6.2.2. Messergebnisse



Abbildung 2: Ergebnis der Messungen

Wir haben fünf Teams, die unterschiedliche Teile des Flughafens vermessen. Die Routen aller Teams sind in Abb. 2 dargestellt. Der Ablaufplan kann in drei Teile unterteilt werden. Der erste Teil besteht darin, auf dem Landungsstreifen zu fahren (Gruppe B und D). Für Gruppe E und F besteht die Aufgabe darin, die Straßen am Flugplatz abzudecken. Der dritte Teil besteht darin, den Rand der Landebahn aufzunehmen (Gruppe C).

In Bild 3 f) ist ersichtlich, dass die Messungen aller Straßen in der Nähe des Flugplatzes Hülben, inklusive der kleinen Wege um die Landebahn herum, erfasst wurden. Somit erfüllen die Ergebnisse die Anforderung der Aufgabe dieses Arbeitspakets und können für die Nachbearbeitung verwendet werden.



a) Gruppe B



c) Gruppe C



e) Gruppe D



b) Gruppe E





f) Alle Gruppen kombiniert

Abbildung 3: Messergebnis jedes Teams

6.2.3. Nachbearbeitung

Es gibt zwei Programme, die für die Nachbearbeitung verwendet werden. Zunächst werden die Messergebnisse von fünf Teams separat mit POSPac MMS bearbeitet. Anschließend werden die dreidimensionalen Wege aller Teams in QGIS analysiert.

1) Vorverarbeitung mit POSPac MMS

Die Echtzeit-Strecke wird bereits während der Fahrt im System verarbeitet. Die Vorverarbeitung erfolgt direkt nach der Fahrt mit POSPac MMS im autonomous Modus ohne Referenzstation.

2) Referenzstation hinzufügen

Hier wird der GNSS-Punkt 105 als Referenzstation benutzt, um eine virtuelle Referenzstation (VRS) in SAPOS einzubinden.

3) Karte mit QGIS erstellen

Mit der Export-Datei aus POSPac MMS wird ein Projekt in QGIS erstellt, um die jeweiligen drei-dimensionalen Routen in eine verfügbare Karte einzulesen.

6.3. Ergebnisanalyse

Basierend auf unseren eigenen Messungen und dem DTM-Modell, das durch tachymetrische Vermessung sowie Koordinaten mehrerer bekannter Punkte modelliert wurde, gliedert sich unsere Ergebnisanalyse in zwei Teile.

6.3.1. Messresultate

Wir führen zunächst die Shapefiles der verschiedenen Gruppen zu einem Shapefile zusammen und exportieren die Gesamtgenauigkeitsanalyse (Ost, Nord und Höhe) dieses Ergebnisses.

Tabelle 2: Genauigkeitsanalyse

	Max [m]	Min [m]	Mittel [m]	Standardabweichung
Ost	0.240	0.007	0.016	0.026
Nord	0.328	0.008	0.019	0.035
Höhe	0.137	0.038	0.050	0.012

Außerdem kann die Genauigkeit für die Höhe, in einem Intervall von einem Meter, in den verschiedenen Abschnitten der Karte dargestellt werden. (Legende in Metern)



Abbildung 4: Genauigkeit der Höhe in den verschiedenen Abschnitten

In der obigen Abbildung 4 ist zu erkennen, dass der größte Teil der Routen eine Genauigkeit von weniger als 0,1 Meter hat, während für die Waldabschnitte die Genauigkeit von 0,1 Meter wegen schlechterer GPS-Signale überschritten wird.

6.3.2. Vergleich mit anderen Arbeitsgruppen

Da um den, vom Tachymeter bereits vermessenen Landungsstreifen einige weiße Landungssignale liegen, wählen wir zunächst 5 bis 10 Punkte in der Nähe der Landungssignale und berechnen deren mittlere Höhe. Diese kann anschließend mit den Höhen der bekannten Punkte verglichen werden.

Tabelle 3: Vergleich mit bekannten Punkten

Point	WP06 Höhe [m]	WP04 Höhe [m]	Differenz [m]
NP4	720.965	720.782	0.183
NP5	717.360	717.167	0.193
NP6	709.538	709.436	0.102

Danach kann das DTM Modell von WP10 interpoliert und anschließend mit den Punkten unserer Wege verglichen werden.



Abbildung 5: Verteilung der DTM-Punkte

Wir verwenden die Höhen unserer Messung zur Interpolation, um die neuen Datenpunkte zu konstruieren und die Differenz mit DTM zu vergleichen. Hierfür wird jedoch die Exportdatei von D2-Gruppe gelöscht, weil dort ein Instrumentenfehler vorliegt.



Abbildung 6: Höhenunterschiede mit dem interpolierten DTM-Modell

Der Mittelwert beträgt 0,162 m, die maximale Differenz 2,082 m. Wir können anhand von Abb. 6 feststellen, dass der größte Unterschied bei mehreren Dezimetern liegt, wobei einige Ausschläge größer als 1 Meter sind. Und wir können in der exportierten Datei erkennen, dass diese Ausschläge entweder am Anfang oder am Ende der Fahrt stattfinden. Daher können wir schlussfolgern, dass das System zu Beginn bzw. am Ende der Fahrt nicht so stabil ist. Angesichts der Tatsache, dass zwischen den bekannten Punkten auch ein Unterschied von 0,1-0,2 Metern besteht, kann man sagen, dass innerhalb dieser Messung ein systematischer Fehler auftritt. Dieser könnte durch das nicht präzise Messen des z-Hebelarms der Antenne verursacht worden sein.

7. Klassifikation der Landbedeckung auf der Grundlage von der Fernerkundung

7.1. Kurze Beschreibung der Feldarbeit

7.1.1. Vor der Feldarbeit

Vor der Feldarbeit war WP7 verantwortlich für die unüberwachten Klassifikation von ISODATA und K-Means auf dem Sentinal-2-Bild aus dem Bereich von Interesse. Wir haben die drei Bänder (B04 (Rot), B03 (Grün) und B02(Blau)) von den 13 verfügbaren Bändern ausgewählt. Die Ergebnisse werden im Ergebnis- und Diskussionsteil gezeigt und verglichen.

7.1.2. Während der Feldarbeit

Zwei Hauptaufgaben wurden während der Feldarbeit erledigt. Erstens beschäftigt sich WP7, die Bodenwahrheiten zu sammeln, um die Trainingsdaten (die zu einer überwachten Klassifikation für das Sentinel-2-Bild führen) zu definieren. Zuerst haben wir den Bereich in Google Earth überprüft, um die Texturen des Bereiches genau zu verstehen. Anschließend sind wir in definierte Bereiche (16 ausgewählte Bereich in Abbildung 1) gegangen, um die Bodenwahrheiten anhand von Fotos zu bestimmen.



Abbildung 1 Bereich von Interesse und ausgewählte Bereiche für Bodenwahrheiten¹

Die zweite Aufgabe bestand in der Aufnahme von Luftbildern über den Flughafen, der schon in der Abbildung 1 gezeigt hat. Die Flugkamera wurde für den Flug in 7 Flugstreifen eingesetzt, um fast 700 Fotos aufzunehmen. Aber in Realität gab es nur 2 Flugstreifen mit über 200 Bildern.

7.1.3. Nach der Feldarbeit (Post Processing)

In Nachbearbeitungsschritten wurden die überwachte Klassifikation über ENVI auf zwei Arten von Bildern, nämlich Sentinal-2-Bilder und Luftbilder durchgeführt. Vier Algorithmen wurden verwendet, darunter stehen Minimum Distance (MD), Maximum Likelihood (ML), Neural Net und Support Vector Machine (SVM)⁴. Für Sentinel-2-Bilder könnten die auf dem Bereich von Interesse gekriegte Bodenwahrheiten verwendet werden, um die Trainingsdaten vor der überwachten Klassifikation zu definieren (Abbildung 2). Fünf Bänder (B04 (Rot), B03 (Grün), B02 (Blau), B08 (Nahes Infrarot) und B011 (Schnee-, Eis, und Wolkenunterscheidung) und 6 Klassen (Abbildung 3) wurden verwendet. Wie bereits erwähnt, sollte eine unüberwachte Klassifikation vor der überwachten Klassifikation durchgeführt werden, weil das frühere Wissen fehlt (Bodenwahrheiten). Und wir könnten einige Informationen aus der unüberwachten Klassifikation nehmen, um vor der überwachten Klassifikation den Bereich von Interesse besser zu verstehen.



Abbildung 2 Trainingsdaten basierend auf der Bodenwahrheit³

Class	Color
Corn	Sienna
Wheat	Red
Forest	Green
Cross.	Sea
Ulass	Green
Road and Artificial Objects	Blue
Buildings	Magenta

Tabelle 1: 6 Klassen der überwachten Klassifikation für Sentinel-2-Bild

Für die Sequoia Bilder (aufgenommen von WP9) wurden einige Schritte unternommen, um die Klassifikation zu machen. Zunächst haben WP7 das Mosaik aller Fotos gemacht. Zweitens definierten wir 6 Klassen für Trainingsdaten und verwendeten Maximum-Likelihood-Algorithmus für überwachte Klassifikation⁵. Die Ergebnisse können später besprochen werden.



Abbildung 3 Mosaik (Orthophoto) aus Sequoia Bild

Class	Color
Grass	Green
Grass & Bare land	Red
Crops	Blue
Forests	Yellow
Roads	Cyan
Artificial Objects	Purple

Tabelle 2: 6 Klassen der überwachter Klassifikation für Luftbilder

7.2. Probleme und Lösungen

Erstens machte das Problem der Georeferenzierung der Sequoia-Bilder die Erstellung des Mosaiks auf ENVI sehr schwer. Dann haben wir Mosaik von Sequoia-Bilder bei der Software Pix4D gemacht.

Eine andere Schwierigkeit war, dass die verschiedenen Texturen wegen der niedrigen Auflösung der Fotos schwer zu erkennen sind. Die Verwendung von nur 5 Bändern mit niedriger Auflösung machte die Klassifikation für Sentinel-2-Bild nicht einfach. Drittens, wenn wir 13 Klassen für Sentinel-2-Bild haben, fällt es uns schwer zu klassifizieren. Um dieses Problem zu lösen, haben wir einige von ihnen zusammengeführt. Am Ende haben wir 6 Klassen für Sentinel-2-Bild. Viertens sind wir gezwungen, das Sentinel-2-Bild in Band B011 auf ENVI von 5940*5940 Pixeln auf 10980*10980 Pixeln zu skalieren, um dasselbe wie andere Bänder für die Klassifikation zu verwenden.

Schließlich ist es erwähnenswert, dass die erforderliche Zeit für die genauere Klassifikation. z.B. die Verarbeitung von Neural Net-Methode für Luftbilder war mehr als 4 Stunden oder in einigen Fällen kann ENVI nicht besser klassifizieren.

7.3. Datenaustausch

WP7 hat den gesamten Prozess unabhängig durchgeführt, außer dass wir die Luftbilder von WP9 bekamen. Die Luftbilder wurden von der Kamera Ricoh GXR mit Zeiss-Objektiv aufgenommen. Es hat nur drei Bänder: Rot, Grün und Blau.

7.4. Ergebnisse und Diskussionen

7.4.1. Sentinel-2 Bilder (unüberwacht)

Wir können die ISODATA-Methode verwenden, um mehr Klassen zu bekommen, aber es gibt mehr Fehler als K-Means. Dann verschmelzen wir einfach alle Klassen in 3 Klassen.



Abbildung 4 K-Means mit 3 Klassen Blau(Siedlung), Hellgrün (Vegetation) und Dunkelgrün(Wald)



Abbildung 5 K-Means mit 3 Klassen Lila(Siedlung), Hellgrün (Vegetation) und Dunkelgrün(Wald)

7.4.2. Sentinel-2 Bilder (überwacht)

Überwachte Klassifikation sind mit 6 Klassen in Tabelle 1 definiert.

Laut dem Vergleich können wir schlussfolgern, dass die beste Methode Neural Net ist, obwohl es so viel Zeit für die Verarbeitung benötigt. In einem gewissen Ausmaß ist es jedoch möglich, die Ergebnisse von Maximum Likelihood zu akzeptieren, da die erforderliche Zeit kürzer ist. Schließlich, je genauer die Bodenwahrheiten des Bereiches von Interesse als Trainingsdaten sind, desto besser ist die Qualität der Klassifikation.



Abbildung 6 Minimum Distance



Abbildung 8 Neutral Net



Abbildung 7 Maximum Likelihood



Abbildung 9 Support Vector Machine

Um die Konfusionsmatrix der überwachten Klassifikation zu berechnen, sollten wir neu Trainingsdaten definieren und die Matrix berechnen. Dies sollte besser so sein, da die Trainingsdaten, die für die Klassifikation verwendet werden, die Qualität der Klassifikation nicht genau berechnen können.

Tabelle 3: Konfusionsmatrix für die Neural Net-Methode mit berechneter Genauigkeiten von Hersteller und Benutzer

	Fore sts	Gra ss	Buildi ngs	Cor n	Whe at	Roads and Artificial Objects	Total (pix)	User's accuracy
Forests	1877 8	0	0	6	0	0	18784	99.97%
Grass	275	724	0	509	122	7	1637	44.23%
Buildings	0	0	114	0	0	7	121	94.21%
Corn	5	9	8	925	97	34	1076	85.97%
Wheat	0	0	5	34	434	1	474	91.56%
Roads and Artificial Objects	0	0	6	2	0	443	451	98.23%
Total (pix)	1905 8	733	133	1476	653	492		
Producer' s Accuracy	98.5 3%	98.7 7%	85.71 %	70.6 6%	66.4 6%	90.04%		Total: 93.5063%

Unsere Gesamtgenauigkeit beträgt 93,5063% und unsere Kappa beträgt 77,50%. Aus der Tabelle 4 können wir den Schluss ziehen, dass unser Ergebnis von guter Qualität ist. Gleichzeitig können wir sehen, dass die Genauigkeiten von Wäldern und Gebäuden sehr hoch sind, während die Genauigkeiten von Gras, Mais und Weizen niedriger sind, was auch unseren früheren Erwartungen entspricht.

Карра	Quality
< 0%	Very bad
0% - 20%	Bad
20% - 40%	Acceptable
40% - 60%	Good
60% - 80%	Very good
80% - 100%	Excellent

Tabelle 4: Kriterium zur Beurteilung der Klassifikationsergebnisse⁸

7.4.3. Luftbilder (überwacht)



Abbildung 10 Maximum Likelihood

Wir wählen die Bodenwahrheiten aus dem Bereich von Interesse und berechnen dann die Konfusionsmatrix. Die Gesamtgenauigkeit beträgt 80.4402% und Kappa ist 73.24%. Aus der Tabelle 4 können wir den Schluss ziehen, dass unser Ergebnis von guter Qualität ist.

Die Gründe, warum das Ergebnis nicht so perfekt ist, liegen im Folgenden.

- 1. Das Problem des Bildes: Verzerrung; Alias-Effekt; hohe Auflösung
- 2. Das Problem des Bereiches von Interesse
 - a) Die Rasenfläche könnte bereits früher als Weizenfläche gepflanzt worden sein.
 - b) Es gibt zu viele schattierte Bereiche
- Das Problem der Methode der Klassifikation: Neural Net und SVM Klassifikationen können nicht verwendet werden. (Absturz des Computers)

Wenn wir die Konfusionsmatrizen und Kappa-Werte aus Luftbildern und Sentinel-2-Bildern vergleichen, kommen wir zu dem Ergebnis, dass ENVI Satellitenbilder aufgrund der hohen Auflösung besser als Luftbilder zu klassifizieren sind.

Class	Grass	Grass & Bare land	Crops	Forests	Roads	Artificial Objects	Total	User's accuracy
Unclassified	31866	13906	13016	61411	9662	2924	132785	
Grass	490523	12486	257	105424	25	0	608715	80.58%
Grass & Bare land	23322	279740	9672	19227	18	0	331979	84.26%
Crops	3651	53559	150078	142	14	0	207444	72.35%
Forests	46276	9835	9672	735347	0	0	801130	91.79%
Roads	0	0	6	0	47370	34	47410	99.92%
Artificial Objects	22	2720	2704	315	216	35349	41326	85.54%
Total	595660	372246	185405	921866	57305	38307	2170789	
Producer's Accuracy	82.35%	75.15%	80.95%	79.77%	82.66%	92.28%		Total: 80.4402%

Tabelle 5: Konfusionsmatrix für Maximum Likelihood mit Luftbildern

7.4.4. Diskussionen

Sentinel-2 und Flugkamera liefern hilfreiche Daten und die Wahl der unterschiedlichen Auflösung von Bildern basiert auf unterschiedlichen Zwecken.

	G (1114)	Airborne
	Satellite imagery	imagery
Resolution	Low	High
Area	Large	Small
Accuracy	Low	High
Texture	Less	More
Shadow	Less	More
Cloud cover	Yes	No

Tabelle 6: Unterschiede zwischen Satellitenbildern und Luftbildern

Besonders für unsere Feldarbeit ist es sinnvoller, die Klassifikation mit Sentinel-2 Bildern vorzunehmen, um einen Überblick über die Verteilung von Wald, Mais, Weizen und Gras zu erhalten. Darüber hinaus können Sentinel-2 Bilder auch zur Klassifikation von Straßen, Gebäuden und anderen künstlichen Objekten verwendet werden.

Sequoia-Bilder haben höhere Auflösungen und drei viertel Bänder sind mit Rot zu tun, was bedeutet, dass die Sequoia Sensor besonders für Precision Farming geeignet ist. Außerdem ist die Sequoia Sensor wegen der Schatten nicht für die Klassifikation von Wäldern geeignet.

7.5. Referenzen

- 1. Copernicus Open Access Hub (2017). Open Hub. [online] Available at: https://scihub.copernicus.eu [Accessed Day 18. 05.2017].
- Wikipedia, (2017). Multispectral image. [online] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Multispectral_image [Accessed Day 13. 05.2017].
- 3. Copernicus Open Access Hub (2017). Open Hub. [online] Available at: https://scihub.copernicus.eu [Accessed Day 18. 05.2017].
- 4. Digital Image Processing, By Bernd Jähne
- Sunitha, A., Suresh Babu, G., (2015). Satellite Image Classification Methods and Techniques: A Review. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), [online] Volume (119), p. 22. Available at: http://research.ijcaonline.org/volume119/number8/pxc3903779.pdf [Accessed Day 13. 05.2017].
- 6. Pasternak & Pfeiffer, Universität Stuttgart, Institut für Navigation, 2015. *Skript Fernerkundung 1. S.16.*
- Canada Centre of Remote Sensing, 2015. Fundamentals of Remote Sensing: Image Analysis. Available on: http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imageryair-photos/satellite-imagery-products/educational-resources/9309 Acceded on 20.05.2016.
- HARRIS Geospatial Solutions, 2016. *Classification Tools*. Available on: https://www.harrisgeospatial.com/docs/ClassificationTools.html Acceded on 29.6.2016.
- 9. https://www.kdnuggets.com/2016/07/
- 10. https://www.techopedia.com/definition/5967
- 11. https://en.wikipedia.org/wiki
- 12. ArcGIS for desktop http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/
- 13. 50° North organization http://www.50northspatial.org

8. 3D-Objekt-Rekonstruktion mit Nahbereichsphotogrammetrie und Terrestrisches Laserscanning

8.1. Einleitung

Ziel dieses Arbeitspakets ist es, ein dreidimensionales Modell des Hangars und des Flugzeugs zu erstellen. Dies ist zu sehen in Abbildung 1 und 2. Während der Feldarbeit wurden zwei Methoden zur Punktwolkenerfassung implementiert. Erstens, indem man Bilder von Objekten mit der UAV-Kamera und der Ricoh GXR-Kamera aufnimmt. Zweitens, durch Scannen der Objekte mit Leica P20 Laserscanner. Später werden die Daten mit der Software PhotoScan und Cyclone separat verarbeitet. Es erfolgt Georeferenzierung und Vermaschung in beiden Software. Danach werden die dreidimensionalen Modelle von den Objekten erzeugt. Die unterschiedlichen Ergebnisse der beiden Vorgehensweisen werden mithilfe der Software CloudCompare verglichen.



Abb. 1: Hangar



Abb. 2: Flugzeug

8.2. Hangar

8.2.1. PhotoScan

Die Bilder der Drohne sind die wichtigste Datenquelle für die Erstellung des kompletten Modells, da nur in diesen die Dachfläche des Hangars sichtbar ist. Außerdem werden das umgebenden Grasland erhalten und die Bindepunkte bietet, mithilfe dessen wir unser Ergebnis mit dem von der Arbeitsgruppe 9 kombinieren können.



Abb. 3: Punktwolke des Hangars

Die dichten Punktwolken repräsentieren den Hangar und die Umgebung. Die an der Wand klebenden Ziele sind ebenfalls sichtbar. Allerdings treten zwei Probleme auf. Das erste besteht darin, dass wir die Innenansicht des Hangars wegen fehlender Bilder nicht rekonstruieren können und das zweite, dass für die hintere Seite des Hangars keine Punktwolke erzeugt werden kann aufgrund der Bäume.



Abb. 4: Texturmodell

Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projection
2 P P1	529381.720000	5375110.586000	719.527700	0.005000	0.065616	10
2 P2	529423.180000	5375114.583000	721.059200	0.005000	0.036756	11
2 🏴 P3	529426.890000	5375114.948000	720.365900	0.005000	0.030230	10
2 🏴 P4	529428.330000	5375104.525000	720.217600	0.005000	0.025399	8
2 P P5	529429.630000	5375110.125000	719.575500	0.005000	0.008258	9
2 P P6	529428.910000	5375100.357000	720.773200	0.005000	0.039223	10
2 P13	529389.580000	5375111.218000	720.881400	0.005000	0.009930	10
2 P P14	529396.100000	5375111.864000	720.545000	0.005000	0.040470	10
Total Error					120000000000	
Control point	s				0.036329	
Charles and the						

Abb. 5: Zielfehler



Abb 6: Fehler der Kontrollpunkte

Der durchschnittliche Fehler der Kontrollpunkte beträgt 3,6 cm, der maximale 6,6 cm (P1) und der minimale 0,99 cm (P13). Wenn die Ziele mit einem Tachymeter mit einer Genauigkeit von 0,5 cm gemessen werden, haben alle Punkte einen ziemlich großen Fehler. Der Grund dafür könnte die Konstruktion einer dichten Punktwolke, die eine viel geringere Genauigkeit als das Tachymeter hat, sein. Dies beeinflusst die Position des Ziels. Ein anderer Grund wären die Fehler, die vom Operator verursacht werden. Wenn die Marker manuell platziert werden, führt dies immer zu Ungenauigkeiten. Außerdem wird die Genauigkeit von den Verzerrungen der Bilder und der ungenauen Kalibrierung der Kamera beeinflusst.



Abb. 7: Abweichung für FC330(3.61mm)

8.2.2. Cyclone

Aufgrund der Höhenbegrenzung des terrestrischen Laserscanners wird die Erstellung der Dachpunktwolken eingeschränkt. Daher können wir nur die Punktwolken der Fassade und des inneren Teils des Hangars erhalten.



Abb. 8: Punktwolke des Hangars (skalar)



Abb. 9: Außenseite des Hangars (RGB)



Abb. 10: Innenseite des Hangars (RGB)

Nach dem Erfassen der Punktwolken im Feld besteht der erste Schritt der Nachbearbeitung darin, die Punktewolken, die von verschiedenen Stationen gescannt wurden, zu registrieren. Dies wird mit der Software Cyclone gemacht und kann nur dann automatisch erfolgen, wenn die Überlappung der Punktwolken über 80% ist. Um dies zu ermöglichen und wegen der Geometrie des Hangars benötigen wir schwarz-weiße Ziele, die auf der Fassade des Hangars platziert werden. Außerdem werden Sphärenziele innerhalb und außerhalb des Hangars platziert. Diese werden für die Verknüpfung der verschiedenen Stationsansichten gebraucht.



Abb. 11: Skizze der Ziele

Tabelle 1: Koordinaten der Kontrollpunkte

Target ID	Easting	Northing	Height
P1	32529381.7151	5375110.5861	719.5277
P2	32529423.1794	5375114.5825	721.0592
P3	32529426.8892	5375114.9483	720.3659
P4	32529428.3272	5375104.5245	720.2176
P5	32529429.6342	5375110.1246	719.5755
P6	32529428.9110	5375100.3569	720.7732
P13	32529389.5778	5375111.2180	720.8814
P14	32529396.1038	5375111.8636	720.5450

Nach Registrierung und Georeferenzierung wird eine *mm*-Genauigkeit für die Ziele erreicht. Dies ist in der Tabelle auf der nächsten Seite zu sehen.

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Туре	Status	Weight	Error	Error Vector
sec to1	Station-001: S	Station-002: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.003 m	(0.002, 0.002, -0.001) m
⇒c tp3	Station-001: S	Station-002: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.002 m	(0.000, 0.002, -0.001) m
⊯⊆ tp4	Station-001: S	Station-002: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.001 m	(0.000, -0.001, 0.000) m
⊯C to7	Station-001: S	Station-002: S	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.000, -0.003, 0.002) m
≫€ tp1	Station-001: S	Station-003: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.002 m	(0.002, -0.001, -0.002) m
≫€ tp1	Station-002: S	Station-003: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.003 m	(-0.001, -0.003, -0.001) m
≫€ tp2	Station-001: S	Station-003: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.006 m	(0.002, 0.005, -0.001) m
≫ € tp3	Station-001: S	Station-003: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.003 m	(-0.003, 0.002, 0.000) m
≫ € tp3	Station-002: S	Station-003: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.003 m	(-0.003, 0.000, 0.001) m
≫ tp4	Station-001: S	Station-003: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.004 m	(-0.001, 0.004, 0.001) m
≫ € tp4	Station-002: S	Station-003: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.005 m	(-0.001, 0.005, 0.001) m
💓 tp5	Station-002: S	Station-003: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.006 m	(-0.004, 0.005, 0.001) m
🗯 tp6	Station-002: S	Station-003: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.004 m	(0.004, -0.001, 0.000) m
🗯 tp7	Station-001: S	Station-003: S	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.007 m	(0.002, -0.007, 0.001) m
🗯 tp7	Station-002: S	Station-003: S	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.005 m	(0.003, -0.004, -0.001) m
🗯 tp3	Station-001: S	Station-004: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.003 m	(-0.003, -0.002, -0.001) m
🗯 tp3	Station-002: S	Station-004: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.004 m	(-0.002, -0.004, 0.000) m
🗯 tp3	Station-003: S	Station-004: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.004 m	(0.000, -0.004, -0.001) m
🗯 tp6	Station-002: S	Station-004: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.004 m	(0.003, 0.002, -0.001) m
≫⊂ tp6	Station-003: S	Station-004: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.003 m	(-0.002, 0.002, -0.002) m
🗯 p2	Station-001: S	Station-005: S	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(-0.001, -0.002, 0.000) m
🗯 p4	Station-004: S	Station-005: S	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.005 m	(0.000, -0.004, 0.002) m
🗯 p5	Station-004: S	Station-005: S	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.006 m	(-0.001, 0.002, -0.006) m
🗯 tp1	Station-001: S	Station-005: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.003 m	(-0.001, 0.003, 0.001) m
🗯 tp1	Station-002: S	Station-005: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.004 m	(-0.003, 0.001, 0.002) m
🗯 tp1	Station-003: S	Station-005: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.005 m	(-0.003, 0.004, 0.003) m
🗯 tp2	Station-001: S	Station-005: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.009 m	(0.002, 0.009, 0.001) m
🗯 tp2	Station-003: S	Station-005: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.004 m	(0.000, 0.003, 0.001) m
🗯 tp3	Station-001: S	Station-005: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.004 m	(0.001, -0.003, -0.003) m
🗯 tp3	Station-002: S	Station-005: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.005 m	(0.001, -0.005, -0.002) m
≫≪ tp3	Station-003: S	Station-005: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.006 m	(0.003, -0.005, -0.003) m
🗯 tp3	Station-004: S	Station-005: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.004 m	(0.003, -0.001, -0.002) m
🗯 tp6	Station-002: S	Station-005: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.004 m	(0.003, 0.001, 0.002) m
🗯 tp6	Station-003: S	Station-005: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.003 m	(-0.001, 0.002, 0.002) m
🗯 tp6	Station-004: S	Station-005: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.003 m	(0.000, -0.001, 0.003) m
💓 p1	Station-001: S	Station-006: S	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.016 m	(-0.013, -0.008, 0.003) m
🗯 tp1	Station-001: S	Station-006: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.005 m	(0.004, 0.003, -0.001) m
🗯 tp1	Station-002: S	Station-006: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.002 m	(0.002, 0.001, 0.000) m
🗯 tp1	Station-003: S	Station-006: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.005 m	(0.002, 0.004, 0.000) m
🗯 tp1	Station-005: S	Station-006: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.005 m	(0.005, 0.000, -0.002) m

Tabelle 2: Fehler der Verknüpfung

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Туре	Status	Weight	Ептог	Error Vector
🗯 p14	Station-001: S	control point (L	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.003, -0.002, 0.001) m
🗯 рб	Station-005: S	control point (L	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.001, 0.001, 0.000) m
🗯 p5	Station-005: S	control point (L	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.005 m	(-0.004, -0.001, 0.000) m
🗯 p5	Station-004: S	control point (L	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.008 m	(-0.005, 0.000, -0.006) m
≫ € p4	Station-005: S	control point (L	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(-0.001, 0.003, 0.002) m
🗯 p4	Station-004: S	control point (L	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(-0.002, -0.001, 0.004) m
жс р3	Station-001: S	control point (L	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.001, -0.002, 0.000) m
🗯 p2	Station-005: S	control point (L	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.004, 0.002, 0.000) m
🗯 p2	Station-001: S	control point (L	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.003, 0.000, 0.000) m

Tabelle 3: Zielfehler

Bei dem Export von Punktwolken ist sicherzustellen, dass auch die Normalen der Punktwolken exportiert werden. Die Normalen sind für die Vermaschung erforderlich. Nach dem Import der georeferenzierten Punktwolken in die Software Cloud Compare kann ein 3D-Modell mithilfe der Poisson-Oberflächenrekonstruktion erstellt werden.



Abb. 12: Masche des Hangars

Das 3D-Modell, welches durch die Punktwolke des Laserscanners entstanden ist, hat eine bessere Genauigkeit. Allerdings ist die Dachfläche in diesem nicht enthalten. Deswegen werden die Punktwolken des Hangardachs von Photoscan mit den Punktwolken aus dem Laserscanning kombiniert. Nach Berechnung der Normalen kann ein integriertes Modell durch Poisson Surface Reconstruction erzeugt werden.



Abb. 13: Integration der Punktwolken



Abb. 14: Integration der Hangarmasche

8.3. Flugzeug

8.3.1. PhotoScan



Abb 15: Flugzeug (dichte Punktwolke)



Abb. 16: Flugzeug (Texturmodell)

Wie man in den obigen Bildern sehen kann, können die Flügel nicht generiert werden. Das liegt daran, dass diese glatt und glänzend sind und die Software kann keine Verknüpfungspunkte erzeugen. Dieses Problem kann gelöst werden, indem einige Ziele auf Flügel gesetzt werden.

8.3.2. Cyclone



Abb 17: Punktwolke des Flugzeugs

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Туре	Status	Weight	Error	Error Vector	Group Error	Group Error Vector	Group
🗯 tp1	Station-001: S	Station-002: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.006 m	(0.001, -0.005, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
💓 tp1	Station-002: S	Station-003: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.004 m	(-0.004, 0.002, -0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
🗯 tp1	Station-001: S	Station-003: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.005 m	(-0.002, -0.004, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
🗯 tp2	Station-003: S	Station-004: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.011 m	(0.010, 0.004, 0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
🗯 tp3	Station-001: S	Station-003: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.004 m	(-0.004, -0.002, -0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
🗯 tp3	Station-001: S	Station-004: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.008 m	(-0.006, 0.005, -0.002) m	n/a	n/a	Ungrouped
⊯C tp3	Station-003: S	Station-004: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.007 m	(-0.002, 0.007, -0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
🗯 tp4	Station-001: S	Station-002: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.005 m	(-0.005, 0.001, 0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
🗯 tp4	Station-002: S	Station-004: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.003 m	(0.000, 0.003, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
🗯 tp4	Station-001: S	Station-004: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.007 m	(-0.006, 0.004, 0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
🗯 tp5	Station-001: S	Station-002: S	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.004, 0.004, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
🗯 tp5	Station-002: S	Station-003: S	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.001, -0.001, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
🗯 tp5	Station-001: S	Station-003: S	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.005, 0.003, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
🗯 tp5	Station-003: S	Station-004: S	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.008 m	(-0.005, -0.006, 0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
🗯 tp5	Station-002: S	Station-004: S	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.008 m	(-0.004, -0.007, 0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
🗯 tp5	Station-001: S	Station-004: S	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.000, -0.003, 0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
🗯 tp6	Station-001: S	Station-002: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.005 m	(-0.001, -0.005, 0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
🗯 tp6	Station-001: S	Station-004: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.003 m	(-0.001, -0.003, 0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
🗯 tp6	Station-002: S	Station-004: S	Coincident: Sphere - Sphere	On	1.0000	0.002 m	(0.000, 0.002, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
🗯 tp7	Station-001: S	Station-002: S	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.002, 0.002, -0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
🗯 tp7	Station-002: S	Station-003: S	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.003, 0.001, 0.002) m	n/a	n/a	Ungrouped
🗯 tp7	Station-001: S	Station-003: S	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.005, 0.003, 0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
🗯 tp7	Station-003: S	Station-004: S	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.002, -0.003, -0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
🗯 tp7	Station-001: S	Station-004: S	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.007 m	(0.007, 0.000, -0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
≫ € tp7	Station-002: S	Station-004: S	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.005 m	(0.005, -0.002, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped

Tabelle 4: Verküpfungsfehler der Punktwolke

Wie man in der obigen Tabelle erkennen kann, ist das Ergebnis von dem Laserscanner genauer als das photogrammetrische. Es ist noch zu sehen, dass der Umriss des Flugzeugs viel schärfer dargestellt wird und dass die Flugzeugflügel generiert wurden. Ergo ist das Laserscanning in Fällen von homogener Flächen besser als die Photogrammetrie.



Abb. 18: Masche des Flugzeugs

8.4. Diskussion

- 8.4.1. Herausforderungen
- 1. Transformation der Koordinaten (PhotoScan)

Es ist sehr wichtig für die Datenverarbeitung, dass das Koordinatensystem einheitlich bleibt. Allerdings ist das Koordinatensystem, welches von der Drohne verwendet wird, WGS84 und die Koordinaten der Ziele, welche mit dem Tachymeter gemessen wurden, werden in UTM32 dargestellt. Das heißt, dass eine Koordinatentransformation der Bilder nötig ist.

Dies erfolgt in PhotoScan durch einen Klick auf "Convert" in dem Referenzfeld. Danach wird das gewünschte Koordinatensystem gewählt.

Convert Reference	×
Coordinate System	
ETRS89 / UTM zone 32N (E	PSG::25832) 🔻
Rotation angles:	Yaw, Pitch, Roll 🔻
Items	
Cameras	Markers
	OK Cancel

Abb. 19: Transformation der Koordinaten

2. Genauigkeit der Marker (PhotoScan)

Normalerweise können die Marker wie folgend platziert werden: Daten importieren → Marker platzieren → Markerposition in jedem Bild ändern. Manchmal ist die Genauigkeit dieser Vorgehensweise nicht ausreichend. In unserem Fall erreicht der durchschnittliche Fehler Werte bis zu 40 cm, was nicht akzeptabel ist.

Um die Genauigkeit zu verbessern müssen wir anders vorgehen: Marker erkennen \rightarrow Marker anpassen \rightarrow Daten importieren \rightarrow Markerposition manuell ändern. In diesem Fall beträgt der durchschnittliche Fehler einen Wert von 3 cm.

Der Hauptgrund für einen so großen Unterschied liegt darin, dass bei der ersten Methode nur drei Kontrollpunkte für die Ausgleichung verwendet werden und diese manuell platziert wurden, was zu Fehlern führen kann, wenn die Qualität des Netzes nicht hoch genug ist. Bei der zweiten Methode werden alle von der Software erkannten Marker für die Ausgleichung verwendet.

3. Tragfläche (PhotoScan)

Die Flugzeugflügel können nicht generiert werden, weil diese unter dem Sonnenlicht glatt und glänzend sind und die Software kann keine Verknüpfungspunkte erkennen. Dies kann verbessert werden, indem einige Ziele auf die Flügel gesetzt werden. 4. Innenseite des Hangars (PhotoScan)

Es ist schwierig, die Fotos der Innen- und Außenseite des Hangars gleichzeitig zu kombinieren, da die Anzahl der Verknüpfungspunkte nicht ausreichend ist. Man kann allerdings separate Modelle erstellen und dann diese im selben Koordinatensystem registrieren. In unserem Fall gibt es keine Kontrollpunkte innerhalb des Hangars. Daher ist die Verbindung die beiden Modelle in CloudCompare erforderlich. Allerdings haben beide Modelle zu wenig Gemeinsamkeiten.

5. Höhenbeschränkung des Laserscanners (Cyclone)

Aufgrund der Höhenbegrenzung des terrestrischen Laserscanners besteht eine Einschränkung beim Erfassen der Punktwolken des Dachs. Daher können wir nur die Punktwolken der Fassade und des inneren Teils des Hangars erhalten.

6. Vermaschung mit CloudCompare (Cyclone)

Poisson-Oberflächenrekonstruktion erfordert die Berechnung der Normalen. In der Software Cyclone ist es möglich, die Punktwolken im ptx-Format zu exportieren, um die Informationen der Scan-Stations für die Punktwolkensätze zu erhalten. Diese Information spielt eine sehr wichtige Rolle für die Berechnung der Normalen. Wenn die Informationen beim Export der Punktwolken nicht verloren gehen, können Scan-Rastern verwendet werden (siehe Abb. 20). Mithilfe dessen können wir eine höhere Genauigkeit für die Normalen und das Modell erreichen (siehe Abb. 21).

Nieghbors				
🔘 use :	scan grid(s) wher	iever possible	ker	nel size 2 🖨
Ouse	octree	radius 0.3	281046	\$ Auto
✓ Orientatio	n			
Use	scan grid(s) wher	never possible		
🔘 Use	preferred orienta	tion	+Z	7
🔿 Use	Minimum Spannin	g Tree		knn = 6 🌲

Abb. 20: Berechnung der Normalen



Abb. 21: Vergleich

8.4.2. Vergleich der beiden Methoden



Abb. 22: CloudCompare



Abb. 23: Punktwolkendifferenz

Der Differenz für den Hangar beträgt 5 cm (blauer Teil) und für einen Teil des Dachs 50 cm (grün), weil das Dachmodell nicht Cyclone erstellt wurde.

Insgesamt ist das Ergebnis von dem Laserscanning viel genauer und ist in manchen Fällen (vgl. Tragfläche, Innenseite des Hangars) besser als die Structure-from-Motion Methode. Die Photogrammetrie hat jedoch auch ihre Vorteile. Mit Hilfe von Drohnen haben wir mehr Freiheit. Wir können Fotos in vielen verschiedenen Perspektiven aufnehmen (vgl. Dach des Hangars). Manche Stellen sind für den Laserscanner schwer zu erreichen. Außerdem sind die Farbe und die Textur des Objekts realistischer, was zu einer besseren Rekonstruktion des Objektes führt.
9. 3D Objektrekonstruktion durch UAS-Photogrammetrie

9.1. Einleitung

Arbeitspaket (WP) 9 zielt darauf ab, ein 3D-Modell des Flugplatzes Hülben (insbesondere Hangar und Landebahnen) mit unbemannten Flugzeugsystemen (sogenannten UAS) zu generieren. Das digitale Oberflächenmodell (DSM) und das digitale Geländemodell (DTM) können vom LGL (Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung BW) bezogen werden; diese wurden durch LiDAR-Flüge bereits im Jahr 2002 erstellt. Deshalb wollen wir mit unseren AUS-Flügen ein neueres und auch dichteres Oberflächenmodell erstellen. Hierfür werden aktuelle Bilder aufgenommen, aus welchen wir eine dichte Punktwolke ableiten und 3D-Modelle generieren können. Die Modelle des LGL gelten Referenz für die weitere Datenanalyse.

9.2. Workflow

Die folgende Abbildung 2.1 zeigt den gesamten Workflow unseres WP. Bevor die Drohnenbefliegung starten konnten, wurden verfügbare UAS-Plattformen und Kamerasysteme ermittelt sowie Flugpläne mit der Software "IGI Plan" erstellt. Auch wurde eine Skizze der Verteilung der Kontrollpunkte erstellt, welche dann im Feld signalisiert wurden.

Zur Befliegung haben wir den "Haala Copter" als UAS-Plattform und als Kameras eine Ricoh GXR-Kamera und SEQUOIA-Kamera gewählt, mit welchen die Luftbilder erfasst werden sollen. Abschließend haben wir diese Bilder mit "Agisoft photoscan" verarbeitet, um ein DEM und Orthomosaik zu generieren. Die Analyse wurde in "ArcGIS" durchgeführt.



Abbildung 2.1: Flussdiagramm des Workflows

9.3. Kontrollpunkte

Abbildung 3.1 zeigt die geplante Verteilung der GCPs. Sie sind gleichmäßig über das Zielgebiet verteilt.



Abbildung 3.1.: Geplante Verteilung der Kontrollpunkte

Abbildung 3.2 zeigt die tatsächliche Verteilung. Die GCPs werden auf

unterschiedliche Art und Weise signalisiert, siehe dazu die Legende der Abbildung,



Checker Board Plate Runway
Checker Board Taped

Checker Board Plate Pole
Checker Board Sticker Roof

Abbildung 3.2.: Tatsächliche Verteilung der Kontrollpunkte

Im Folgenden werden die verwendeten Marker dargestellt.



(a) Schachbrettsignalisierung







(c) Dreiecksignalisierung (gedruckt) (d) Dreiecksignalisierung (Klebeband) Abbildung 3.3: Unterschiedliche Signalisierungen

Leider wurde GCP P20 nicht ausreichend fixiert und deshalb zerstört. Dieser Punkt kann daher nicht für die Georeferenzierung verwendet werden.



Abbildung 3.4.: Zerstörter GCP P20

9.4. Datenverarbeitung

Wie geplant wurden zwei Bildblöcke aufgenommen: Einer deckt das gesamte Gebiet ab, der andere konzentriert sich auf den zentralen Teil (Gebäude eingeschlossen), sodass ein Kreuzmuster durch beide Blöcke entsteht. Die mittlere Geschwindigkeit der Drohne betrug 6-8 m/s. 7 Streifen und 799 Bilder wurden im größeren Block aufgenommen., 7 Streifen und 230 Bilder im kleineren.

Zunächst wurden alle Bilder in "Agisoft Photoscan" geladen und eine sehr grobe Ausrichtung durchgeführt. Anschließend wurden nutzlose Bilder an den Enden der Streifen sowie die, die geschossen wurden, als die Drohne abhob und landete, manuell gelöscht. Nun konnten die signalisierten Punkte gemessen werden. Die Koordinatenliste wurde von WP4 zur Verfügung gestellt. Die horizontalen Koordinaten wurden durch Tachymetermessung, die Höhen durch Nivellement gemessen.

np9	529696.22398	5375191.92641	725.58195
np6	529185.08421	5375210.13961	709.43650
np5	529392.00979	5375256.95379	717.16666
np4	529488.03795	5375244.89817	720.78232
np1	529520.42872	5375124.43502	720.14831
np2	529311.38002	5375146.22175	715.22300
P1	529703.57681	5375144.45138	725.15378
P2	529686.33227	5375234.58180	725.89712
P3	529665.10003	5375193.76036	725.01123
P4	529585.63217	5375200.29472	723.18929
P5	529586.17131	5375233.18413	723.67237
P7	529537.04217	5375239.17745	722.29154
P6	529535.62526	5375197.86108	722.10317
P22	529412.36195	5375134.81618	718.57605
P23	529437.29265	5375111.60710	718.63878
P21	529386.19655	5375124.34553	720.31035
P24	529462.15393	5375130.13411	719.61458
P8	529435.66599	5375192.97712	718.90583
P9	529336.30168	5375188.07345	715.16868
P20	529318.81011	5375119.68665	715.47392
P11	529311.53142	5375263.91725	712.93962
P10	529308.29122	5375237.57707	713.31274
P13	529236.80967	5375183.35689	711.32104
P12	529235.68779	5375212.20476	710.88752
P14	529184.76401	5375150.13401	710.20524
P16	529136.68923	5375178.39342	709.07100
P17	529135.31717	5375208.03040	708.68028
P19	529035.92612	5375203.15345	708.78953
P18	529037.19119	5375173.84404	709.23475
P15	529168.83022	5375262.44924	705.95656

Abbildung 4.1.: Koordinaten der GCPs

Allgemein ist die Schachbrettmarkierung am besten sichtbar. 20*20 cm² bedeutet 10*10 Pixel im Bild, womit der Mittelpunkt des Brettes leichter und genauer bestimmt werden kann. Manche der geklebten Schachbrettsignalisierungen sind gut sichtbar, manche dagegen nicht, da die darunterliegenden Steine eine ähnliche Farbe haben. Am schlechtesten zu sehen waren die geklebten Dreiecke. Durch die doch begrenze Auflösung ist es sehr schwer, hier die Punkte korrekt und genau zu treffen. Für diese Markierungen sind wir auf die automatischen Messungen angewiesen.



Abbildung 4.2 zeigt beispielhaft die Sichtbarkeit der einzelnen Markierungen

Abbildung 4.2 Sichtbarkeit der Markierungen

Nachdem alle GCPs gemessen und bestimmt wurden, wurden die Bildblöcke mit hoher Qualität neu angeordnet und eine Kamerakalibrierung wurde durchgeführt. Jetzt konnten die ausgerichteten Bildblöcke und die spärliche Punktwolke erzeugt werden.



Abbildung 4.3: Blockkonfiguration



Abbildung 4.4: (Dünne) Punktwolke

Der Rest der Kontrollpunkte musste ebenfalls überprüft werden. In einem ersten Versuch wurden alle Punkte als Kontrollpunkte gewählt, was einen sehr hohen Fehler von 26 cm ergab.

Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)
🗹 Þ P10	529308.291220	5375237.577070	713.312740	0.005000	0.224919
🗹 Þ P11	529311.531420	5375263.917250	712.939620	0.005000	0.242738
🗹 Þ P12	529235.687790	5375212.204760	710.887520	0.005000	0.047610
🗹 Þ P13	529236.809670	5375183.356890	711.321040	0.005000	0.075480
🗹 Þ P14	529184.764010	5375150.134010	710.205240	0.005000	0.268316
🗹 Þ P15	529168.830220	5375262.449240	705.956560	0.005000	0.194201
🗹 Þ P16	529136.689230	5375178.393420	709.071000	0.005000	0.318258
🗹 Þ P17	529135.317170	5375208.030400	708.680280	0.005000	0.291318
🗹 Þ P18	529037.191190	5375173.844040	709.234750	0.005000	0.821821
🗹 Þ P19	529035.926120	5375203.153450	708.789530	0.005000	0.465608
🗌 Þ P20	529318.810110	5375119.686650	715.473920	0.005000	
🗹 Þ P21	529386.196550	5375124.345530	720.310350	0.005000	0.112589
🗹 Þ P22	529412.361950	5375134.816180	718.576050	0.005000	0.239665
🗹 Þ P23	529437.292650	5375111.607100	718.638780	0.005000	0.135067
🗹 Þ P24	529462.153930	5375130.134110	719.614580	0.005000	0.234961
🗹 Þ np1	529520.428720	5375124.435020	720.148310	0.005000	0.230376
🗹 Þ np2	529311.380020	5375146.221750	715.223000	0.005000	0.068041
🗹 Þ np4	529488.037950	5375244.898170	720.782320	0.005000	0.251814
🗹 Þ np5	529392.009790	5375256.953790	717.166660	0.005000	0.234310
🗹 Þ прб	529185.084210	5375210.139610	709.436500	0.005000	0.148540
🗹 Þ np9	529696.223980	5375191.926410	725.581950	0.005000	0.189177
Total Error					
Control points					0.261986
Check points					

Abbildung 4.5: Alle Punkte als Kontrollpunkte

Um die Abweichungen zu reduzieren wurden einige Punkte mit größeren Fehlern als sogenannte Checkpoints betrachtet. Diese sind von der Ausgleichung ausgeschlossen. Eine erneute Kameraausrichtung wurde durchgeführt, womit sich die Abweichung verringerte, welche nun 4,6 cm betrug.

Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)
🗆 Þ P20	529318.810110	5375119.686650	715.473920	0.010000	
🗹 Þ P4	529585.632170	5375200.294720	723.189290	0.010000	0.006091
🗹 Þ P10	529308.291220	5375237.577070	713.312740	0.010000	0.011739
🗹 🏴 P11	529311.531420	5375263.917250	712.939620	0.010000	0.024603
🗹 P P1	529703.576810	5375144.451380	725.153780	0.010000	0.032680
🗹 Þ P7	529537.042170	5375239.177450	722.291540	0.010000	0.033959
🗹 Þ np2	529311.380020	5375146.221750	715.223000	0.010000	0.034482
🗹 🏴 P16	529136.689230	5375178.393420	709.071000	0.010000	0.034504
🗹 Þ Р5	529586.171310	5375233.184130	723.672370	0.010000	0.039600
🗹 Þ P21	529386.196550	5375124.345530	720.310350	0.010000	0.041612
🗹 Þ РЗ	529665.100030	5375193.760360	725.011230	0.010000	0.042518
🗹 Þ Рб	529535.625260	5375197.861080	722.103170	0.010000	0.043618
🗹 Þ P8	529435.665990	5375192.977120	718.905830	0.010000	0.046771
🗹 Þ P17	529135.317170	5375208.030400	708.680280	0.010000	0.047538
🗹 Þ Р9	529336.301680	5375188.073450	715.168680	0.010000	0.049250
🗹 Þ P14	529184.764010	5375150.134010	710.205240	0.010000	0.049724
🗹 Þ P24	529462.153930	5375130.134110	719.614580	0.010000	0.049825
🗹 Þ np9	529696.223980	5375191.926410	725.581950	0.010000	0.051037
🗹 P np4	529488.037950	5375244.898170	720.782320	0.010000	0.052421
🗹 🏴 P15	529168.830220	5375262.449240	705.956560	0.010000	0.054912
🗹 Ҏ прб	529185.084210	5375210.139610	709.436500	0.010000	0.060133
🗆 Þ P2	529686.332270	5375234.581800	725.897120	0.010000	0.062253
🗹 🏴 P12	529235.687790	5375212.204760	710.887520	0.010000	0.064796
🗹 🏴 np5	529392.009790	5375256.953790	717.166660	0.010000	0.065598
🗹 🏴 P19	529035.926120	5375203.153450	708.789530	0.010000	0.073897
🗆 Þ P22	529412.361950	5375134.816180	718.576050	0.010000	0.091750
🗌 P np1	529520.428720	5375124.435020	720.148310	0.010000	0.093890
🔲 🏴 P18	529037.191190	5375173.844040	709.234750	0.010000	0.099954
🔲 Þ P13	529236.809670	5375183.356890	711.321040	0.010000	0.104374
🗌 Þ P23	529437.292650	5375111.607100	718.638780	0.010000	0.164550
Total Error					
Control points					0.046702
Check points					0.107293

Abbildung 4.6 Kontroll- und Checkpoints

Anschließend konnte die Datenverarbeitung wie vorhergesehen in PhotoScan durchgeführt werden, die Ergebnisse werden auf den folgenden Seiten präsentiert.



Abbildung 4.7: Dichte Punktwolke

Das digitale Oberflächenmodell (DSM) ist von der dichten Punktwolke abgeleitet.

Die Gitterbreite beträgt 3,79 cm.



Abbildung 4.8: DSM

Das Orthophoto ist vom DEM abgeleitet. Die GSD beträgt 2,5 cm.



Abbildung 4.9: Orthophoto

9.5. Datenanalyse

Das von PhotoScan generierte DSM wurde in ArcGIS zum Vergleich und zur Analyse importiert.

1. Höhe der markierten Punkte VS interpolierte Höhen vom UAV DSM

Da die Koordinaten der markierten Punkte bekannt sind, konnten die Höhen einfach mit dem "spatial analysis tool" aus dem DEM extrahiert werden. Somit kann die Höhendifferenz einfach berechnet und in ArcGIS dargestellt werden. Die gleiche Prozedur wird auch in den weiteren Vergleichen durchgeführt. Die Einträge der Legenden besitzen stets ein Intervall von 20 cm.



Abbildung 5.1: Höhendifferenz (1)

Abbildung 5.1 zeigt das Ergebnis der Differenz von Kontrollpunkthöhen abzüglich dazugehörenden DSM-Höhen. Punkte am Rand des Zielgebiets, wie beispielsweise P15, P20, P21 and P23, haben höhere Differenzen.

2. Höhe der markierten Punkte VS interpolierte Höhen vom LGL DTM

Wie angesprochen haben wir als Referenz ein DTM vom LGL, erstellt durch LiDAR-Flüge. Abbildung 5.2 zeigt das Ergebnis der Differenz von Kontrollpunkthöhen abzüglich dazugehörenden LGL-DTM-Höhen.



Abbildung 5.2: Höhendifferenz (2)

In Anbetracht der Legende scheinen plausible Ergebnisse vorzuliegen. Insbesondere ist der Höhenunterschied von P21 viel größer, da dieser Punkt auf einem Dach markiert wurde.

3. Höhen von WP10 (DTM) VS interpolierte Höhen vom UAV DSM

Aufgabe des WP10 war es, ein DTM im Rahmen des integrierten Projekts zu erstellen. Wir haben ihre entsprechenden Höhen auf dem DSM interpoliert und die Differenz berechnet.



Abbildung 5.3: Höhendifferenz (3)

Abbildung 5.3 zeigt das Ergebnis der Differenz der DTM-Höhen abzüglich der DSM -Höhen

 Höhen von WP6 (mobile mapping trajectory) VS interpolierte Höhen vom UAV DSM WP 6 führte eine sogenannte "road survey" durch, bei der die Höhen der Trajektorie durch GNSS-Messungen bestimmt wird. Auch hiermit wurden unsere Ergebnisse verglichen. Hier wurden von den GNSS-Höhen interpolierte Höhen subtrahiert.



Abbildung 5.4: Höhendifferenz (4)

Der Pfeil in Abbildung 5.4 zeigt die Fahrtrichtung an. Einige Punkte am Beginn und Ende der Trajektorie haben hohe Abweichungen. Dies liegt daran, dass das Messfahrzeug teils unter Bäumen fuhr und deshalb keinen stabilen GPS-Empfang hatte. Die Höhendifferenz liegt hauptsächlich in einem Bereich zwischen 0 und 20 cm.

5. Höhen vom UAV DSM VS Höhen vom LGL DTM

Abbildung 5.5 gibt den Höhenunterschied zwischen DSM und DTM an. Unser Zielgebiet besteht nur aus Gras, so dass der Unterschied der meisten Bereiche kleiner als 1 m ist. Die Umrisse der Gebäude und der Waldgebiete sind gut zu erkennen.



Abbildung 5.5: Höhendifferenz (5)

6. Profile der Landebahnen

Es wurden zwei gerade Linien auf der Oberfläche der Landebahnen ausgewählt, um das Höhenprofil der Landebahnen zu visualisieren. Abbildung 5.6 zeigt die gewählten Geraden und Abbildung 5.7 und 5.8 das visualisierte Profil.



Abbildung 5.6: Linien an welchen die Profile erstellt wurden



Abbildung 5.7: Höhenprofil der kurzen Landebahn



Abbildung 5.8: Höhenprofil der langen Landebahn

Erwartungsgemäß sind die Landebahnen nicht flach. Der Höhenunterschied beläuft sich auf etwa 13 m und 17 m.

7. Vergleich mit Sequoia RGB-Bildern (Rolling-Shutter-Kamera)



Abbildung 5.9: Bild aufgenommen mit Sequoia RGB

Abbildung 5.9 weißt sehr große Verzerrungen auf. Dies liegt daran, dass die Sequoia-Kamera einen elektrischen "Rolling-Shutter" verwendet. Die Geschwindigkeit dieser Art von Verschluss ist langsamer als bei mechanischen Verschlüssen. Zudem fliegt das UAV mit einer relativ hohen Geschwindigkeit. Die Neigung und Drehung während des Fluges kann Ursache eines verzerrten Bildes sein, wie in Abbildung 5.9 dargestellt.

10.Erstellung eines digitalen Geländemodells

10.1. Einleitung

Ein digitales Geländemodell ist ein 3D-Modell des Geländes, welches aus diskreten Punkten mit Höheninformationen erstellt wird. Die Aufgabe dieses Arbeitspakets besteht darin, die benötigten Höheninformationen während der Feldarbeit zu erfassen und das DGM in der Nachbereitung zu erstellen.

10.2. Methode und Grundlagen

Um das digitale Geländemodell zu erstellen, müssen Höheninformationen erfasst werden. Während der Feldarbeit kann ein Tachymeter und ein Reflektor mit Stab verwendet, um die Höhen der Punkte im Gebiet zu bestimmen.

Die hier verwendeten Tachymeter sind das Trimble S7, das Trimble SPS930 und das Leica TS30.

Zudem werden sowohl 360° aktive als auch passive Reflektoren verwendet. Das Tachymeter wird im offenen Feld, in der Mitte des Vermessungsgebiets aufgestellt. Die Position des Tachymeters wird mit der Methode der freien Stationierung bestimmt. Durch die Messung zum Prisma erhält man die ebene Position, sowie die Höhe des Punktes, über dem das Prisma aufgestellt wurde. Basierend auf diesen Messungen kann dann das digitale Geländemodell erstellt werden.

Damit das digitale Geländemodell wirklich lückenlos erzeugt werden kann, sollte sichergestellt sein, dass das gesamte Gebiet mit Messpunkten, die in ausreichend großer Dichte vorliegen, abgedeckt ist. Wir machen einen Plan von dem Punktraster. Im folgenden Bild ist das Messgebiet zu sehen, welches aus zwei Landebahnen besteht.

90



Abbildung 1: Messgebiet (rote Rechtecke)

Das Gebiet wird als annähernd rechteckig angesehen. Die Messpunkte werden in einem Gitter mit einer Maschengröße von 20 Metern angeordnet. So soll gewährleistet werden, dass die Dichte der erhobenen Daten ausreichend groß ist, um das digitale Geländemodell zu erstellen, die Dichte aber gleichzeitig auch nicht zu groß ist, da dadurch der Aufwand die Punkte zu erfassen zu groß wäre.

Da die Position des Tachymeters durch freie Stationierung bestimmt wird, kann es überall aufgestellt werden solange mindestens drei Festpunkte sichtbar sind. Es sollte aber trotzdem auf die Konfiguration des Standpunktes und der Festpunkte geachtet werden. Durch die Distanz- und Richtungsmessung zu den Festpunkten kann die Position des Tachymeters bestimmt werden. Eine größere Anzahl an Festpunkten ist besser, da das Ergebnis so ausgeglichen werden kann. Das Tachymeter wird auf einem geeigneten Punkt zwischen den Festpunkten aufgestellt.

Das Trimble S7 hat eine automatische Funktion um das Prisma zu verfolgen, die geeignet ist um ein Punkteraster zu messen. Durch diese Funktion muss der Reflektor nicht manuell angezielt werden, weshalb man das Tachymeter, nachdem es aufgestellt wurde, fast eigenständig arbeiten lassen kann. Nur eine Person muss den Controller bedienen und mit einer anderen Person mitgehen, die den Reflektor hält. Wenn das Tachymeter den Reflektor automatisch verfolgt und anzielt, nimmt der Controller die Koordinaten des Reflektors auf. Entfernt man sich jedoch zu weit von dem Tachymeter, wird aufgrund von Refraktion der Messfehler von Entfernung und Richtung immer größer. In diesem Fall sollte der Aufstellungsprozess des Tachymeters auf einem neuen Standpunkt wiederholt werden.

Ein digitales Geländemodell ist ein Oberflächenmodell, weshalb die gemessenen Punkte mit einer glatten Oberfläche verbunden werden sollten. Deshalb ist eine Interpolation nötig. Die Interpolation kann mit einer Vielzahl verschiedener Software durchgeführt werden. Es müssen nur die xyz-Koordinaten der Gitterpunkte importiert und die Interpolation zwischen den Punkten durchgeführt werden um das Geländemodell erstellt zu können.

10.3. Vorgehensweise bei der Feldarbeit

10.3.1. Generelle Vermessung

Im Vermessungsgebiet befinden sich einige Straßen und Steinplatten, die die Landebahnen begrenzen. Also besteht die erste Aufgabe darin, die Kanten dieser von Menschen geschaffenen Objekte aufzunehmen.

Zunächst wird das Tachymeter im Gebiet, das von Interesse ist, aufgestellt. Von diesem Standpunkt sollte man einen guten Überblick über das Vermessungsgebiet haben. Aufgrund der Größe des Gebiets, wurde es in zwei Teile unterteilt. Nachdem ein Teil aufgenommen wurde, wird das Tachymeter im anderen Teil erneut aufgestellt.

Der erste Standpunkt ist im vorderen Teil der Landebahn. Nach dem das Tachymeter auf dem Stativ aufgestellt wurde, wird ein neuer *Job* erstellt und die Temperatur und der Luftdruck in das Instrument eingegeben. Dann wird der Reflektor auf einem Festpunkt aufgestellt. Zuerst sollte jedoch die Höhe des Reflektors eingestellt werden. Die automatische Track-Funktion des Tachymeters wird verwendet um den Reflektor zu verfolgen. Die Distanz und Richtung zum Reflektor wird aufgezeichnet nachdem die Messung ausgelöst wurde. Danach wird der Reflektor über einem anderen Festpunkt aufgestellt. Dies wird bis zum dritten Festpunkt wiederholt. Nun können die Standpunktkoordinaten berechnet werden.

Als nächstes können die Kanten der künstlichen Objekte aufgenommen werden. Diese Punkte sollten erfasst werden:

- (1) Die Kanten der Straßen, der Anfang und das Ende von geraden
- Abschnitten sowie die Punkte an denen die Straße die Richtung ändert.
- (2) Die Eckpunkte der Steinplatten
- (3) Die Eckpunkte der Gebäude
- (4) Die Kanten der Grasflächen

Der Reflektor wird auf diesen Punkten aufgestellt, das Tachymeter speichert die Informationen der Punkte.

Das folgende Bild zeigt die Position der Tachymeter-Standpunkte (rote Dreiecke).



Abbildung 2: Tachymeter-Standpunkte (rote Dreiecke)

Bei der Durchführung der ersten Aufgabe lagen keine globalen Koordinaten der Festpunkte vor, weshalb alle Punkte im lokalen Koordinatensystem gemessen wurden und später ins globale Koordinatensystem transformiert wurden. Die globalen Koordinaten stammen von den GNSS-Messungen, die von Arbeitspaket 2 durchgeführt wurden. Darüber hinaus hat Arbeitspaket 4 das lokale Netzwerk auf die UTM-Koordinaten von AP2 platziert und uns zur Verfügung gestellt.

10.3.2. DGM Datenerfassung

Das Vermessungsgebiet besteht aus einer längeren und einer kürzeren Landebahn, die als zwei Rechtecke angesehen werden können. Während der Erfassung der Punkte für das DGM wird das Gebiet in drei Teile unterteilt. Ein Teil ist der vordere Teil der langen Landebahn, der zweite Teil besteht aus dem hinteren Teil der langen und dem vorderen Teil der kurzen Landebahn und der dritte Teil ist der Großteil des hinteren Teils der kurzen Landebahn. Jeder Teil hat einen Tachymeter und eine Gruppe, die dort arbeitet. Jede Gruppe ist für ihren Teil verantwortlich. Zuerst wird das Tachymeter wie in 3.1 aufgestellt. Der Standort wird nach dem gleichen Prinzip wie in 3.1 gewählt.

Nun wird ein Raster von Messpunkten benötigt. Da das gesamte Vermessungsgebiet (zwei Landebahnen) rechteckig ist, werden die Messpunkte gitterförmig angeordnet. Der Abstand der Punkte sollte ungefähr 20 m betragen, was in etwa zwanzig Schritten einer Person entspricht. Die Entfernung kann vom Rand des Vermessungsgebiets bestimmt werden. Zum Schluss muss sichergestellt werden, dass das gesamte Gebiet einheitlich von Höhenmesspunkten bedeckt ist.

10.4. Probleme, die aufgetreten sind

Ein Problem, das während der Feldarbeit auftrat war, dass am ersten Tag der Messungen keine Koordinaten der Referenzpunkte zur Verfügung standen. Deshalb musste das Verfahren angepasst werden. Ursprünglich war der Plan, dass die Koordinaten der Gitterpunkte vor der Feldarbeit berechnet werden, sodass man vom Tachymeter zu den zu messenden Punkten geführt werden konnte. Die im Voraus berechneten Gitterpunktkoordinaten konnten jedoch nicht verwendet werden, da sie nur in UTM-Koordinaten vorlagen, aufgrund der fehlenden Referenzpunktkoordinaten aber nur ein lokales Koordinatensystem verwendet werden konnte. Also wurde am ersten Tag nur die allgemeine Objektaufnahme gemacht. Im weiteren Verlauf waren die Koordinaten der Referenzpunkte zwar bekannt, die Messungen wurden dennoch anders als ursprünglich geplant durchgeführt. Anstelle des vorbereiteten Gitters wurde ein in etwa gleichmäßiges Gitter während der Feldarbeit abgesteckt, indem ein Punkt einfach alle zwanzig Schritte auf einer gekennzeichneten Linie gemessen wurde. Die Gründe dafür sind, dass die Anordnung, in der die Gitterpunktkoordinaten berechnet wurden, eine Aufteilung des Gebiets in drei Teile, sodass drei Gruppen simultan hätten arbeiten können, schwierig durchführbar gewesen wäre. Zudem hat diese Vorgehensweise die Erfassung der Punkte erheblich beschleunigt.

10.5. Datenverarbeitung

10.5.1. Datentransformation

Die Rohdaten, die bei der Feldarbeit mit dem Leica- und den Trimble-Tachymetern erfasst wurden, liegen in Form von 3D UTM-Koordinaten der Gitterpunkte vor. Zusätzlich sind die Daten der generellen Erfassung, die mit einem Trimble-Tachymeter aufgenommen wurden, in lokalen 3D-Koordinaten. Die lokalen Koordinaten müssen in globale Koordinaten transformiert werden. Die globalen Koordinaten basieren auf der UTM-Zone 32. Während der Messung haben alle Punkte der Straßen und der Steinplatten nur lokale Koordinaten. Also sollte die Datentransformation am Anfang durchgeführt werden.

Wir verwenden die lokalen und die globalen Koordinaten der Festpunkte um die Transformationsparameter zu bestimmen. Die Transformation kann mit *Jag3d*, einer Software zur Datentransformation, durchgeführt werden. Die Koordinaten der Festpunkte sind in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Punktnummer	x [m]	y [m]	z [m]
np9	32529696.22	5375191.926	725.5818
np7	100986.69	2002273.27	689.74
np6	101071.83	2002247.66	688.59
np5	101078.66	2002035.61	696.32
np4	101048.66	2001943.60	699.94
np3	101088.98	2001803.66	704.11
np12	100923.02	2002011.26	697.94
np11	100958.71	2002065.20	697.26
np10	101097.63	2002426.05	688.65
np1	100924.24	2001934.58	699.31
np2	100985.17	2002135.73	694.38

Tabelle 1: lokale Koordinaten

Tabelle 2: globale Koordinaten der Festpunkte

Punktnummer	X [m]	Y [m]	Z [m]
np9	32529696.22	5375192.93	725.58
np7	32529176.04	5375122.69	710.58
np6	32529185.08	5375210.14	709.44
np5	32529392.01	5375257.95	717.17
np4	32529488.04	5375245.90	720.78
np3	32529618.82	5375311.97	724.95
np12	32529445.37	5375109.73	718.79
np11	32529386.65	5375134.58	718.10
np10	32529005.04	5375202.73	709.50
np1	32529520.43	5375124.44	720.15
np2	32529311.38	5375146.22	715.22

Nachdem die Parameter berechnet wurden, können alle Punkte mit lokalen Koordinaten in globale Koordinaten transformiert werden.

10.5.2. Erstellung des DGM

In diesem Projekt verwenden wir *ArcMap* für den Hauptteil der Datenverarbeitung. Alle Gitterpunkte, die erfassten Daten in UTM-Koordinaten, sowie die Festpunkte werden in *ArcMap* importiert.

Zunächst wird eine Skizze der Messpunkte erstellt, um die Verteilung der Punkte zu visualisieren.



Abbildung 3: Skizze der Messpunkte

Die Skizze der generellen Objekterfassung ist in 3D dargestellt, sodass die Position der Gebäude, der Straßen und der Steinplatten, die die Landebahn eingrenzen, verdeutlicht wird.



Abbildung 4: Skizze der generellen Objekterfassung

Um das DGM zu erstellen, wird zuerst ein Gitter mit einer Maschenweite von 5 m generiert. Danach werden die Höhen in diesem 5-Meter-Gitter mit Hilfe der linearen Interpolation interpoliert. Schließlich wird das TIN des Gitters und das DGM des Flugplatzes graphisch dargestellt



Abbildung 5: TIN des Flugplatzes



Abbildung 6: DGM des Flugplatzes

Zudem werden die Höhenlinien dargestellt, um eine andere Darstellung des DGM zu erhalten.



Abbildung 7: Höhenlinienkarte des Flugplatzes

Zum Schluss werden die aufgenommenen Objekte, das DGM und die Höhenlinien zusammen dargestellt, sodass man einen besseren Überblick über die Merkmale und Höhen des Flugplatzes erhält.



Abblidung 8: DGM des Flugplatzes mit erfassten Objekten



Abbildung 9: Höhenlinienkarte mit erfassten Objekten

Letztlich wird noch die Richtung der Hangneigung mit ArcMap dargestellt.



Abbildung 10: Richtung der Hangneigung

10.6. Fazit

In diesem Projekt wurden alle Daten, die zur Erstellung des DGM nötig waren, von uns erfasst. Dabei wurden wir von unserem Supervisor unterstützt. Zusammen mit unseren eigenen Überlegungen haben wir einen sinnvollen Weg gefunden, die Höheninformationen des Vermessungsgebiets zu erfassen. Wir haben auch gelernt ein Instrument mit automatischer Zielverfolgung zu verwenden. Die Art von Tachymeter macht unsere Arbeit leichter und beschleunigt diese. Auch wenn das Prinzip hinter den Messungen, wie die Methode der freien Stationierung, nicht kompliziert und nicht neu für uns ist, hat die Feldarbeit unser Verständnis davon vertieft. Mit der Beratung unseres Supervisors konnten wir Daten erfassen, deren Qualität und Quantität für die Erfüllung der Aufgabe hinreichend waren. Bei der Datenverarbeitung haben wir ein kurzes MATLAB-Programm zur Datentransformation und Erstellung des DGM geschrieben. Dies hat unsere Fähigkeit solche Produkte zu erzeugen weiter verbessert.

Alles in Allem ist dies eine sehr hilfreiche Übung. Wir haben viel gelernt und konnten viele unserer Fähigkeiten weiterentwickeln. Darüber hinaus haben wir gelernt mit anderen zusammen zu arbeiten und Probleme gemeinsam zu lösen.

11.Zusammenfassung

Das integrierte Feldprojekt war wie jedes Jahr die beste Gelegenheit das gesamte erlernte theoretische Wissen auch in der Praxis anzuwenden. Es ermöglichte einen tieferen Einblick in die einzelnen Teilbereiche des Studiengangs und gab den Studierenden die Chance ihren Erfahrungsschatz enorm zu erweitern. Vor allem half es den Studenten Probleme während den Messungen eigenständig zu erkennen und Lösungen zu finden. Trotz vieler Anstrengungen und hoher Temperaturen hatten alle Beteiligten eine Menge Spaß und eine lehrreiche Zeit. Es war eine gute Gelegenheit für kulturellen Austausch und das Knüpfen neuer Freundschaften über verschiedene Studiengänge hinweg.