

## UNIVERSITÄT STUTTGART

Abschlussbericht

# Integriertes Praktikum 2016

## Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	3
2	GNSS Messungen	5
3	Nivellement	7
4	3D - Aufnahme mit Tachymeter	14
5	Schweremessungen mit Gravimetrie	17
6	Kinematic Road Survey	19
7	Klassifikationen der Landnutzung mit Hilfe von remote sensing	22
8	Deformationsanalyse anhand terrestrischen Laserscans	26
9	Terrestrische Photogrammetrie	32
10	Oberflächendarstellung anhand terrestrischer Photogrammetrie	37
11	3D Objekt Rekonstruktion mit UAS - Photogrammetrie	40
12	Topografische Aufnahme der Deponie	43

## 1 Einführung

Wie in jedem Jahr gehört auch in 2016 das integrierte Praktikum zu den absoluten Highlights des Sommersemesters für die Geodäsie Studierenden der Universität Stuttgart. Teilgenommen haben etwa 30 deutschsprachige Studierende und etwa genauso viele Studenten des englischsprachigen Masterstudiengangs Geoengine. Gemeinsam fuhr man für eine Woche auf die Schwäbische Alb in ein Naturfreundehaus bei Eningen unter der Achalm, um dieses als Basis zu nutzen, um in einer nahegelegenen Erddeponie allerhand umfangreiche Messungen durchzuführen. Das integrierte Praktikum ist für deutschsprachige Studenten die erste Möglichkeit die bis dahin gelernten Messmethoden in einem praktischen Projekt einzusetzen. Dem fünftägigen Aufenthalt in Eningen ging eine mehrwöchige Planung voraus, diese diente vor allem der gemeinsamen Vorbereitung der einzelnen Arbeitspakete mit den internationalen Studenten. Die Arbeitssprache während des ganzen Projektes war Englisch. Das Ziel der Vermessungsarbeiten waren die Verfüllung und den Massenzuwachs der Deponie zu beobachten und zu überwachen. Die Institute betreuten und unterstützen dabei die Studierenden in verschiedenen Disziplinen des modernen Vermessungswesens, die im Folgenden näher erläutert werden.

Unterschiede in der Verdichtung wurden mit Schweremessungen auf der Oberfläche untersucht. In der anschließenden Auswertung der Daten ließen sich Dichteunterschiede gut erkennen, diese geben Rückschlüsse auf Beschaffenheit und Qualität des Abraums.

Für die Erstellung eines Oberflächenmodells wurden Bildflüge eines Hexacopters, terrestrische Photogrammetrie und Laserscanning kombiniert. Das daraus erzeugte Oberflächenmodell lässt sich mit denen der letzten Jahre vergleichen. Anhand des Vergleichs können Aussagen über Volumenzuwachs und Dynamik der Deponie getroffen werden.

Um die von den Studierenden durchgeführten Messungen in das Landesvermessungsnetz einbinden zu können, wurden GNSS – Basislinien Messungen zwischen der Deponie und den im Umkreis liegenden Festpunkten geplant und durchgeführt.

Ein hochgenaues 3D – Netz wurde innerhalb der Deponie durch Tachymetrie bestimmt und ausgeglichen. Hier zeigte sich, dass vor allem die Absprache und die genaue Koordination innerhalb des Teams der Schlüssel zum Erfolg war.

Der Anschluss an das Deutsche Haupthöhennetz erfolgte durch ein Feinnivellement von einem ein Kilometer entfernten Höhenfestpunkt. Aufgrund der steilen Felswände der Deponie, mussten einige Höhen auch durch ein trigonometrisches Nivellement bestimmt werden. Trotz der Herausforderungen durch steiles, unwegsames Gelände konnte man hier Genauigkeiten von unter einem Millimeter erreichen.

Doch nicht alle Vermessungsarbeiten beschränkten sich auf das Gelände der Deponie. So wurde eine hochgenaue Kartierung der umliegenden Straßen durch ein speziell ausgerüstetes Fahrzeug durchgeführt, welches Sensordaten einer Inertialmesseinheit mit GNSS Positionsdaten und den Daten aus der Rotationsbewegung der Räder verknüpft. So können auch in Wäldern und Tunneln Wege oder Straßen erfasst werden.

Des Weiteren wurden Agrar- und Grünflächen im Umfeld untersucht und Daten wie Vegetationstyp und Nutzung festgehalten, um diese für eine automatische Landnutzungsklassifizierung mit Hilfe von LANDSAT Satellitendaten nutzen zu können. Alle Messungen wurden nach Abschluss der Feld - Woche in Eningen ausgewertet und präsentiert. Dabei waren die verschiedenen Arbeitsgruppen untereinander auf Ergebnisse wie Transformationsparameter und Punktkoordinaten angewiesen, dies führte zu einem zusätzlichen Ansporn in der Auswertung und Kommunikation. Abschließend lassen sich die Messergebnisse und Erfahrungen des Praktikums mit Erfolg beurteilen. Ebenso waren Projektplanung und das sprechen in Englisch auf einem wissenschaftlichen Niveau ein Erfahrungsgewinn. Durch Zusammenarbeit der Institute und der internationalen Studierenden wurde ein breites Spektrum von Vermessungsaufgaben, wie auch Kulturen bemerkenswert interessant kennengelernt.

## 2 GNSS Messungen

### Einleitung

Das WP2 ist verantwortlich für die Transformationsparameter zwischen dem globalen WGS84 Koordinatensystem und dem lokalen Gauß-Krüger-System. Diese Daten werden benötigt, um die lokalen bzw. relativen Messungen der anderen Gruppen in ein einheitliches System zu transformieren. Dafür müssen die GNSS-Punkte ausgesucht, ein Sessionplan erstellt und anschließend die Messungen ausgewertet werden.

### Kurze Einleitung

Bevor der Sessionplan aufgestellt werden kann, ist es nötig die Punkte zu erkunden. Mit Hilfe von Abschattungsdiagrammen und einem aktuellen Satelliten-Almanach werden günstige Beobachtungszeiten für die Punkte gewählt und damit der Sessionplan jeweils mit einer Stunde Beobachtungsdauer erstellt. Der Referenzpunkt 217 (bzw. die Versicherung 217-04), dessen Koordinaten sowohl im lokalen als auch im globalen System bekannt sind, soll in jeder Session einmal beobachtet werden, während die anderen Punkte im Wechsel mindestens viermal gleichzeitig gemessen werden. Dies war aufgrund von fehlerhaften Messungen (Aufbaufehler, Nichteinhaltung des Sessionplans, etc.) nicht immer möglich, weswegen in einigen Sessions die Punkte 232 und 14 als Referenzpunkte gewählt werden mussten. Im Praktikum wird mit differentiellen GPS Beobachtungen ein relatives Netz vermessen, wobei fehlerhafte Messungen eliminiert werden.

Es wird eine 7-Parameter-Transformation zwischen den lokalen und globalen Systemen angenommen:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \lambda \cdot [\mathbf{R_3}(\gamma) \cdot \mathbf{R_2}(\beta) \cdot \mathbf{R_1}(\alpha)] \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{pmatrix}$$

Für die anderen Gruppen werden die Transformationsparameter und Koordinaten aufbereitet und bereitgestellt.

Parameter	Wert	RMS
Verschiebung	-542,9978 m	41,9607 m
dX		
Verschiebung	-194,2829 m	45,2191 m
dY		
Verschiebung $dZ$	-363,4811 m	41,3177 m
Rotation $X$	$5,75689 { m m}$	1,31853 m
Rotation $Y$	0,62474  m	1,59301 m
Rotation $Z$	-2,39986 m	1,23160 m
Massstab	-16,1711 ppm	5,0680 ppm

### Zusammenfassung





Abbildung 1: Punktübersicht

Abbildung 2: Residuen der Koordinaten

Die Parameter gelten nur für dieses kleine Gebiet, bei einer größeren Ausdehnung passen sie nicht mehr.

In der Tabelle 1 sind die berechneten Gauß-Krüger-Koordinaten und die Differenz zu den Lageresiduen gegeben, der Punkt 217 hat nach der Transformation keine Standardabweichung, da er als Fixpunkt angesetzt wird, die anderen weisen Restklaffungen im Bereich von maximal 2cm auf.

Punkt	Rechtswert	Hochwert	Residuen der Lage
			$dX[m] \mid dY[m]$
Q2	3521719,832 m	5372329,868 m	
Q3	3521821,899 m	$5372281,333 \mathrm{~m}$	
P2	3524561,206 m	5372781,509 m	-0,0061   -0,0259
P14	3524419,240 m	5375132,326 m	-0,0041   -0,0114
P64	3522744,150 m	5374078,607 m	-0,0352   <mark>0,0449</mark>
P73	3521639,689 m	$5374565,733 \mathrm{~m}$	-0,0049  0,0188
P187	3523226,516 m	5370541,110 m	0,0211   -0,0205
P196	3519676,333 m	5371002,267 m	0,0293   -0,0127
P232	3520291,254 m	5372959,351 m	0,0078   0,0358
217	3524214,993 m	5372096,037 m	-0,0079   -0,0290

Tabelle 1: Ergebnisse der Koordinaten (GK) mit Residuen aus beiden Wochen

Punkt	Länge	Breite	Residuen der Lage
			$dX[m] \mid dY[m]$
Q2	48°29′18.00913" N	9°17′34.13437" O	
Q3	48°29′16.42522" N	9°17′39.09616" O	
P2	48°29′32.25635" N	9°19′52.60991" O	-0,0061   -0,0259
P14	48°30′48.38104" N	9°19′46.18745" O	-0,0041   -0,0114
P64	48°30′14.49297" N	9°18′24.36165" O	-0,0352   0,0449
P73	48°30′30.40266" N	9°17′30.64576" O	-0,0049  0,0188
P187	48°28′19.90720" N	9°18′47.15745" O	0,0211   -0,0205
P196	48°28′35.26968" N	9°15′54.38816" O	0,0293   -0,0127
P232	48°29′38.55866" N	9°16′24.66886" O	0,0358
217	48°29′10.11298" N	9°19′35.60524" O	-0,0079   -0,0290

Tabelle 2: Ergebnisse der Koordinaten (WGS84) mit Residuen aus beiden Wochen

Aufgrund von vielen Fehlerhaften Messungen, sowie Problemen bei der Einhaltung des Sessionplans, weisen die Koordinaten relativ hohe Residuen auf.

Die größten Fehler ergeben sich bei den Punkten 196 und 64, die zum Messzeitpunkt zum einen keinen guten GDOP aufweisen konnten und zum anderen durch die Hangneigung beeinträchtigt waren.

## 3 Nivellement

### Einleitung

Das Hauptziel dieser Arbeit ist zu messen eine Schleife mit hochpräzisen Nivellierung, und auch zu bestimmen die Höhen von einigen Punkten des Steinbruchs. Aufgrund der steilen Felswänden, es ist zu empfehlen, dass für einen Teil des Netzes das trigonometrische Nivellement zu verwenden ist. Darüber hinaus ist es notwendig, dass die Höhe eines Punktes auf der Steinbruchwand zu erhalten. Schließlich sollten die Ergebnisse des Nivellements und die Höhendifferenz der Schleife zu WP5 gesendet werden. Es ist wichtig zu berücksichtigen, dass jeder Fehler während des Nivellements zu einer Wiederholung der Arbeit führen könnte.

## Ergebnisse

#### **Geometrisches Nivellement**



Abbildung 3: Beispiel für ein geometrisches Nivellement

Gruppe	Höhendifferenz [m]	Genauigkeit [mm] $\delta = \sqrt{\frac{w}{2L}}$
А	1,33350	0,853
В	-8,87402	$705,507^{[2]}$
С	-6,92506	0,632
D	7,64210	0,894
$E^{[1]}$	2,62150	3,613
F	0,55540	$288,216^{[2]}$
G	-8,87101	0,359
$\mathrm{H}^{[1]}$	2,58435	6,445
Ι	4,67012	0,084

Tabelle 3: Ergebnisse des geometrischen Nivellement

#### Bemerkungen:

[1]: Der, durch einen Holzpflock signalisierte, Anschlusspunkt wurde etwas stärker eingeschlagen um die Stabilität zu erhöhen. Daher hat sich die Höhe um etwa 4cm verändert.
[2]: Die Genauigkeiten der Gruppen B und F sind sehr schlecht, daher werden diese Daten nicht berücksichtigt.

#### Vergleich der Höhen

Die Höhen der Punkte  $P_1$  und  $P_2$  sind gegeben (siehe Abbildung 3):

$$h_{P_1} = 720, 318m$$
  
 $h_{P_2} = 727, 973m$ 

Die theoretische Höhendifferenz zwischen  $P_1$  und  $P_2$  ist folglich:

$$\Delta h_{theo} = h_{P_2} - h_{P_1} = 7,655m$$

tatsächliche Höhendifferenz zwischen  $P_1$  und  $P_2$  (gemessen von Gruppe D):

$$\Delta h_{mes} = 7,64210m$$

Die Differenz zwischen theoretischer und tatsächlicher Höhendifferenz ergibt sich aus:

$$\delta h = \Delta h_{theo} - \Delta h_{ges} = 0,0129m$$

Das zeigt, dass es 1 cm Unterschied für die Strecke  $P_1P_2$  zwischen dem Ergebnis, das von Gruppe D gemessen wurde und der theoretischen Höhendifferenz gibt. Da das Leica DNA03 die Genauigkeit von 0.3mm/km erreichen kann, ist dieses Ergebnis nicht akzeptabel. Vielleicht wurden die Punkte bewegt, oder es könnten einige Fehler der einzelnen Messungen sein. Die Höhendifferenz von Punkt  $P_1$  zu  $P_2$  wurde vor einigen Jahren gemessen, eventuell hat sie sich bereits geändert. **Standardabweichung je** km für "Close - Loop"

$$s_{Niv/km} = \pm \sqrt{\frac{1}{2n} \sum \frac{d^2}{R[km]}} = \pm 0,0030728m = \pm 3,1mm$$
$$\delta_{Niv/kim} = \pm \frac{s_{Niv/km}}{\sqrt{2}} = \pm 0,0021729m = \pm 2,2mm$$

Es gab drei Gruppen, die das Leica DNA03 benutzten und die anderen verwendeten das Trimble DiNi. Da beide Geräte die Genauigkeit von 0, 3mm/km erreichen können, sind die obigen Ergebnisse nicht gut. Der Umgang mit den Instrumenten kann die Fehler verursachen. Auch ist es möglich, dass die Latten nicht perfekt im Lot standen. Die Gruppen mit geringeren Genauigkeiten hatten vielleicht einige Kommunikationsprobleme während der Arbeit.



#### Trigonometrische Höhenübertragung

Abbildung 4: Beispiel für eine trigonometrische Höhenübertragung

Woche	Gruppe	$\Delta H_{AB}$ [m]	$\Delta H_{AC}$ [m]	$\Delta H_{CB}$ [m]
1	А	21,16881	1,42923	19,73958
1	D	21,17960	1,42836	19,75124
1	$F^{[1]}$	-	-	-
2	$G^{[2]}$	21,20480	1,48745	19,71735
2	Ι	21,22800	1,48607	19,74193
2	$K^{[2]}$	21,19997	1,49578	19,70419
2	$M^{[2]}$	21,20460	1,46755	19,71715

Tabelle 4: Ergebnisse der trigonometrischen Höhenübertragung

#### Bemerkungen:

- [1]: Falsche Messungen, vermutlich keine gleichzeitigen Messungen.
- [2]: Die Höhenänderung des Holzpflocks im Sinne der Stabilität.

#### Höhe der Windmühle

Nur Gruppe 1 maß die Höhe der Windmühle. Hierzu wurde eine Messung ohne Reflektor mit einem Tachymeter durchgeführt, dann wurde die relative Höhe der Windmühle vom Verbindungspunkt C aus berechnet:

$$\Delta h_{wm} = 5,348m \cdot \cos(325,2570gon) = 4,3945m$$

Die absolute Höhe der Windmühle ergibt sich wie folgt:

$$H_{wm} = \Delta h_{wm} + H_c = 4,3945m + 716,847m = 721,2415m$$

Sieben Gruppen haben die trigonometrische Höhenübertragung durchgeführt, aber die Gruppe F hat die gegenseitigen, gleichzeitigen Messungen nicht berücksichtigt. Außerdem wurde die Höhe des Anschluss Punkts *B* am Mittwoch der zweiten Woche geändert, deshalb machten die Gruppen A, D und I die Messungen vor der Änderung, und die Gruppe G, K und M machten die Messungen nach der Änderung. Die Höhendifferenzen und Standardabweichungen sollten berechnet werden.

#### Höhendifferenzen vor der Änderung

$$\Delta \overline{H_{CB1}} = 19,7442m$$

Standardabweichung

$$\sqrt{\frac{\sum (\Delta H_{CB} - \Delta \overline{H_{CB1}})^2}{n-1}} = 0,006202m = 6,2mm$$

#### Höhendifferenzen nach der Änderung

$$\Delta \overline{H_{CB2}} = 19,7129m$$

Standardabweichung

$$\sqrt{\frac{\sum (\Delta H_{CB} - \Delta \overline{H_{CB2}})^2}{n-1}} = 0,007541m = 7,5mm$$

Die Ergebnisse sind in Ordnung, da die Standardabweichung zwischen 6mm und 7mm liegt.

#### Höhendifferenzen der Schleifenmessung

Die Messungen der Trigonometrische Höhenübertragung und der Nivellements sollen beide berücksichtigt werden um daraus die Höhendifferenzen der Schleifenmessungen berechnen zu können.

#### Vor der Änderung

$$\Delta H_{Loop} = \Delta h_c + \Delta h_G + \Delta h_E + \Delta h_A + \Delta h_{Tri} = -6,9mm$$

Nach der Änderung

$$\Delta H_{Loop} = \Delta h_c + \Delta h_G + \Delta h_E + \Delta h_A + \Delta h_{Tri} = -1,0mm$$

Diese Ergebnisse sind in Ordnung. Der Schleifenabschlussfehler is vor der Änderung wesentlich schlechter als nach der Änderung.



#### Berechnung der absoluten Höhen aus den Basispunkten

Abbildung 5: Beispiel für die Basispunkte

Die absoluten Höhen anderer Punkte können aus den hier dargestellten Basispunkten berechnet werden.

Punktnummer	Absolute Höhe [m]
	Vor der Änderung   Nach der Änderung
$P_1$	720,318
$P_2$	727,973
$P_3$	732,643
$P_4$	725,718
$P_5$	733,977
$P_{A}^{[1]}$	715,418   715,363
$P_{B}^{[2]}$	736,598   736,561
$P_C$	716,847

Tabelle 5: Berechnung der absoluten Höhen

Bemerkungen:

- [1]: Änderung des Holzpflocks am Vormittag des 18.07.2016.
- [2]: Änderung des Holzpflocks am Vormittag des 20.07.2016.

## Zusammenfassung

Die Genauigkeit des Leica DNA03 ist 0, 3mm/km, daher war es das Ziel unseres Praktikums diese Genauigkeit zu erreichen. Es gibt mehrere Gründe die erklären warum uns dies nicht gelang. Zuerst sind die Dosenlibellen an den Nivellierlatten nicht genau eingespielt während der Messung. Hinzu kommt die Zielweiten vom Vorblick und Rückblick sind nicht gleich. Außerdem bergen Büschen und Bäumen Behinderungen der Ablesung auf den Nivellierlatten.

Die Ergebnisse der trigonometrischen Höhenübertragung sind besser als die des Nivellements, obwohl beide Ergebnisse die vorgegebenen Genauigkeiten nicht erreichen. Einige Gruppe habe die gegenseitigen gleichzeitigen Messungen nicht richtig durchgeführt. Andere Gruppen haben die Berechnungen der Genauigkeiten nicht rechtzeitig gemacht, denn falls die Genauigkeiten nicht innerhalb der Toleranz liegen, sollten die Messungen nochmal durchgeführt werden. Diese Regel wurde nicht berücksichtigt. Schließlich sind die Ergebnisse der Schleifenmessung in Ordnung. Vor der Änderung des Holzpflocks beträgt der Schleifenschlussfehler 6, 9mm, danach beträgt er nur 1mm.

## 4 3D - Aufnahme mit Tachymeter

### Einleitung

Die Aufgaben von Workpackage 4 sind, ein lokales Netzwerk mit Hilfe von Tachymeter zu erstellen und die globalen Koordinaten des Netzwerks zu berechnen.

Das lokale Netzwerk im Steinbruch besitzt 8 Punkte (6 neue Festpunkte und 2 GNSS Punkte). Nach der Berechnungen werden die globalen Koordinaten von alle 8 Punkten an Workpackage 5 und 8 weitergegeben.



Abbildung 6: Beispiel für die Basispunkte

### Erklärung

Jeder Festpunkt des Netzwerks wird als Stationspunkt definiert. Die anderen Punkten werden mittels Tachymeter gemessen. Das Messen geschieht in drei Sätzen und zwei Lagen, diese werden automatisch durchgeführt. Die gemessenen Horizontal- und Vertikalwinkel werden ebenso wie Instrumentenhöhe, Reflektorhöhe und Schrägstrecke benutzt. Die hieraus erhaltenen Rohdaten liefern uns die Näherungskoordinaten des lokalen Systems. Mit den Näherungskoordinaten werden in der Software Panda die lokale Koordinaten und die Standardabweichungen berechnet.

Punkt	X [m]	Y [m]	Z [m]
TP1	85,51181017	75,78175558	2,295418155
TP2	97,07303142	86,23081437	3,254915112
TP3	137,5557064	74,81715696	-2,908766096
TP5	0	0	0
TP6	-130,3658327	-72,89935483	2,895273712
TP7	-149,4675701	-165,3257015	3,349416927
TP8	-94,6316255	-130,7897593	2,016864841
TP9	-20,31808985	-45,64298413	0,468150186

Tabelle 6: Lokale Koordinaten vor der Ausgleichung mit Panda

Punkt	X [m]	Y [m]	Z [m]	dx sx [mm]	dy sy [mm]	dz sz [mm]
TP1	85,52927	75,77289	2,29229	0,01 5,11	0,01 5,44	0,25 5,69
TP2	97,01615	86,25632	1,30730	-0,05 5,66	-0,04 5,99	-1,78 5,74
TP3	137,56571	74,79111	-1,38373	0,00 11,01	0,01 12,43	0,26 18,77
TP5	-0,00583	0,01517	0,12847	0,01 3,15	0,01 3,28	0,25 5,32
TP6	-130,36529	-72,89357	2,83103	0,01 3,10	0,00 2,83	0,26 6,83
TP7	-149,46687	-165,31795	3,34174	0,00 2,54	0,01 2,14	0,25 5,45
TP8	-94,63131	-	2,04982	0,01 2,94	0,01 2,90	0,26 6,52
		130,792446				
TP9	-20,30540	-45,63856	0,80434	0,01 6,90	0,00 6,42	0,26 12,32

Tabelle 7: Lokale Koordinaten nach der Ausgleichung mit Panda (zweite Ausgleichung)

Punkt	R [m]	H [m]	Z [m]
TP1	3521967,2750	5372212,1045	716,9033
TP2	3521981,9758	5372207,0705	715,9135
TP3	3522014,5562	5372233,7185	713,2872
TP5	3521858,6640	5372247,5802	714,7135
TP6	3521710,0509	5372262,5345	717,4308
TP7	3521655,7519	5372339,7315	717,9333
TP8	3521719,8037	5372329,8945	716,6475
TP9	3521821,8669	5372281,3544	715,4203

Tabelle 8: Gauß-Krüger Koordinaten vor der Ausgleichung mit Panda

Punkt	H [m]	R [m]	Z [m]	dH sH [mm]	dR sR [mm]	$dz sz \ [mm]$
TP1	3521967,27216	5372212,10190	716,90205	-0,01 2,75	-0,01 6,93	-0,03 5,69
TP2	3521981,98268	5372207,05682	715,91709	-0,09 3,42	0,01 7,49	0,19 5,74
TP3	3522014,61816	5372233,71467	713,22604	0,03 5,54	0,02 15,64	-0,03 18,76
TP5	3521858,66165	5372247,58191	714,73825	0,02 1,93	-0,01 4,11	-0,02 5,32
TP6	3521710,04269	5372262,55162	$717,\!44077$	0,03 2,72	0,02 3,19	-0,03 6,83
TP7	3521655,73168	5372339,73614	717,95152	0,02 1,78	-0,02 2,81	-0,02 5,44
TP8	3521719,77849	5372329,88967	$716,\!65959$	0,01 2,69	-0,01 3,12	-0,02 6,52
TP9	3521821,85689	5372281,35588	715,41409	-0,01 4,61	0,00 8,22	-0,03 12,32

Tabelle 9: Lokale Koordinaten nach der Ausgleichung mit Panda (zweite Ausgleichung)

Danach werden mit Hilfe der lokalen Koordinaten aus Panda, die globalen WGS84-Koordinaten berechnet. Dafür sind die globalen Koordinaten der zwei GNSS Punkten und die Transformationsfunktion von Nöten.

Punkt	X [m]	Y [m]	Z [m]
TP1	4180176,44985981	684241,653794335	4753532,0129005
TP2	4180177,2135505	684256,686427303	4753527,88927911
TP3	4180150,56861106	$684285,\!436156261$	4753543,53199067
TP5	4180165,99720032	684130,046719784	4753554,18983135
TP6	4180178,56534664	683981, 531279043	4753564,42908028
TP7	4180132,10405768	$683919,\!244605974$	4753618,21775209
TP8	4180128,41108822	683983, 512594278	4753610,55511322
TP9	4180147,30685362	684089,831793147	4753577,1907955

Tabelle 10: Globale WGS84 Koordinaten vor der Ausgleichung

Punkt	dH sH [mm]	dR sR[mm]	dZ sZ
			[mm]
TP1	10,97 6,83	-3,88 2,25	-9,46 6,63
TP2	-11,18 7,25	-3,96 2,91	-9,87 6,99
TP3	$-23,\!82 15,\!61$	6,63 4,45	20,81 19,43
TP5	6,56 4,81	-3,79 1,63	-5,70 4,81
TP6	-23,90 4,28	6,26 2,50	18,59 7,29
TP7	8,98 3,50	0,24 2,41	7,18 -1,24
TP8	2,55 3,95	0,43 3,13	-1,24 6,98
TP9	7,48 10,38	-1,94 3,92	-6,37 10,89

Tabelle 11: Verbesserung der WGS84-Koordinaten nach der Ausgleichung

### Beurteilung

#### Lokale Koordinaten und Gauß-Krüger Koordinaten

Zwei Iterationen wurden durchgeführt in Panda, damit die Standardabweichungen besser beobachtet werden können. dx, dy und dz zeigen die Differenzen zwischen den Nährungskoordinaten und den ausgeglichenen Koordinaten auf. Die Differenzen bei den Punkte 3, 7, 8, und 9 sind ziemlich groß. Die Ursache dafür könnten sein, dass die Sicht auf diese Punkte sehr schlecht ist , die Punkte sehr schwierig beobachtet (wegen den Bäumen) war, oder die Tachymeter nicht gut zentriert wurden.

#### WGS84 Koordinaten

Die WGS84 Koordinaten wurden aus den Gauß-Krüger Koordinaten transformiert, dann importiert in die Software Panda. Ausgelichen wurden die importierten Daten ebenfalls mit der Software, jedoch sind die Standardabweichungen sehr groß.

### Probleme

### Im Steinbruch

- **1.** Einige Punkte waren durch Vegitation verdeckt.
- 2. Die Höhen der Tachymeter und Reflektoren wurden nicht dokumentiert.
- **3.** Die Daten der ersten Woche sind aufgrund des schlechten Wetters nicht gut.

### Rechenprozess

- 1. Die große Datenmenge und die Auswahl der richtigen Daten führte zu Problemen.
- 2. Transformationen zwischen lokalen Systemen sind sehr aufwendig.
- **3.** Probleme mit der Software Panda.

## 5 Schweremessungen mit Gravimetrie

## Einleitung

Mittels der Gravimetrie werden Messungen durchgeführt, die sich auf das Erdschwerefeld beziehen. Bei diesem handelt es sich, aufgrund einer unterschiedlichen Erdmassenverteilung sowie unterschiedlicher Gesteinsarten, nicht um ein homogenes Feld.

## Durchführung

Die durchgeführten Messungen fanden in einem regelmäßigen Raster statt, mit dem Ziel eine möglichst große Fläche der Erddeponie zu erfassen und eine genaue Interpolation der Schwerewerte zu ermöglichen. Neben dem relativ gemessenen Schwerewert wurde auch die Position der Punkte mit Hilfe eines Tachymeters bestimmt. Dadurch konnten neun Netze erstellt werden. Zusätzlich wurde der Schwerewert an zwei Referenzpunkten gemessen. Hierbei befand sich ein Punkt innerhalb der Erddeponie, während es sich bei dem zweiten um einen bekannten Punkt in etwa zwei Kilometern Entfernung handelte. Um die lineare Driftbewegung des Gravimeters zu bestimmen wurden die Referenzmessungen an diesen Punkten über einen längeren Zeitraum durchgeführt.



Abbildung 7: Gemessene Punkte in Gauß-Krüger Koordinaten

Aufgrund des vielen Regens während der Messung, erwiesen sich die Messungen als schwierig, da das Gravimeter zu sinken begann. Aus diesem Grund wurde versucht, eine möglichst feste Stelle zu finden und die Bodenplatte, auf der das Gravimeter stand, möglichst fest in den Boden zu treten. Außerdem wurde versucht mit Hilfe von Schirmen das Gravimeter vor Wind oder Regen zu schützen. Teilweise mussten die Messungen aufgrund von Gewittern ganz abgebrochen werden, dadurch konnten die vorgegebenen 25 Punkte in einem Netz meist nicht eingehalten werden. Eine weitere Störquelle der Schweremessungen, waren die fahrenden Baugeräte, durch deren Erschütterung die Messungen beeinträchtigt wurden. Daher wurden die Messungen mit dem Gravimeter an jedem Punkt länger gemessen als vorgesehen. Die gemessenen, relativen Schwerewerte wurden anschließend interpoliert, so dass die Bouguer-Anomalie berechnet werden konnte. Die Bouguer-Anomalie gibt Auskunft über die Dichteverteilung im Untergrund.



Abbildung 8: Bouguer-Anomalie

Mit Abbildung 8 kann die Erdmassenverteilung im Steinbruch nachvollzogen werden. Hierbei bedeutet ein positiver Wert (gelber Bereich) einen Massenüberschuss, wohingegen ein negativer Wert (blauer Bereich) ein Massendefizit aufweist. Bei der Betrachtung der Ergebnisse fällt auf, dass es sich aufgrund des relativ kleinen Gebietes um einen Bereich mit gleicher Dichteverteilung handelt, was auf gleiche Gesteinsarten im Untergrund hindeutet.

## 6 Kinematic Road Survey

### Einleitung

Integrierten Navigationssysteme sind in sehr vielen Anwendungen einsetzbar. So zum Beispiel beim mobilen Laserscanning oder bei Mobile Mapping Systemen. Während der zwei Wochen im integrierten Praktikum wurden unter anderem die Position und die Orientierung des Fahrzeugs während der mit dem verwendeten integrierten Navigationssystem Fahrten erfasst.

### Kurze Erläuterung

An dem Messbus wurden zwei GNSS-Antennen und ein DMI (Distance Measurement Instrument) montiert. Des Weiteren war eine IMU (Inertial Measurement Unit) im Bus montiert.

Diese wurden dann mit der Software POSPac prozessiert. Um genauere Positionen zu erhalten muss eine Referenzstation zur selben Zeit auf einem bekannten Punkt eine Messung ausführen. Diese Referenzstation wird dazu genutzt um Korrektionen an den Koordinaten der gemessenen Positionen anzubringen. Für die acht Gruppen wurden folgende Referenzstationen aufgebaut (siehe Tabelle 12).

Gruppe	Datum	Stations	GNSS Rx	APC [m]
		ID		
F	13.07.2016 Morgens	187	Trimble	1,324
А	13.07.2016 Abends	187	Leica GS15	1,375
Е	14.07.2016 Morgens	217	Leica GS15	1,672
В	14.07.2016 Abends	217	Leica GS15	1,546
М	19.07.2016 Morgens	217	Leica AS10	1,726
Н	19.07.2016 Abends	217	Leica AS10	1,527
К	20.07.2016 Morgens	217	Leica GS15	1,678
L	20.07.2016 Abends	217	Leica GS15	1,715

Tabelle 12: Referenz<br/>stationen



Abbildung 9: Trajektorien der Fahrten

## Zusammenfassung

Über den aufgezeichneten Azimutwinkel kann in dem Plot auch noch die Fahrtrichtung visualisiert werden. Hier zeigen die Pfeile die Fahrrichtung/Orientierung des Fahrzeugs an (siehe Abbildung 10).



Abbildung 10: Orientierung des Fahrzeugs

Weiterhin kann die Genauigkeit der Position entlang der Strecke noch in unterschiedlichen Farben dargestellt werden. Hier werden zum einen die Genauigkeit der Rohdaten und zum anderen die Genauigkeit der prozessierten Koordinaten dargestellt (siehe Abbildung 11).



Abbildung 11: Standardabweichung der Position

Bei diesen zwei Trajektorien fällt auf dass zum einen die Genauigkeit der Rohdaten von über einem Meter auf eine Genauigkeit von meist unter 20 cm fällt. Hier lässt sich auch sehr gut erkennen, dass während der Fahrt durch Wälder die Genauigkeit sehr stark abnimmt. Dieses Phänomen lässt sich in einem Plot (Abbildung 12) auch erkennen. Zu Beginn wurde durch ein Waldstück gefahren. Während dieser Zeit sind durch die hohe Abschattung im Wald nur 5 Satelliten sichtbar. Sobald der Wald verlassen wurde stieg die Anzahl der Satelliten auf bis zu 19 an.



Abbildung 12: Standardabweichung der Position

## 7 Klassifikationen der Landnutzung mit Hilfe von remote sensing

### Einleitung

Ziel dieses Workpackages ist die Erstellung einer Landnutzungskarte für das Gebiet um den Steinbruch bzw. um das Gebiet um Eningen unter Achalm. Für diesen Zweck sollen Satellitenbilder genutzt werden, welche durch Landsat 8 aufgenommen worden sind. Dabei findet sowohl das Konzept einer unüberwachten als auch das einer überwachten Klassifikation Anwendung.

### Vorgehensweise

Ausgehend von den Daten von Landsat 8 wurde vor der praktischen Erfassung von Daten im Feld zunächst eine unüberwachte Klassifikation durchgeführt, sodass gewisse Anhaltspunkte bezogen auf die Landnutzung vorlagen. Während der Beobachtung im Feld konnte die Güte des Ergebnisses dieser ersten Klassifikation beurteilt werden, indem die durch die Klassifikation bestimmte Nutzung mit der tatsächlichen Nutzung verglichen wurde. Zudem sind die erfassten Daten ("Ground Truth Data") Grundlage um die überwachte Klassifikation zu prozessieren. Für die praktische Durchführung im Feld wurde ein Gerät verwendet, welches neben der Bestimmung der eigenen Position die vorhandene unüberwachte Klassifikation enthielt und dadurch eine einfache Möglichkeit zur Editierung bot. So wurde im Feld sobald Abweichungen in der Landnutzung zum Ergebnis der unüberwachten Klassifikation detektiert wurden, mithilfe des Gerätes entsprechende Polygone um die tatsächliche Landnutzung definiert. Dadurch konnte das Ergebnis, welches die Landnutzung aufzeigt noch weiter differenziert werden.



Abbildung 13: Darstellung der gesammelten "Ground Truth Data"

Für den Zweck einer überwachten Klassifikation musste dem Programm "gezeigt" werden, durch welche Eigenschaften sich die Pixel einer bestimmten Klasse auszeichnen, d.h. das Programm wurde trainiert. Hierfür musste zunächst für jede Klasse ein die Klasse repräsentierendes Trainingsgebiet definiert werden, sowie die Signatur dieser einzelnen Klassen bestimmt werden. Bei der Bestimmung der Signatur von einzelnen Pixeln im Bild kann ausgehend dieser Trainingsgebiete auch eine gewisse Wahrscheinlichkeit für die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Klasse errechnet werden. Weiterhin sollte auch ein gewisser Schwellwert definiert werden, um welchen die Signatur einzelner Pixel maximal abweichen darf, um noch einer gewissen Klasse zugeordnet zu werden. Als grundlegende Daten zur Bestimmung der Signatur einzelner Klassen wurde ein multitemporaler Ansatz gewählt, d.h. es wurden Bilder, die zu verschiedenen Zeitpunkten im Jahr aufgenommen wurden, genutzt. Dies ist beispielsweise sinnvoll um Nadel- und Laubwald zu unterscheiden, da der Laubwald aufgrund der fehlenden Blätter im Winter andere spektrale Eigenschaften aufweist als im Sommer. Als Grundlage wurde hierzu hauptsächlich der NDVI Index gewählt, welcher sich aus dem roten und dem nahen infraroten Kanal berechnet. Dieser wurde zudem zu verschiedenen Zeitpunkten ausgewertet, sodass ein gewisser Wandel in der Vegetation, welcher für eine bestimmte Art des Bewuchses charakteristisch sein kann, ersichtlich wird.

Ausgehend von dem NDVI-Index bestimmt dann ein geeignetes Programm die Klasse eines jeden Pixels im Bild. Abbildung 1 zeigt das Ergebnis dieser überwachten Klassifikation.



Abbildung 14: Ergebnis der überwachten Klassifikation

Die unten stehende Tabelle (Abbildung 15) gibt die Genauigkeiten für die jeweiligen Klassen an. Dabei geben die Werten im violetten Teil wie viele der Pixel einer jeweiligen Klasse auch dieser zugeordnet werden konnten. Die Produzentengenauigkeit gibt an zu welchem Prozentsatz die Beobachtungen einer Referenzklasse, der richtigen Klasse zugewiesen wurden. Die Nutzergenauigkeit wie viel Prozent der Beobachtungen einer Klasse tatsächlich dieser Klasse angehören. Aus der Produzentengenauigkeit ergibt sich der Fehler 1. Art der besagt, wie viel Prozent der Beobachtungen einer Referenzklasse einer falschen Klasse zugewiesen wurde. Aus der Benutzergenauigkeit ergibt sich der Fehler 2. Art welcher den relativen Anteil der Beobachtungen ausweist, der irrtümlicherweise einer Referenzklasse zugewiesen wurde.

		- 00							~		
22		Referenzdaten									
		AI.	Wasser	Nadelwald	Laubwald	Wald (Schatten)	Siedlung	Grünland	Summe	Produzenten Genauigkeit	Fehler 1. Art
	Ackerland	<b>1</b> 432	2	26	16	30	223	100	1829	<mark>0,78</mark>	0,22
	Wasser	1	55	0	0	0	0	0	56	0,98	0,02
BL	Nadelwald	277	0	3399	1624	159	331	764	6554	0,52	0,48
fizieru	Laubwald	195	0	562	7906	738	70	136	9607	0,82	0,18
Klassi	Wald (Schatten)	38	0	68	1876	3180	21	330	5513	0,58	0,42
	Siedlung	205	20	10	22	97	1358	31	1743	0,78	0,22
	Grünland	164	0	201	923	286	23	6330	7927	0,80	0,20
	Summe	2312	77	4266	12367	4490	2026	7691	33229		
										Gesamtgenau	igkeit
6	Nutzer Genauigkeit	0,62	0,71	0,80	0,64	0,71	0,67	0,82	<sup>1</sup>	0,712	
	Fehler 2. Art	0,38	0,29	0,20	0,36	0,29	0,33	0,18	8		
2											
		Ka	appa	0,631944	[						

Abbildung 15: Tabelle der Genauigkeiten

### Zusammenfassung und Fazit

Zur Beurteilung der Güte dieser Klassifikation wurden anschließend die während des integrierten Praktikums gesammelten Daten zum Vergleich herangezogen. Es zeigt sich, dass in weiten Teilen der beiden Daten, wie etwa bei den Siedlungen Übereinstimmungen vorliegen, jedoch auch gewisse Abweichungen, wie etwa bei der Unterscheidung zwischen Ackerland und Waldflächen auftreten. Die Grafik (Abbildung 13) zeigt die gesammelten Daten und daher die tatsächliche Nutzung.

## 8 Deformationsanalyse anhand terrestrischen Laserscans

### Einleitung

Das Ziel dieses Workpackages war es eine Deformationsanalyse für den Steinbruch durchzuführen. Mit dem Laser Scanner RIEGL VZ 2000 sollten Scans in 2 Epochen von dem Gebiet erzeugt werden. In der Nachbearbeitung sollten 2 verschiedene Punktwolken erstellt werden, mit denen ein DTM generiert und somit die Deformationen analysiert werden sollten.

### Vorgehensweise

In der zweiten Woche des Integrierten Praktikums wurden 7 Scans in 2 Epochen aufgenommen. Am Dienstag, den 19. Juli war die erste Epoche und am Donnerstag, den 21. Juli war die zweite Epoche. Von den 7 Scans konnten nur die Scans 1 bis 4 verwendet werden, da die Qualität der Scans 5 bis 7 nicht hinreichend gut war und nicht alle nötigen Informationen erfasst wurden. Für die Nachbearbeitung mussten zuerst alle Scans registriert werden, um die Punktwolke in das übergeordnete Koordinatensystem zu transformieren. Hierzu wurde eine Koordinatentransformation mit den Festpunkten aus Messungen mit dem Tachymeter von Workpackage 4 und GNSS Messungen von Workpackage 2 durchgeführt.



Abbildung 16: Aufbau des Netzes

Nach der Georeferenzierung und Registrierung war es möglich, eine Punktwolke aus den 4 Scans für jede Epoche zu erstellen.



Abbildung 17: Punktwolke Ansicht 1



Abbildung 18: Punktwolke Ansicht 2

Bei der Erstellung der Punktwolken traten aufgrund des Bildrauschens einige Probleme auf.



Abbildung 19: Bildrauschen

Das Rauschen konnte etwas abgeschwächt werden, indem Filter benutzt wurden. Hier wurde der sogenannte Filter "regular rendering (vegetation and outliers)"von dem Programm RiScan Pro verwendet.

Für die weitere Bearbeitung wurde das Programm "CloudCompare" genutzt. Da ein paar Gebiete in der Punktwolke wegen dem Rauschen, der LKW's und herumlaufenden Personen, nicht nutzbar waren, haben wir uns auf 5 Teilgebiete konzentriert.



Abbildung 20: Die 5 benutzbare Teilgebiete

Die erwartete absolute Entfernung lag bei 10 cm bis 20 cm. Das folgende Bild zeigt ein flaches Gebiet in der Mitte des Steinbruchs. Hier ist die absolute Entfernung überall weniger als 0.06 m, wie man aus der Skala ablesen kann.



Abbildung 21: Absoluten Entfernungen flaches Gebiet



Abbildung 22: Absoluten Entfernungen Vegetation

Auf dem nächsten Bild (Abbildung 23) sieht man ein Gebiet mit viel Bewuchs, z.B. Bäume. Die absolute Entfernung ist ungefähr 5 mal größer, als in den flachen Gebieten.



Abbildung 23: Absoluten Entfernungen Vegetation

Wie in der folgenden Abbildung 24 zu erkennen ist, unterscheiden sich die Punktwolken im Eingangsbereich des Steinbruchs (blau markiert) und westlich des Steinbruchs (rot markiert) am meisten. Das ist auf das Wetter zurückzuführen. Im blau markierten Teil hatte sich Regenwasser angesammelt und in dem rot markierten Bereich war es zeitweise sehr matschig.



Abbildung 24: Absoluten Entfernungen Vegetation

Für den Vergleich mit dem Workpackage 11 (UAV) wurden die Ergebnisse aus diesem Workpackage mit den Ergebnissen von Workpackage 11 übereinandergelegt. Die weise dargestellte Fläche (Abbildung 25) ist die Punktwolke von diesem Workpackage. An dem Dreifuß (Abbildung 26) ist zu erkennen, dass sich beide Modelle gut überlagern, da er genau auf dem Boden des farbigen Modells des anderen Workpackages steht. Desweiteren sind einige Schatten von Personen, die um dem Laser Scanner herumstehen, zu erkennen.



Abbildung 25: Überlagerung der Photogrammetrischen und der Laserscan-Punktwolke



Abbildung 26: Überlagerung der Photogrammetrischen und der Laserscan-Punktwolke im Detail

### Zusammenfassung

Es wurden 2 Punktwolken erstellt, jede aus 4 Scans und die Registrierung und Georeferenzierung wurde durchgeführt. Ausgehend von den 5 ausgewählten Teilgebieten kann man sagen, dass die Bereiche nahe am Boden eine bessere Genauigkeit aufweisen, als die höheren Teile. Gründe hierfür sind zum Beispiel der Bewuchs, das Rauschen und die Wetterbedingungen. Die Ergebnisse aus den 2 Epochen stimmen weitestgehend überein. Abschließend lässt sich sagen, dass man die Struktur des Steinbruchs grob darstellen und Deformationen in einigen Gebieten erkennen kann. Die Ergebnisse von Workpackage 11 sind jedoch dichter, man kann also Details besser erkennen und Objekte, wie beispielsweise Straßen, Bäume, Häuser und den Boden gut unterscheiden.

## 9 Terrestrische Photogrammetrie

### Einleitung

Das Ziel dieser Übung ist es, mit Hilfe von terrestrischen Aufnahmen sowie mit Aufnahmen von mehreren Drohnenflügen die Umgebung des Steinbruchs aufzunehmen. Im Anschluss wird ein 3D Modell der Gebäude sowie des Schaufelladers erstellt und die dabei erstellten Punktwolken mit denen der anderen Gruppen verglichen.

### Vorgehensweise

Die Übung wurde lediglich in der zweiten Woche durchgeführt, weshalb relativ wenig Zeit für die Aufnahme der Bilder zur Verfügung stand. Dabei wurde am Morgen einer der Schaufellader nahe des Steinbruchs zuerst mit einer Nikon Kamera aufgenommen, anschließend erfolgte die Aufnahme mit Hilfe der Phantom Drohne. Welche beide in Abbildung 27, dargestellt sind.





Abbildung 27: Aufnahme Systeme

Dabei wurden neben den eigentlichen Objekten zusätzlich Signale erfasst, welche ebenfalls von einem Laser Scanner erfasst wurden. Auf diese Weise können die Koordinaten der Signale erfasst werden, welche in Abbildung 28 dargestellt sind.



Abbildung 28: Verwendete Signale

Die während des Fluges mit der Drohne wurden zwar GPS Koordinaten gemessen, jedoch wurden hier Koordinaten der Laser Scanner Gruppe verwendet, da diese eine höhere Genauigkeit aufweisen. Am Mittag wurde noch einmal das gesamte Gebiet erfasst, wobei zu Beginn die Gebäude sowie der Radlader mit der Nikon Kamera aufgenommen wurden. Anschließend wurden mehrere Flüge mit der Phantom Drohne durchgeführt. Der Grund für die Durchführung mehrerer Flüge ist, dass es wichtig ist, dass jeder Punkt in mehreren Aufnahmen enthalten ist. Es ist außerdem darauf zu achten, dass man auch bei den Aufnahmen mit der Nikon Kamera einen regelmäßigen Bildverband hat, und jeder Punkt in mehreren Bildern enthalten ist. In der Auswertewoche wurden anschließend die Aufnahmen Orientiert, wobei die Aufnahmen der Drohne und der Kamera zu Beginn getrennt verarbeitet werden, da eine Auswertung mit beiden zusammen zu viel Zeit beanspruchen würde. In Abbildung 29 sieht man das Ergebnis der eben beschriebenen Bündelblock Ausgleichungen, nachdem sie kombiniert wurden.



Abbildung 29: Modell nach der Bündelblock Ausgleichung

Anschließend können die Marker auf den Signalen platziert werden, wobei jeder Marker auf mindestens drei Bildern abgebildet sein muss. Nun wird eine Dense Point Cloud berechnet (siehe Abbildung 30).



Abbildung 30: Dense Point Cloud

Diese Point Cloud wird anschließend mit der Laser Scanner Gruppe mit Hilfe der Software CloudCompare verglichen. Dabei werden von beiden Projekten die erstellten Punktwolken extrahiert und in CloudCompare eingefügt. Anschließend kann die Übereinstimmung der beiden Projekte festgestellt werden. Dabei wurde eine hohe Übereinstimmung zwischen den beiden Punktwolken festgestellt, was bedeutet, dass die Punktwolken sehr nahe beieinanderliegen.



Abbildung 31: Vergleich der Punktwolken in CloudCompare

Zum Schluss ist es auch möglich, ein texturiertes Modell des gesamten Gebietes zu erstellen, wobei in einem ersten Schritt ein sogenanntes "3D TIN Model" erstellt wird, wobei ein Oberflächenmodell erstellt wird (siehe Abbildung 32).



Abbildung 32: 3D TIN Modell mit 3D Informationen des Schaufelladers

In einem letzten Schritt werden die erstellten "Meshed Models" noch texturiert, was man in Abbildung 33 sehen kann.



Abbildung 33: Texturiertes Modell des Schaufelladers

## Genauigkeit

Mit dem hier erstellten 3D Modell konnte ein Modell erstellt werden, welches auch feine 3D Strukturen enthält, wie man an dem, in Abbildung 34, abgebildeten Schauffellader erkennen kann.



Abbildung 34: 3D Rekonstruktion des Schauffelladers

## 10 Oberflächendarstellung anhand terrestrischer Photogrammetrie

### Einleitung

Das Workpackage 10 beschäftigt sich mit dem Terrestrischen Laserscanning. Dabei werden Oberflächen Modelle von Objekten im Steinbruch Renkenberg mithilfe von Laserimpulsen gemacht. Dieses Jahr konnten leider keine Aufnahmen derselben Gebäude aus den letzten Jahren gemacht werden, weil die Gebäude zum Teil abgerissen wurde und es schlechte Wetterverhältnisse gab. Daher wurde der Einfahrtsbereich mit dem Laserscanner aufgenommen. Es ist zwar kein Vergleich mit dem Ergebnis der letzten Jahre möglich, allerdings wird ein Vergleich mit dem Workpackage 9 (Terrestrische Photogrammmetrie) durchgeführt.

### Kurze Erläuterung

Für die Durchführung wurde das Gerät P20 von Leica verwendet. Da aufgrund der Wetterverhältnisse die Gebäude, die in den letzten Jahren vom WP10 mit dem Instrument digital aufgenommen wurden durch einen See nicht erreichbar waren, musste auf den Einfahrtsbereich ausgewichen werden. Detaillierte Aufnahmen wurden von dem Pförtnerhaus, dem Radlader und der Garage gemacht. Die Objekte wurden mit einer deutlich höheren

Punktdichte aufgenommen. Zuerst wurde eine Skizze für den Aufnahmebereich gezeichnet. Die Schachbrett-Targets wurden gleichmäßig verteilt. Es sollten möglichst viele Schachbrett-Targets von möglichst vielen Standpunkten gesehen werden können. Außerdem sollten die Schachbrett-Targets nicht zu stark verkippt sein, da es sonst zu Komplikationen bei der Erkennung kommen kann. Es sollten mindestens drei Targets von den verschiedenen Standpunkten gesehen werden können, da diese in der Auswertung als Verknüpfungspunkte dienen. Später ist es dann möglich die einzelnen Stationen mithilfe von Verknüpfungspunkten miteinander zu verbinden. Insgesamt wurden bei der Aufnahme sieben Standpunkte verwendet. Im Aufnahmebereich befinden außerdem sich fünf bekannte Referenzpunkte für die Georeferenzierung, deren Koordinaten von den Betreuern zur Verfügung gestellt wurden. Die Referenzpunkte sollen auch für die Standpunkte sichtbar sein. In der Auswertung wurden die beiden Programme Cyclone und CloudCompare eingesetzt. In Cyclone wurde die Registrierung der einzelnen Punktwolken der unterschiedlichen Standpunkte durchgeführt. Anschließend wurden die Koordinaten georeferenziert. Die jetzt georeferenzierte Punktwolke wurde exportiert um sie anschließend mit der georeferenzierten Punktwolke von WP 9 in CloudCompare zu vergleichen.



Abbildung 35: Vogelperspektive des abgescannten Bereiches

### Ergebnisse

Die folgende Abbildung 36 zeigen die Ergebnisse aus CloudCompare. Es wurden verschiedene Oberflächen aus den beiden Punktwolken, die von den WP9 und WP10 stammen, ausgeschnitten um diese miteinander zu vergleichen.



Abbildung 36: Vergleich der Punktwolken

Die Distanzen zwischen den beiden Punktwolken werden in CloudCompare gemessen (Abbildung 36). Die Farbskala an der Seite beschreibt die Distanzunterschiede von den Punkten in den beiden Punktwolken. Da die Standpunktkonfiguration der Photogrammetriegruppe über den gesamten Datensatz uneinheitlich ist und aufgrund anderer Faktoren (Kameraeinstellung, Kamerastabilität, Lichtverhältnisse, Oberflächentexturen, Distanzabhängigkeit usw.), entsteht ein uneinheitliches Rauschverhalten in der bildbasierten Oberflächenrekonstruktion. Dies kann im Vergleich erkannt werden. In der Abbildung 2.1 sind die Differenzen zwischen den beiden Punktwolken recht groß und liegen bei 0.0028 m. Das liegt daran, dass es die Oberfläche eines Radladers darstellt. In der Abbildung 2.2 wird eine Rückwand der Garage verglichen, hier sind die Distanzen zwischen den Punktwolken geringer und liegen bei 0.0011 m. Hier konnten bessere Ergebnisse erzielt werden.



Abbildung 37: Ausschnitte der Punktwolke (WP10)

In der Abbildung 37 können größere Ausschnitte der Punktwolke(WP10) angesehen werden.

### Fazit

Insgesamt sind die Ergebnisse aus den obengenannten Gründen zu erwarten. Es kann gesagt werden, dass in diesem Falle mit dem Laserscanning ein stabileres Rauschverhalten erreicht werden konnte als mit der Terrestrischen Photogrammetrie. Das liegt hauptsächlich daran, dass eine gute Stabilität der Kamera ohne Stativ nicht immer erreicht werden kann. Der Laserscanner ist zwar konstanter in seiner Genauigkeit bei der Strecken- und Winkelmessung, allerdings auch aufwändiger zu verwenden. Bei der Photogrammetrie ist die Genauigkeit sehr situationsabhängig und kann manchmal zum Teil auch besser sein. Als Fazit kann gesagt werden, dass beide Methoden ihre Vor- und Nachteile haben, es muss abhängig von den Anforderungen entschieden werden, welche Technik verwendet wird.

## 11 3D Objekt Rekonstruktion mit UAS - Photogrammetrie

### Einleitung

Aufgabe der Arbeitsgruppe 11 "3D object reconstruction using UAS-photogrammetry" war die Planung, Durchführung und Auswertung einer vollständigen photogrammetrischen Befliegung einer Erddeponie bei Eningen unter Achalm durch eine Drone. Ziel ist es, das gewünschte Gebiet vollständig zu erfassen um eine 3D-Objektrekonstruktion durchzuführen und die Volumenänderungen im Vergleich zu den Vorjahren aufzuzeigen.

### Erklärung

Das Messgebiet wurde in der Zeit des Praktikums auf zwei verschiedene Arten beflogen. Das gesamte Gebiet wurde aus einem klassischen Nadir-Blickwinkel (senkrecht von oben) und ein Teilgebiet aus einem Oblique-Blickwinkel (leicht nach vorne geneigte Kamera) erfasst. Die Schrägbildaufnahmen sollen hierbei einen Mehrwert an Informationen an steilen Hängen liefern. Für die Befliegung wird ein Multicopter verwendet, auf dem eine Ricoh GXR Mount A12 Kamera montiert ist. Die 21 auf dem gesamten Gebiet verteilten Passpunkte, von denen für die Auswertung nur 20 verwendet wurden, dienen, nach Erfassung durch RTK-Messungen, der globalen Referenzierung des Luftbildverbundes. Aus den von der Drohne erfassten Bildern wird ein Orthophoto und ein digitales Oberflächenmodell (DOM) berechnet. Aus den erzeugten Produkten lassen sich Aussagen über den Befüllungsstand der Erddeponie im Vergleich zu den Vorjahren 2014 und 2015 sowie dem Jahr 2002 treffen.



Abbildung 38: Multicopter



Abbildung 39: Kombiniertes Orthophoto aus Nadir und Oblique Bildern

### Ergebnisse

Die Erzeugung des DOM's liefert für die Passpunkte eine Genauigkeit von

- **1.** 0, 11m bzw. 1, 2pix für den Nadir-Flug.
- **2.** 0,54m bzw. 8,7pix für den Oblique-Flug.
- **3.** 0,03*m* bzw. 1,5*pix* für die kombinierte Auswertung (Nadir & Oblique).

Angesichts einer notwendigen Korrektur der gelieferten Rohkoordinaten für die Passpunkte sind diese Genauigkeiten durchaus gut. Eine vollständige Beschreibung und Visualisierung der Höhenveränderung durch Auffüllung der Deponie mit Erdmasse ist somit möglich (siehe Abbildung 40).



Abbildung 40: Höhenveränderung zwischen 2015 und 2016



Abbildung 41: Lage der Profillinie



Abbildung 42: Höhenprofil der Jahre 2002, 2014, 2015 und 2016 in $\boldsymbol{m}$ 

## 12 Topografische Aufnahme der Deponie

### Einleitung

Dieses Arbeitspaket befasst sich mit der Aufnahme einer topografischen Karte, die zur Planung zukünftiger Nutzungen der Erddeponie verwendet werden kann. Das Hauptaugenmerk wurde dabei auf den Eingangsbereich der Erddeponie gelegt. Durch das Vermessen der Zufahrtsstraße und der Gebäude, sowie der Objekte im Gelände, wie beispielsweise den Bäumen, wird eine genaue Aufnahme der Erddeponie erreicht. Zusätzlich soll die Höhe eines Windrades ermittelt werden.

### Vorgehensweise

Nachdem die Daten in den zwei Wochen des integrierten Praktikums in Eningen gesammelt wurden, waren noch ein paar Schritte nötig, bevor die topografische Karte mit ArcGIS erstellt werden konnte. Da die beiden Messteams der ersten Woche keine globalen Koordinaten vorliegen hatten, mussten die Gruppen ein lokales Koordinatensystem definieren, welches in der Nachbearbeitung mittels einer Helmerttransformation in globale Koordinaten überführt wurde. Dafür nutzte man Festpunkte, welche von WP 2 und WP 4 zur Verfügung gestellt wurden. Im nächsten Schritt mussten nun die Messungen der verschiedenen Gruppen zusammengeführt und kombiniert werden, um eine topografische Karte zu erstellen. Dazu wurden auch die händisch erstellten Skizzen verwendet, um mögliche Verwechslungen bestimmter Punkte zu vermeiden.

Zusammenfassung
-----------------

	Koordinaten			Gruppe K		Gruppe I		Gruppe	Gruppe E	
8	v [m]	v [m]	7 [m]	Station	Station	Station	Station	C	Station	Station
	× [iii]	y [111]	2 [11]	1	2	1	2		1	2
A1	3521994,144	5372243,246	712,4199			~	0			Δ
A2	3521999,762	5372267,826	712,1936	0						Δ
A3	3521969,320	5372192,513	716,6001					0	Δ	
A4	3521943,087	5372201,115	716,5441		0	0		0	Δ	
GRAVI22222	3521717,637	5372336,047	716,4061							
N1	3521967,275	5372212,105	716,9033	Δ		Δ	Δ	Δ		
N2_A6	3521981,976	5372207,071	715,9135		Δ	Δ	Δ	0		
N3	3522014,556	5372233,719	713,2872		Δ			Δ		
N5	3521858,664	5372247,580	714,7135							
N6	3521710,051	5372262,535	717,4308							
N7	3521655,752	5372339,732	717,9333							
Q1_4	3521956,758	5372285,758	710,9398	Δ						
Q2_N8	3521719,804	5372329,895	7 <mark>16,64</mark> 75							
Q3_N9	3521821,867	5372281,354	715,4203							
Note:					97 97		9X			
$\Delta$ : fix point, O: check point										

Abbildung 43: Übersicht aller verwendeter Festpunkte

		Gemessene, t Koord	ransformierte inaten	Gegebene k	Differenz		
		х у		х	У	x	У
		[m]	[m]	[m]	[m]	[mm]	[mm]
Gruppe K Station 1	A2	3521999,762	5372267,826	3521999,762	5372267,826	0,3	0,2
Gruppe K Station 2	A4	3521943,086	5372201,116	3521943,087	5372201,115	-0,9	0,9
Gruppe I Station 1	A4	3521943,101	5372201,117	3521943,087	5372201,115	14,1	1,9
Gruppe I Station 2	A1	3521994,121	5372243,182	3521994,144	5372243,246	-23,2	-63,7
	N2	3521981,982	5372207,223	3521981,976	5372207,071	6,2	152,5
Gruppe C	A3	3521969,517	5372192,582	3521969,320	5372192,513	196,6	69,0
	A4	3521943,273	5372200,883	3521943,087	5372201,115	186,1	-232,1
Gruppe E Station 1	none	-	-	-	-	-	-
Gruppe E Station 2	none	-	-	-	-	-	

Abbildung 44: Helmert Transformation 2D Check Point (MatLab)

Die erreichte Genauigkeit nach der Helmert Transformation beträgt für die Gruppen I und K etwa 5cm, was im erwarteten Bereich liegt. Bei der Gruppe C liegt sie dagegen bei 20cm, wobei es uns nicht möglich war, die Ursache dieses Fehlers herauszufinden. Über die Genauigkeit der Gruppe E kann keine Aussage getroffen werden, da keine der benötigten Check Punkte gemessen wurden.

#### Höhe des Windrades

### Gemessene Höhe des Windrades durch WP 3 $H_{ww} = \Delta h_{ww} + H_{C,WP3} = 4,3945 + 716,847 = 721,2415m$

Berechnete Höhe mit  $H_C$  gemessen von WP 12  $H_{ww} = \Delta h_{ww} + H_{C,WP12} = 4,3945 + 716,854 = 721,2485m$