

Integriertes Praktikum 2023

26. August 2023

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Gebietsbeschreibung	4
2.1	Zainingen	4
2.2	Donnstetten	6
3	Aufgabe 1: GNSS Messungen	8
3.1	Einleitung	8
3.2	Arbeitsablauf	9
3.3	Ergebnisse	10
4	Aufgabe 2: Tachymeter Messungen	11
4.1	Einleitung	11
4.2	Arbeitsablauf	11
4.2.1	Planung der Netzwerke	11
4.2.2	Durchführung der Messungen	12
4.2.3	Berechnung der Neupunkte	12
4.3	Ergebnisse	13
4.3.1	Zainingen	13
4.3.2	Donnstetten	14
5	Aufgabe 3: Luftgestützte Datenerfassung, Photogrammetrische 3D-Dokumentation	15
5.1	Einleitung	15
5.2	Arbeitsablauf	16
5.3	Ergebnisse	17
5.3.1	Donnstetten	23
6	Aufgabe 4: Kinematische GNSS Datenerfassung	27
6.1	Einleitung	27
6.2	Theoretischer Hintergrund	27
6.3	Arbeitsablauf	27
6.4	Ergebnisse	28
6.4.1	autonome Fahrt	28
6.4.2	statische Messungen	31
6.4.3	Digitale Höhenmodelle	35
6.4.4	Vergleich Straßenbreite	37
6.4.5	Vergleich Wegpunkte	37
7	Aufgabe 5: Gravimetrie	38
7.1	Einleitung	38
7.2	Arbeitsablauf	38
7.3	Ergebnisse	40

8 Aufgabe 6: Absteckung	41
8.1 Einleitung	41
8.2 Arbeitsablauf	41
8.3 Ergebnisse	41
8.3.1 Donnstetten	43
9 Allgemeine Ergebnisse zum IP	46

1 Einleitung

Der Staat Baden-Württemberg ist historisch signifikant von den Kelten und Römern geprägt. Die Kelten waren zu dieser Zeit die ethnische Gruppe, die in der Gegend ansässig war, und hinterließen - so wie die Römer - archäologische Denkmäler, die vom Landesamt für Denkmalpflege Baden-Württemberg dokumentiert und erhalten werden. Für die integrierte Feldarbeit 2023 wurde eine keltische und eine römische archäologische Stätte mit geodätischen Methoden erkundet, modelliert und dokumentiert.

Das Gebiet von Zainingen hat heute eine Wiesenfläche mit 62 Hügeln. Sie könnten größer gewesen sein, sind aber immer noch erkennbar (siehe Abbildung 1¹). Die Größe der größeren Hügel beträgt 2 m in der Höhe und 30 bis 48 m im Durchmesser. Das Grabhügelfeld hat eine Ausdehnung von 800 x 650 m. Der Friedhof enthält Gräber aus dem 6./5. Jahrhundert v. Chr. bis zum 9./8. Jahrhundert v. Chr. Da die Friedhofsgrenzen etwa auf der römischen Straße im Süden lagen, könnten Grabhügel bereits zerstört worden sein.

Die Römer besiedelten das Gebiet nach der Niederlage der Varusschlacht. Dabei musste der Rhein als nordöstliche Grenzlinie anerkannt werden. Dies führte zu sukzessiven Verschiebungen der Grenzlinien mit temporären Grenzbefestigungen in den folgenden Jahrzehnten, bis das römische Reich die größte Expansion im heutigen südwestlichen Deutschland mit der Errichtung des Obergermanisch-Rätischen Limes um ca. 80 nChr. Das römische Fort in Donnstetten wurde in 1975 entdeckt, und befindet sich auf einem Bergplateau mit dem natürlichen Schutz im Norden durch einer 4-5 m hohen Felswand. Zum aktuellen Zeitpunkt wurden keine Ausgrabungen an der Stätte durchgeführt und deshalb ist das Gelände weitgehend unerforscht.



Abbildung 1: Messgebiet Zainingen

¹Quelle: Dossier LDA BW

2 Gebietsbeschreibung

2.1 Zainingen

Zainingen ist ein Ortsteil der Gemeinde Römerstein im Landkreis Reutlingen in Baden-Württemberg. Der Ortsteil ist mit 801 m Höhenlage neben Donnstetten das höchstgelegene Alldorf im Landkreis. Früher besaß es vier Hülben (Hülbe, Hüle = Wasseransammlung), von denen eine (die größte der Schwäbischen Alb) bis heute erhalten ist.²



Abbildung 2: Messgebiet Zainingen (Quelle: Google Maps)

²<https://www.roemerstein.de/de/Leben-in-Roemerstein/Ortsportrait/Ortsteile/Zainingen>

Das Gebiet ist im Wesentlichen geprägt von einer flachen Weidefläche, mit Ausnahme einer Baumgruppe im östlichen Teil. Ebenso im östlichen Bereich sind kleine Senkungen vorzufinden. Über das gesamte Gelände verteilt liegen kleinere Hügel vor.



Abbildung 3: Südblick



Abbildung 4: Nordwestblick



Abbildung 5: Panoramabild Zainingen

2.2 Donnstetten

Das Messgebiet Donnstetten befindet sich auf der Schwäbischen Alb, in unmittelbarer Nähe von Bad Urach. Es liegt südlich der Gemeinde Donnstetten und östlich der Bundesstraße B465. Die Begrenzungen des Gebiets sind durch die Gemeinde im Norden und die Bundesstraße im Westen klar definiert. Im Osten des Gebiets verläuft ein Wirtschaftsweg, der angrenzend an einen Bauernhof verläuft. Die südliche Begrenzung wird von zwei kleinen Wäldern und einem Hang gebildet (Abbildung 6 & 10).

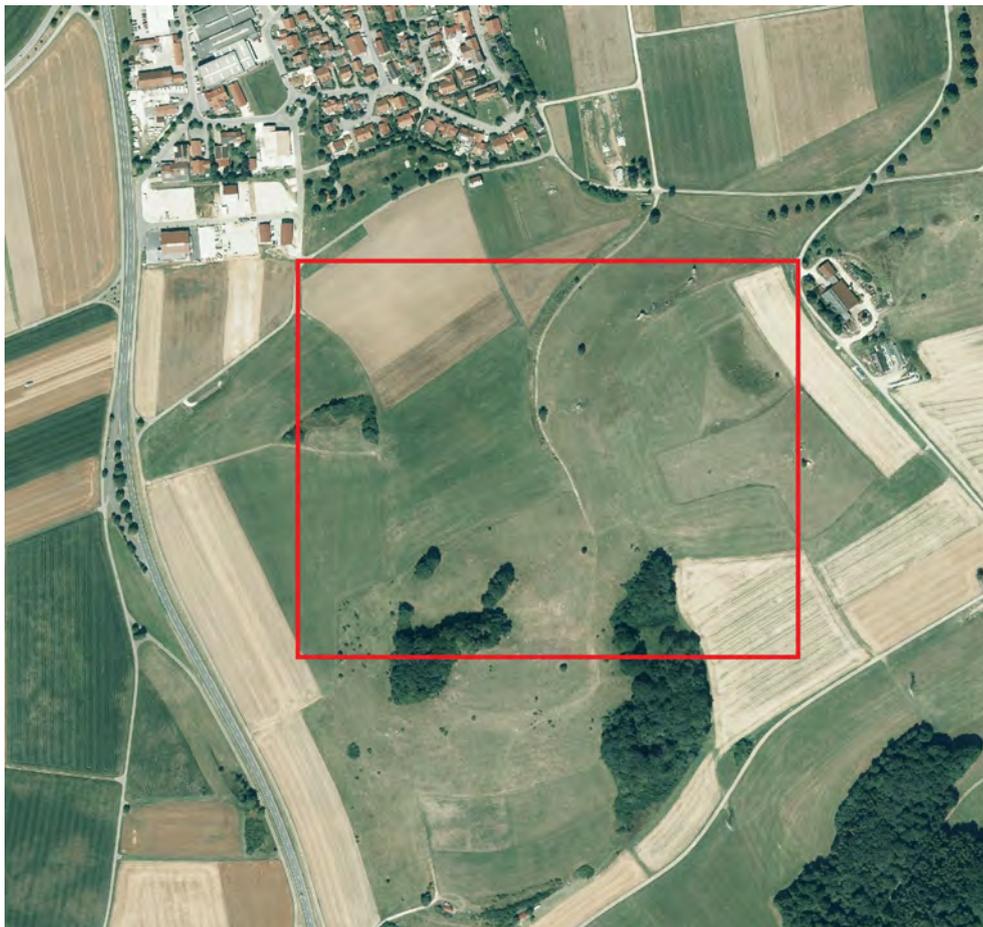


Abbildung 6: Messgebiet Donnstetten

Das Gelände dieses Messgebiets ist durch außerordentlich große Höhenunterschiede gekennzeichnet. Die höchste Erhebung befindet sich in der zentralen Region des Gebiets und flacht in alle Richtungen mit unterschiedlicher Neigung ab. Besonders hervorzuheben ist eine steile Stelle in Richtung der nahegelegenen Ortschaft, die durch eine markante Klippe gekennzeichnet ist (Abbildung 2 & 3).



Abbildung 7: Blick von Donnstetten



Abbildung 8: Klippe

Richtung der Bundesstraße und der Ortschaft wird das Gelände nach einem beträchtlichen Höhenunterschied allmählich flacher und findet Verwendung für landwirtschaftliche Zwecke. In diesem Bereich werden verschiedene landwirtschaftliche Tätigkeiten wie Ackerbau betrieben. Das restliche Gebiet wird hingegen als Weideland für Schafe und Kühe genutzt (Abbildung 4).



Abbildung 9: Blick von Osten



Abbildung 10: Blick Richtung Süden

3 Aufgabe 1: GNSS Messungen

3.1 Einleitung

Die erste Woche des Integrierten Praktikums beschäftigt sich mit dem aufstellen eines Netzwerks aus Festpunkten über die jeweiligen Messgebiete. Dies dient dann in der zweiten Woche als Grundlage für alle weiteren Messungen. Der Aufbau des Netzwerks unterteilt sich grundlegend in zwei Schritte. Durch statische GNSS Messungen werden zwei Neupunkte pro Messgebiet definiert, die eine Basislinie bilden. Anschließend wird in Ausfagbe 2 mithilfe von traditionellen Tachymeter Messungen ein Netzwerk erarbeitet.

Mithilfe von statischen GNSS Beobachtungen können 3D-Netzwerke erstellt werden. Durch die Nutzung von Signalen von GNSS-Satelliten wie GPS, GLONASS, Galileo und BeiDou ermöglichen diese Netzwerke die genaue Bestimmung von Stationspositionen im dreidimensionalen Raum. Ziel der Beobachtungen ist es ein 3D Netzwerk bestehend aus bekannten Festpunkten in der Umgebung und den neuen Kontrollpunkten in den Messgebieten zu etablieren und somit die Koordinaten der neuen Kontrollpunkte zu bestimmen. Als Ergebnis entsteht ein 3D-Netzwerk im globalen Koordinatensystem WGS84. Darüber hinaus umfasst die Ausgabe auch UTM-Koordinaten und die Höhen der neuen Kontrollpunkte.



Abbildung 11: GNSS Empfänger

3.2 Arbeitsablauf

Vor Beginn der Messungen im Feld haben wir die beiden Gebiete besucht, um die Standorte der neuen Punkte auszuwählen und die Satelliten verfügbarkeit an den Festpunkten in der Umgebung zu überprüfen. Anhand dieser Informationen wurden 6 Festpunkte ausgewählt, welche für die späteren Messungen verwendet wurden. Die sollten möglichst gut um die beiden Messgebiete verteilt sein, sodass ein ausgeglichenes Netzwerk entstehen kann. In Abbildung 12 sind die verwendeten Festpunkte dargestellt.

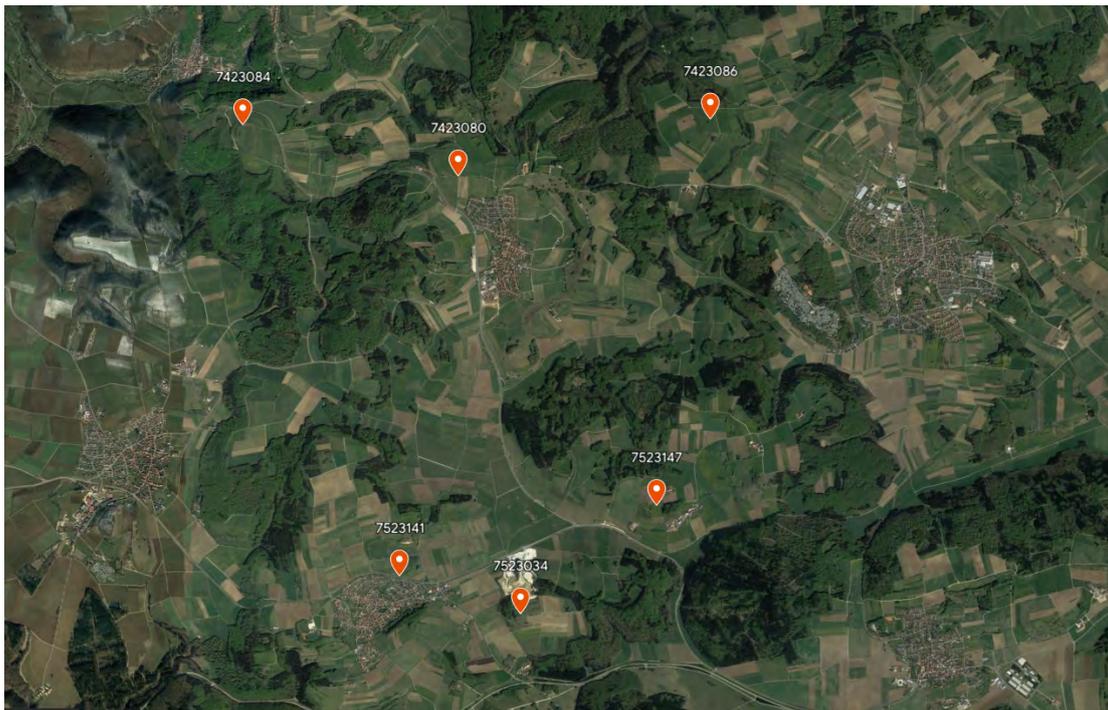


Abbildung 12: GNSS Festpunkte

Für die Messungen in Feld haben wir uns in 7 Gruppen aus je zwei Studierenden aufgeteilt. Somit wurden immer 7 Punkte gleichzeitig gemessen. Während den Messungen ist es das Ziel, dass alle Geräte pro Standpunkt 1 Stunde parallel Daten empfangen. Zwischen der einzelnen Session müssen dann die Standorte gewechselt werden. Da es durch technische Probleme oder auch verlängerte Fahrwege teilweise zu Verspätungen kam, musste die genaue Zeit einer Session oft im Feld angepasst werden.

Tabelle 1: Beispiel Session:

Time/Team 17.07	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4	Team 5	Team 6	Team 7
13:00 – 14:00 Afternoon	7523147	NP 01	NP 02	NP 03	NP 04	7523034	7423080

3.3 Ergebnisse

Nach der Erfassung der Felddaten wurde eine umfassende nachträgliche Auswertung des gesamten Netzwerks durchgeführt, um die Baselines zwischen den Punkten zu berechnen und die abschließenden Koordinaten der neuen Punkte zu ermitteln. Die Ergebnisse für die endgültigen Koordinaten des Netzwerks wurden mithilfe der LeicaInfinity-Software berechnet (siehe Tabelle 2 unten). Die Ausgleichung ergab ein 3D-Netzwerk mit einer Genauigkeit im Millimeterbereich in der horizontalen Ebene und bis zu 1 cm in der vertikalen Höhe. Die erzielte Genauigkeit lässt darauf schließen, dass die meisten Messungen erfolgreich durchgeführt wurden. Leider traten trotz der Vorbereitungen einige Fehler auf.

Tabelle 2: Ausgeglichen Koordinaten

Punkte	E [m]	N [m]	Ellip. H [m]	SD E [m]	SD N [m]	SD H [m]
7423080	32541212.18	5374571.6	864.9599	-	-	-
7423084	32538941.84	5375099.27	827.0617	-	-	-
7423086	32543849.53	5375185.33	885.2527	-	-	-
7523034	32541902.26	5369974.39	907.9219	-	-	-
7523141	32540628.74	5370357.07	860.0841	-	-	-
7523147	32543318.15	5371121.74	877.8603	-	-	-
NP01	32542108.3461	5370786.2908	824.8285	0.0032	0.0038	0.0079
NP02	32541648.5714	5371059.77	821.9024	0.0042	0.0051	0.0105
NP03	32541987.5401	5372914.7567	874.8998	0.004	0.0049	0.0101
NP04	32542021.5161	5373128.2559	881.449	0.0038	0.0045	0.0092

4 Aufgabe 2: Tachymeter Messungen

4.1 Einleitung

Um die Aufgaben der zweiten Woche durchführen zu können, ist es notwendig sich beinahe überall in beiden Arbeitsgebieten frei stationieren zu können. Das heißt von jedem benötigten Tachymeter Standpunkt müssen mindestens drei bekannte Punkte sichtbar sein. Um dies zu ermöglichen wird im 2. Arbeitsschritt ein Netzwerk aus zusätzlichen bekannten Punkten erstellt.

4.2 Arbeitsablauf

4.2.1 Planung der Netzwerke

Zuerst mussten die Positionen der Punkte unter Berücksichtigung von Sichthindernissen wie z.B. Baumgruppen oder Höhenunterschiede festgelegt werden. Es wurden acht neue Punkte in Zainingen und neun neue Punkte in Donnstetten vermessen.



Abbildung 13: Punkteübersicht in Zainingen (Neupunkte in gelb)



Abbildung 14: GNSS Punkte(np3 und np4) und Neupunkte in Donnstetten

4.2.2 Durchführung der Messungen

Zuerst wurden die festgelegten Neupunkte mittels Pflöcken vermarktet. Danach wurde das Tachymeter an verschiedenen Positionen aufgebaut und Strecken und Richtungen zu allen vom aktuellen Standpunkt aus sichtbaren Neupunkten gemessen. Jeder Punkt wurde von mindestens zwei Tachymeter Standpunkten aus gemessen, damit die Redundanz. Um die Genauigkeit der Messwerte zu erhöhen wurden zu große Entfernungen und Strecken nah am Boden wenn möglich vermieden. In Donnstetten war dieser Vorgang nach 2 Tagen abgeschlossen. In Zainingen wurden aufgrund von am Wochenende durchgeführten Mäharbeiten alle Punkte bis auf CP05, CP06 und CP07 beeinträchtigt, weshalb die Messungen basierend auf diesen 3 Punkten am Montag der zweiten Woche wiederholt werden mussten.

4.2.3 Berechnung der Neupunkte

Die Daten wurden exportiert, unformatiert und in der Netzausgleichungssoftware JAG3D importiert. Entscheidend dafür war das alle Messungen den richtigen Standorten zugeordnet wurden. Zusätzlich wurden ungenaue oder fehlerhafte Messungen falls möglich entfernt. Im letzten Schritt wurden dann die aus Aufgabe 1 bekannten Koordinaten der GNSS Punkte eingefügt. Danach konnte die Ausgleichung durchgeführt werden, um die UTM-Koordinaten der Neupunkte zu berechnen, die für die späteren Aufgaben benötigt werden.

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Zainingen

Für die Neupunkt Koordinaten ergab sich:

Tabelle 3: Ausgeglichene Punktkoordinaten und Standardabweichungen Zainingen

Point-Id	East E [m]	North N [m]	Ellips. Height H [m]	σ_y [mm]	σ_x [mm]	σ_z [mm]
CP01	32541848.0692	5370987.4413	824.4491	9.0	9.7	5.6
CP03	32541917.5633	5370690.8569	826.4392	15.0	11.2	5.6
CP04	32541724.0626	5370676.4243	828.0554	15.4	8.1	5.6
CP08	32541905.7041	5371075.9538	821.9908	8.7	10.9	5.6
NP01	32542108.4896	5370786.2107	824.6866	12.5	16.3	5.6
NP02	32541648.4830	5371059.8013	821.7231	8.7	8.0	5.6
SP20	32541720.9956	5371071.8746	823.6814	8.7	8.0	5.6
SP21	32541790.6555	5370942.1936	826.5879	9.5	8.7	5.6 </td
SP22	32541938.3226	5370843.9737	827.7425	11.2	11.7	5.6
SP23	32541839.1430	5370719.9424	828.8076	14.2	9.5	5.6
SP24	32541691.0579	5370963.6849	825.2570	9.2	7.9	5.6

Dargestellt als Karte mit Fehlerellipsen ergibt sich:

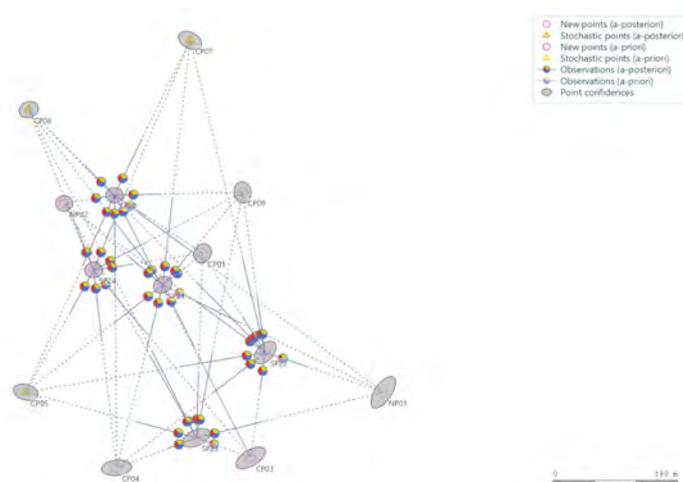


Abbildung 15: Ergebnis der Ausgleichung Zainingen

Die Standardabweichungen in der Lage (σ_x , σ_y) liegt . Im Vergleich dazu sind die Standardabweichungen in der Höhe σ_z ca. bei der Hälfte mit 5.6 mm. Die Fehlerellipsen für die Punkte in der Mitte des Geländes sind nahezu kreisförmig, während die Punkte am Rand des Geländes ellipsenförmig sind. Die Ellipsenform deutet auf eine ungleiche Verteilung der Standardabweichung in x und y hin.

4.3.2 Donnstetten

Für die Neupunkt Koordinaten ergab sich:

Tabelle 4: Ausgeglichene Punktkoordinaten und Standardabweichungen Donnstetten

Point-Id	East E [m]	North N [m]	Ellips. Height H [m]	σ_y [mm]	σ_x [mm]	σ_z [mm]
dp1	32541867.9092	5373244.5846	837.7053	5.9	5.7	3.5
dp2	32542074.9762	5373162.6201	875.9070	3.9	4.6	2.2
dp3	32541976.1045	5373069.3382	875.7647	3.1	2.7	1.8
dp4	32541764.2035	5372952.4413	850.4723	4.0	6.5	2.6
dp5	32541977.2246	5372976.3460	875.9988	2.6	2.7	1.7
dp6	32542116.1071	5372939.7601	873.6594	6.2	5.0	2.8
dp7	32542171.8569	5372879.9881	867.9046	6.1	6.2	3.0
dp8	32541927.3908	5372761.6775	874.8480	5.6	3.9	2.3
dp9	32542076.6038	5373103.2650	880.4847	3.3	4.0	2.0
np3	32541987.5401	5372914.7567	874.8998	-	-	-
np4	32542021.5161	5373128.2559	881.4490	-	-	-

Dargestellt als Karte mit Fehlerellipsen ergibt sich:

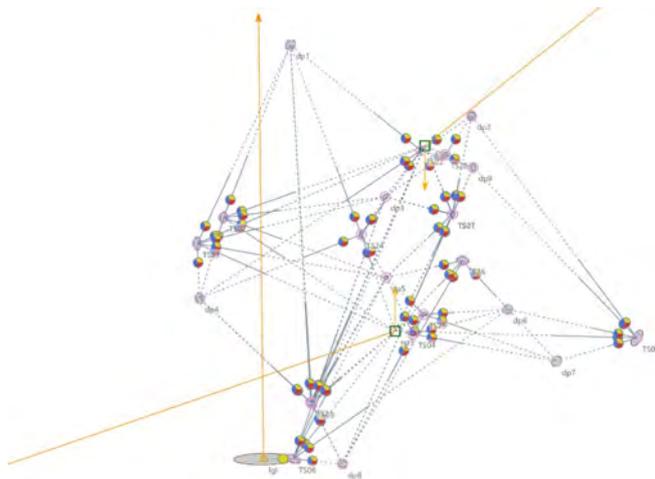


Abbildung 16: Ergebnis der Ausgleichung Donnstetten

Im Vergleich zu Zainingen sind die Standardabweichungen für das Gebiet Donnstetten kleiner. Die Genauigkeit ist im Raum $(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z)$ im Millimeterbereich. Die Fehlerellipsen sind für alle Punkte nahezu ellipsenförmig, bis auf für den Punkt 1g1.

5 Aufgabe 3: Luftgestützte Datenerfassung, Photogrammetrische 3D-Dokumentation

5.1 Einleitung

Um ein großes Gebiet schnell aufnehmen zu können, sind luftgestützte Systeme hervorragend geeignet. Bei kleineren Gebieten oder bei hohen Genauigkeitsanforderungen ist die luftgestützte Plattform in der Regel ein unbemanntes Luftfahrzeug (Unmanned Aerial Vehicle (UAV)). Oftmals handelt es sich dabei um eine Drohne. Für dieses Projekt wird eine DJI Phantom 4 RTK (Quadrocopter) verwendet. Kleine Drohnen sind kosten- und zeiteffizient.

Für Luftbildbefliegungen werden zusätzlich zu den klassischen RGB-Kameras häufig Multispektralkameras eingesetzt. Diese nehmen andere Teile des elektromagnetischen Spektrums auf, z. B. thermisches Infrarot oder nahes Infrarot (735-790 nm). Aus dem Verhältnis zwischen dem von den Pflanzen reflektierten roten und infraroten Licht lässt sich der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ableiten. Dieser beschreibt die photosynthetische Aktivität und steht somit in direktem Zusammenhang mit der Vitalität der Pflanzen. Der NDVI wird sowohl in der Landwirtschaft als auch zum Auffinden historischer, verborgener Strukturen verwendet. Aufgrund von Veränderungen des Bodens ist das Pflanzenwachstum leicht unterschiedlich, was zu unterschiedlichen NDVI-Werten führt.

Ziel ist es, ein digitales Oberflächen-/Geländemodell (DOM/DGM) und ein Orthophotomosaik der Kulturstätte in Zainingen zu erstellen. Dies ist entscheidend für die Dokumentation dieser historischen Stätte. Das hochgenaue und geokodierte Orthophoto kann später für die Kartierung und Dokumentation des Areals dieser historischen Stätte verwendet werden. Neu entdeckte Strukturen können dann vermarktet werden. Hier wird die DJI Phantom 4 RTK Standard DJI Zenmuse FC6310R Kamera in Kombination mit der Parrot Sequoia Multispektralkamera verwendet. Parrot Sequoia hat vier Kanäle. Einer davon ist Rot und einer ist NIR. Damit ist es möglich, den NDVI zu berechnen. Die erstellten Bilder werden mit einem standardisierten photogrammetrischen Verfahren verarbeitet. Hierfür wird die Software Agisoft Metashape Professional verwendet. Die RGB und Multispektral-Orthophotomosaik werden für den Standort in der Nähe von Zainingen und Donnstetten erstellt. Das Gebiet mit den keltischen Grabhügeln hat die Ausdehnung von ca. 800 m x 650 m, das Gebiet des römischen Forts eine von ca. 700 m x 850 m.

Die DJI Standard-RGB-Kamera und die Parrot Sequoia haben unterschiedliche Sensorformate. Daher wird die GSD beider Kameras nicht die gleiche sein. Mit einer Kombination aus signalisierten Punkten und der RTK-Position der Drohne wird eine Georeferenzierung des Endprodukts möglich. Das Endprodukt wird in UTM-Koordinaten vorliegen.

5.2 Arbeitsablauf

Bei der Flugplanung gibt es einige Eckdaten bzw. Vorgaben die die Befliegung maßgebend bestimmen. Dazu gehören vor allem die Spezifikationen der beiden Kameras:



Abbildung 17: Verwendete Kameras mit ihren Spezifikationen

Die für die Flugplanung relevante Kamera ist die DJI Zenmuse Kamera. Der Flug wird mit beiden Kameras gleichzeitig durchgeführt. Die Längsüberdeckung ($p = 0.8$) und Querüberdeckung ($q = 0.6$) wurden aufgrund von Erfahrungswerten festgelegt. Zusätzlich ist wichtig zu wissen, dass laut den Vorschriften für Drohnenbefliegungen in Deutschland die maximale erlaubte Flughöhe 120 m ist und ein Abstand von 100 m zu Hauptverkehrsstraßen eingehalten werden muss. Um die Flughöhe berechnen zu können muss man sich noch Gedanken über die gewünschte GSD machen und was dies für die Genauigkeit der Festpunkte bedeutet die zur Georeferenzierung verwendet werden: Grundsätzlich sollten die Festpunkte mindestens doppelt so genau sein wie die GSD im berechneten Orthofoto. Ein realistischer Wert für die Genauigkeit der Festpunkte liegt bei ca. 1,5 cm. Somit sollte die GSD bei ca. 3 cm liegen. Dadurch ergibt sich folgende Flughöhe durch die bekannte Formel:

$$h = GSD \cdot \frac{c}{\Delta pix} = 110\text{m} \quad (1)$$

(h=Flughöhe, GSD=GroundSamplingDistance, c=Brennweite, Δpix =Pixelgröße)

Ein zweiter Flug wird angesetzt mit einer Höhe von 80 m und rechtwinkliger Streifenrichtung zum ersten Flug um die Aufnahme zu verbessern. Für die exakte Flugplanung wird das Programm Ardu Mission Planner verwendet. Die eigentliche Flugplanung wird aber erst vor Ort von der Drohnensoftware, aufgrund eines vorher importierten Höhenmodells und einer kml-File, die den Bereich begrenzt, berechnet. Trotzdem ist die Planung im voraus notwendig um eventuelle Änderungen vorzunehmen. Vor Ort wurden Schwarz/Weisse Targets als Festpunkte verwendet. Diese sind gut in den Bildern zu erkennen weil sie sich vom Hintergrund abheben. Geplant war es 15 Stück zu verwenden. Durch Komplikationen standen uns nur 9 Targets zur Verfügung. Durch optimale Verteilung der Targets stellt dies aber kein Problem dar. Es wurde je ein Target in den Ecken des Befliegungsgebietes platziert und der Rest der Targets gleichmäßig über das Gebiet verteilt. Die Targets wurden

auf einem Holzplock mittels Schraube montiert und im Boden fixiert (siehe Abb. 18). Für die Einmessung der Targets siehe Bericht Aufgabe 2.



Abbildung 18: Schwarz/Weiß Ziele (BW) auf Holzplock geschraubt

Vor Ort wurde die Entscheidung von den Betreuern getroffen, den Flug aus Effizienzgründen auf 70 m Flughöhe durchzuführen. Die Planung der Flugstreifen nimmt die Drohnensoftware automatisch vor.

5.3 Ergebnisse

In der Nachbearbeitung ist es notwendig eine Kombination aus Kontroll- und Passpunkten (engl. check points & control points) auszuwählen um in der anschließenden Bündelblockausgleichung möglichst gute Ergebnisse zu erhalten. Für die Fehler der ausgewählten Kombination (siehe Abb. 19).

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
T7	-4.09474	2.62371	-0.434752	4.88259	0.331 (13)
T1	0.702794	7.83978	1.80467	8.07545	0.399 (16)
T5	1.7713	-5.66134	0.410098	5.94613	0.459 (12)
T3	7.27688	-0.549429	-0.534618	7.31715	0.468 (14)
T4	6.16527	-5.00254	0.26029	7.94378	0.454 (13)
T9	1.10687	-1.80018	-2.00751	2.91477	0.489 (14)
Total	4.3318	4.63617	1.15453	6.44915	0.436

Table 10. Control points.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
T8	-0.781892	3.14974	-3.20095	4.55833	0.411 (14)
T2	5.39	5.2105	0.596648	7.52047	0.367 (15)
T6	-1.07395	-2.37367	-4.61901	5.30311	0.275 (12)
Total	3.20504	3.77291	3.26279	5.92899	0.359

Table 11. Check points.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Abbildung 19: Genauigkeiten der Pass- und Kontrollpunkte (engl. control points & check points)

Die Genauigkeit der Passpunkte liegt für X und Y bei 4 cm, aber in der Höhe bei nur 1 cm. Im Vergleich dazu ist die Standardabweichung der Kontrollpunkte in X,Y,Z bei 3 cm. Insgesamt ist die Genauigkeit der Passpunkte um 0.1 pix ungenauer, als die der Kontrollpunkte.

Mit diesen Informationen konnte ein Digitales Oberflächen Modell (DOM) erzeugt werden. In diesem sind die Grabhügel deutlich sichtbar. Neben den Grabhügeln, heben sich vor allem Straßen und Bäume ab.

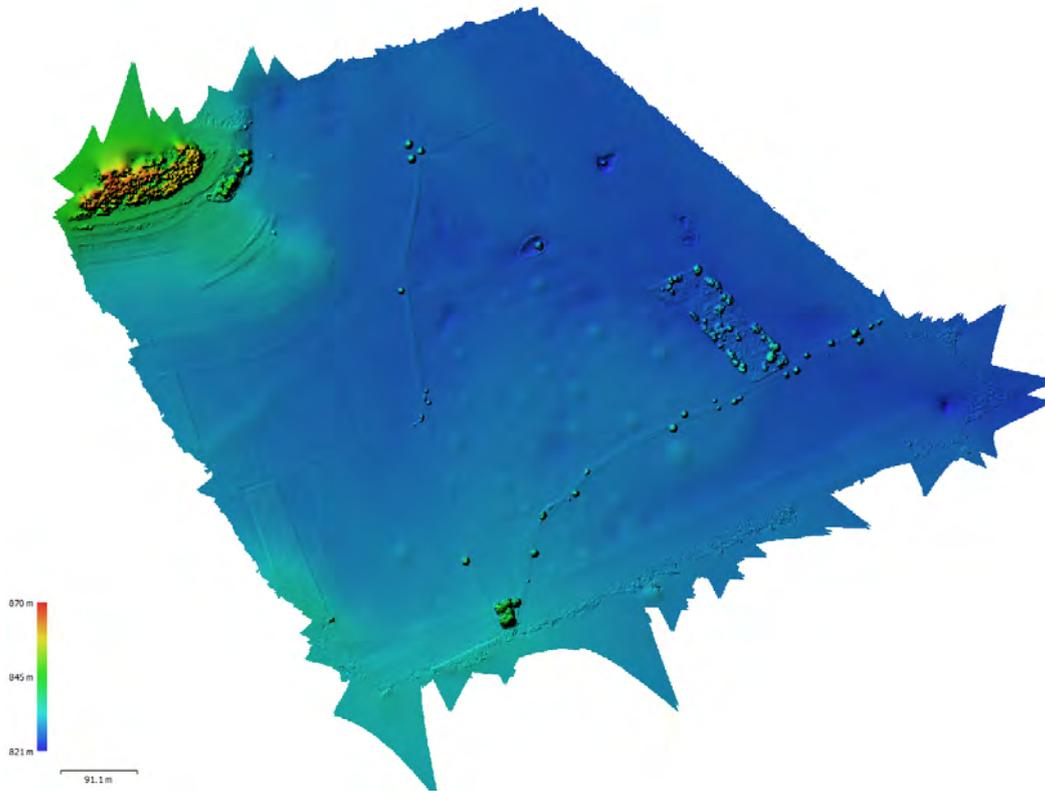


Abbildung 20: Genauigkeiten der Pass- und Kontrollpunkte (engl. control points & check points)

Zur Validierung des erzeugten DOMs wird dieses mit einem DOM des LGLs verglichen. Dabei werden die beiden übereinander gelegt und die Differenzen zwischen diesen gebildet. In der Abb. 21 ist am rechten Rand die Differenz in [m] dargestellt. Im Mittel weichen beide DOMs 2,5cm voneinander ab.

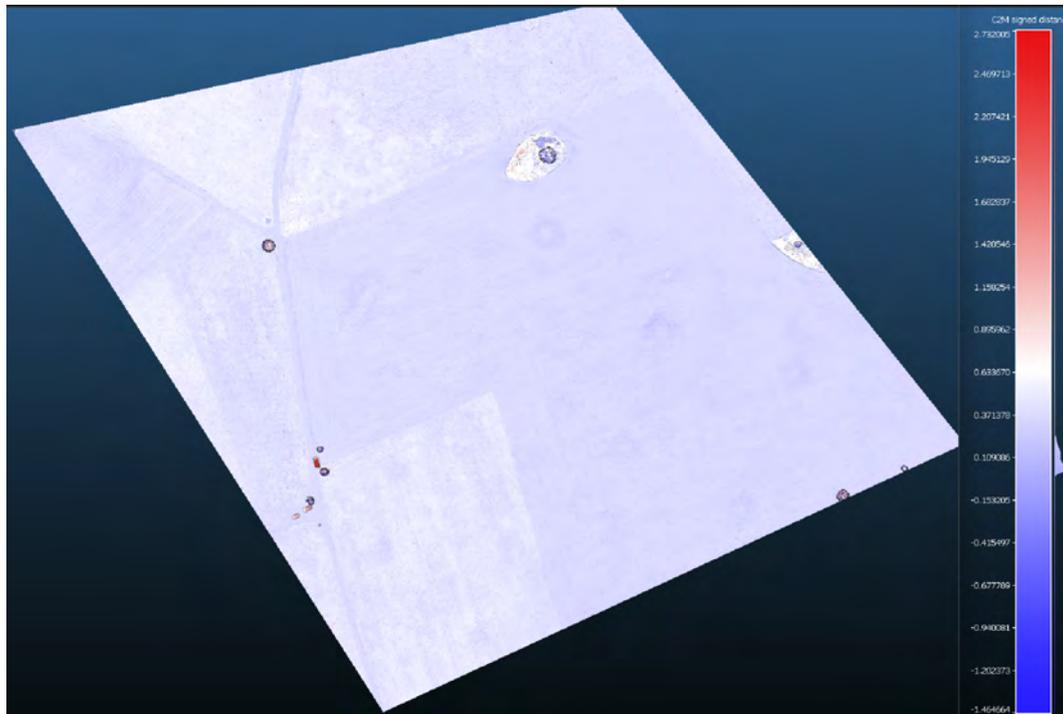


Abbildung 21: Vergleich des DOM des LGLs und das von der Dronenbefliegung

In dem Orthophoto (Abb. 22) sieht man teils deutliche Farbunterschiede. Der genaue Ursprung dieser ist nicht klar. Eine Erklärung ist, das die Drone einmal vor und einmal nach einem Regenschauer geflogen ist.



Abbildung 22: Orthophoto des Befliegungsgebietes in Zainingen

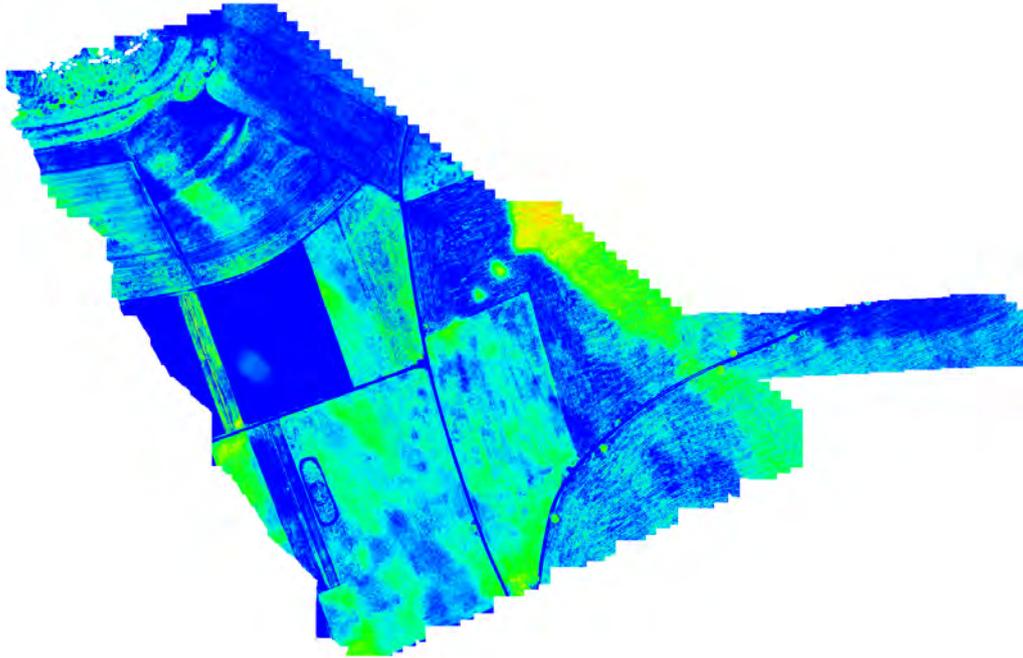


Abbildung 23: NDVI: Dunkelblau bis Rot (niedriger bis hoher Wert)

Der von der Sequoia-Multispektralkamera abgedeckte Bereich ist kleiner, da sie nicht während des gesamten Fluges Bilder aufgenommen hat. Trotzdem kann man interessante Beobachtungen machen: Die gemähten Flächen lassen sich deutlich von den ungemähten Flächen unterscheiden. Brachliegende Felder sind als dunkelblau sichtbar, was auf einen niedrigen NDVI Wert bedeutet. Keltische Grabhügel sind überhaupt nicht sichtbar. Das lässt den Schluss zu, dass der NDVI nicht geeignet ist, um sie zu erkennen, zumindest nicht zu dieser Jahreszeit. Eine weitere interessante Beobachtung ist der sehr grüne Bereich auf der rechten Seite. Diese Fläche koinzidiert mit der Farbanomalie, die auf dem Orthofoto zu sehen ist (siehe Abb. 22) überein. Daher ist die Theorie, dass dies vom Regen zwischen den Drohnenflügen kommt, gestärkt.

5.3.1 Donnstetten

Im Gebiet Donnstetten liegt der Fokus der Untersuchung auf der römischen militärischen Einrichtung in die in diesem Gebiet gewesen ist. Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus der NDVI - Karte des Gebietes. Darin sind zwei parallel verlaufende Linien zu erkennen. Das sind Spuren von der Mauer der Festung. Die Theorie ist dass die Holzkonstruktion der mauer über der Zeit erodierte und für eine Zusammensetzung des Bodens sorgte das für den Wachstum der Pflanzen von Vorteil ist.

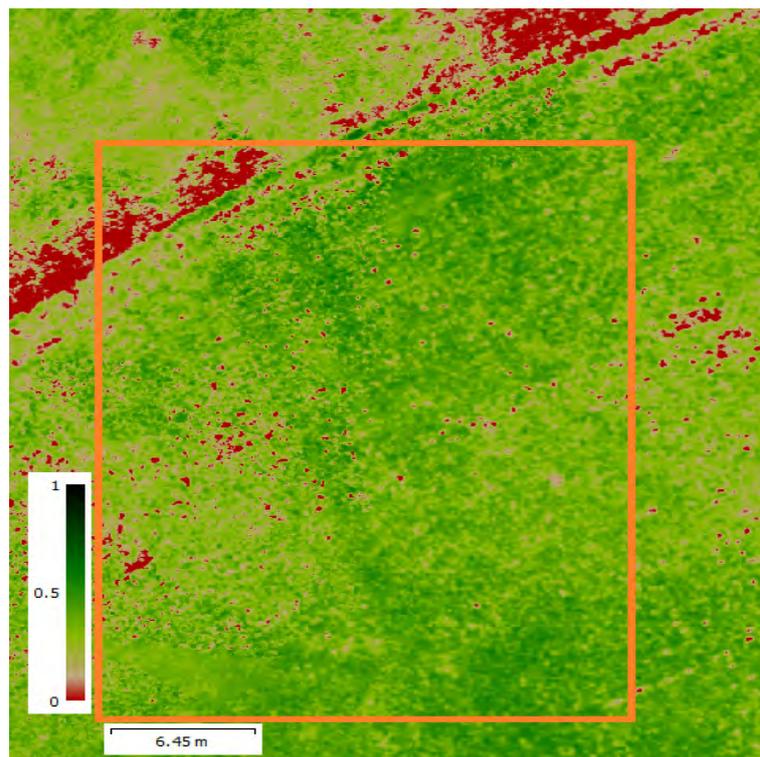


Abbildung 24: Mauern der alten Festung

Die Betrachtung des DSM und der NDVI-Karte des gesamten Gebietes lässt mehrere Schlussfolgerungen zur Vegetation des Gebietes zu. Diese werden durch das Orthomosaik bestätigt.

Zunächst kann man mit Hilfe des NDVI sehr gut zwischen bewirtschafteten Feldern und Grünflächen auf denen kein landwirtschaftlicher Anbau stattfindet unterscheiden. Einerseits sind Kultivierte Flächen rechtwinklig, sieht man im NDVI sehr gut, andererseits sind diese Flächen überwiegend mit roter Farbe dargestellt. Die rote Farbe deutet auf nicht photosynthetisierende Pflanzen hin. Die meisten Felder werden zu der Jahreszeit geerntet zu der die Aufnahmen gemacht wurden sind. Die Felder die nicht schon geerntet wurden zeigen, auch im orthomosaik eine sehr gelbliche Farbe. Das schließt erneut auf das nicht Vorhandensein der Photosynthese. Nicht zum Anbau genutzte Flächen zeigen ein weitaus größeres Spektrum von Rot bis hin zu Grün. Außerdem sind auf diesen Flächen keine

rechten Winkel erkennbar. Bemerkenswert ist dass gemähte Bereiche dieser Flächen viel gesünder erscheinen wie nicht gemähte.

Zur Gesundheit der Pflanzen im Gebiet kann man eine weitere Aussage treffen. Dazu muss man sich zunächst mit den Höhenänderungen des Gebiets vertraut machen. Hierzu kann man das DSM zuhulfe nehmen. Man sieht dass die Bereiche des Gebiets die als lokale Tiefpunkte identifiziert werden können die gesündeste Vegetation tragen. Die Theorie ist dass das wenige Wasser was zur Jahreszeit zur Verfügung steht an diese Tiefpunkte fließt. Die Pflanzen die in diesen Tiefpunkten wachsen damit die sind die am meisten Wasser erhalten. Es steht uns kein Mittel zur Verfügung diese Theorie nachzuweisen jedoch ist es eine interessante Beobachtung.

Auf die folgenden drei Abbildungen stützen sich die genannten Analysen.

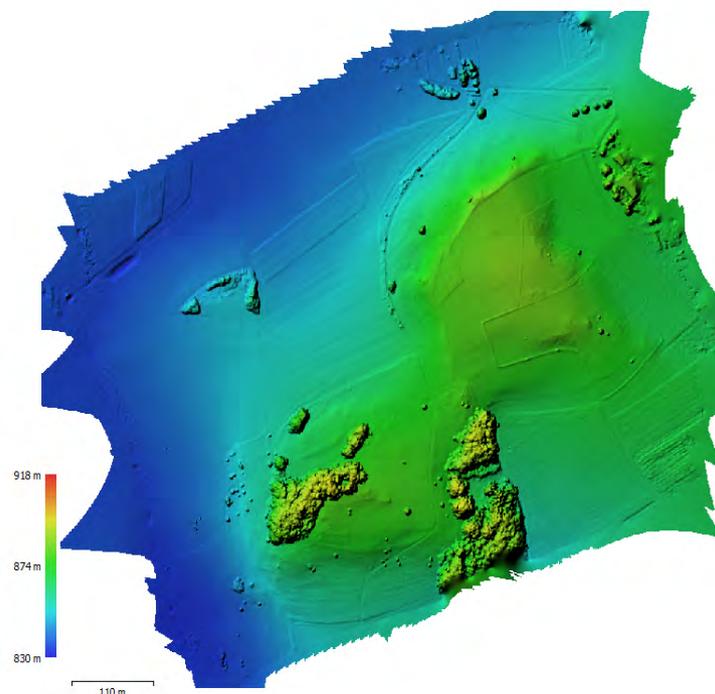


Abbildung 25: DSM des Untersuchungsgebiets

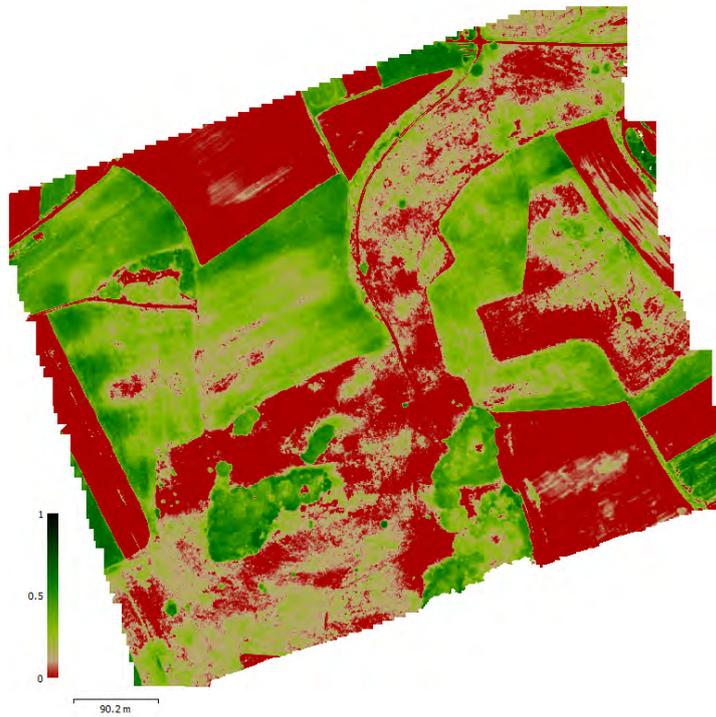


Abbildung 26: NDVI des Untersuchungsgebiets



Abbildung 27: Orthomosaik des Untersuchungsgebiets

6 Aufgabe 4: Kinematische GNSS Datenerfassung

6.1 Einleitung

Die kinematische GNSS Datenerfassung findet in nahezu allen Navigationsanwendungen - vom Navigationssystem eines Pendlers über Schifffahrtsnavigation bis zu agrarwirtschaftlichen Anwendungen - statt. Vom Institut für Navigation Stuttgart (INS) wurde ein steuerbares Auto mit zusätzlicher Hardware für Messungen ausgestattet (siehe Abbildung 28). Jenes Auto erfasste dann unter Zuhilfenahme einer Basisstation kinematisch Daten entlang des Geländes.



Abbildung 28: INS Auto

6.2 Theoretischer Hintergrund

Die Messungen erfolgen über RTK (real time kinematic)-Positionierung. Hierbei wird eine Basisstation aufgestellt, welche als statische Referenz dient. Die Station erfasst kontinuierlich via Satelliten Korrekturdaten. Generell gilt, dass aus mehr Messungen eine genauere Position resultiert. Das Auto lässt sich über WLAN mit der Basisstation, so wie einem Laptop, verbinden. Dies bietet die Möglichkeit, die Position des Autos auf der Mission Planner Software zu verfolgen. Ebenso lässt sich mit der Software eine autonom abfahrbare Route planen.

6.3 Arbeitsablauf

Die Planung der autonomen Fahrt fand auf dem Gelände selbst statt, da die genaue Lage der Hindernisse vor Ort wesentlich besser eingeschätzt werden konnte. Hierbei fuhr das

Auto Schleifen ab, die durch Parameter, wie der Linienabstand von 2 m oder die Geschwindigkeit von $5 \frac{m}{s}$ definiert wurde. Aufgrund der Unebenheiten und Hindernisse im Gelände, wurde die autonome Fahrt auf einen kleinen, sicheren Bereich begrenzt. Das restliche Gelände wurde dann manuell abgefahren. Für den Vergleich zu anderen Arbeitspaketen wurde die manuelle Fahrt mit speziellen Messungen ergänzt:

1. Es wurde im Vorfeld mittels Tachymeter und Reflektor das Profil einer Straße mit 10 Punkten in einem Abstand von ca. 1 m abgemessen. Jene wurden dannach mit dem Auto statisch mit einer Dauer von je 1 min gemessen.
2. Die Breite der Straße wurde an mehreren Stellen einerseits mit einem Maßband vermessen. Mit dem Auto ließ sich die Straße in Form eines Rechteckes abfahren, so dass die Straßenbreite beider Messverfahren verglichen werden kann.
3. Aus den erfassten Positionsdaten mit dem Auto lässt sich mittels Vermaschung bzw. Triangulation ein Geländemodell errechnen. Ähnlich dazu ergibt sich ein Oberflächenmodell aus der photogrammetrischen Datenerfassung mit der Drohne. Zusätzlich gibt es ein Geländemodell des Landesamts. Diese drei lassen sich alle in Bezug auf Lage und Höhe vergleichen.

6.4 Ergebnisse

6.4.1 autonome Fahrt

Die Abbildung 29 stellt die Fahrt des Autos in 2D dar. Die geplante Schleifenspur ist ersichtlich. Auffällig ist eine Unterbrechung der Struktur in Zainingen. Zur weiteren Analyse werden dabei die Positionsdaten aus Zainingen in Abb. 31,32,33 näher betrachtet.

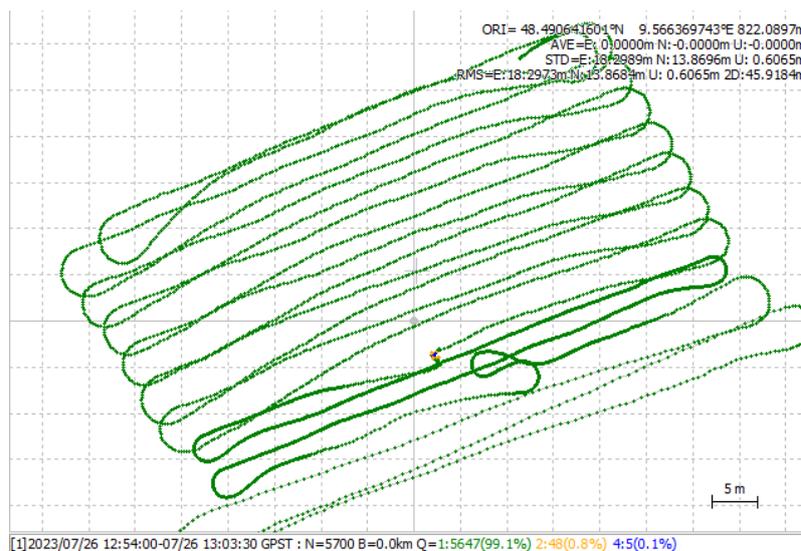


Abbildung 29: Spur des Autos Zainingen



Abbildung 30: Spur des Autos Donnstetten

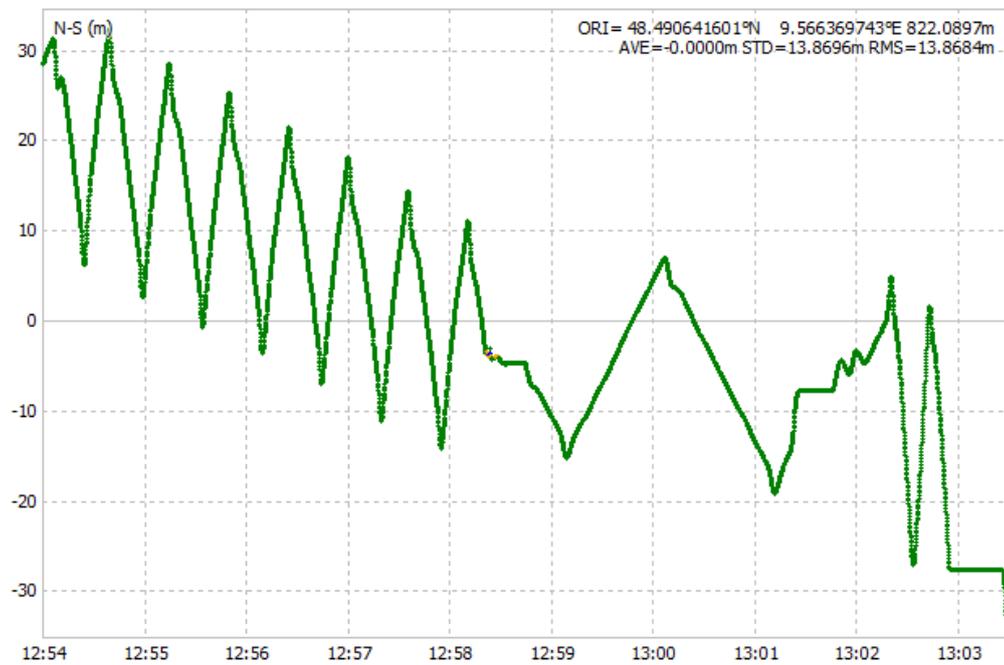


Abbildung 31: Positionsdaten des Autos - Nord-Süd

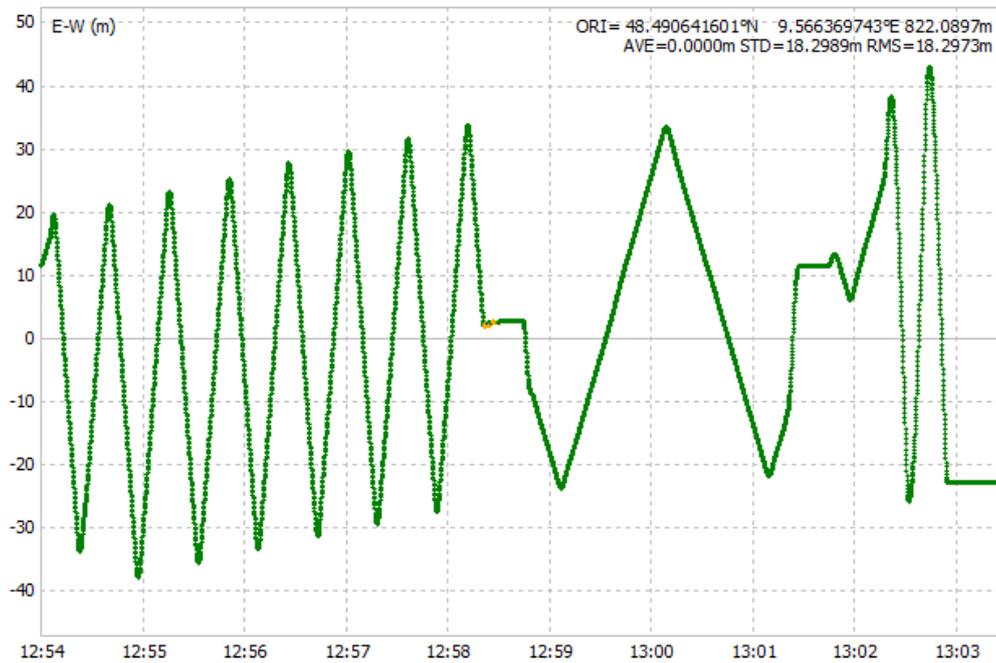


Abbildung 32: Positionsdaten des Autos - Ost-West

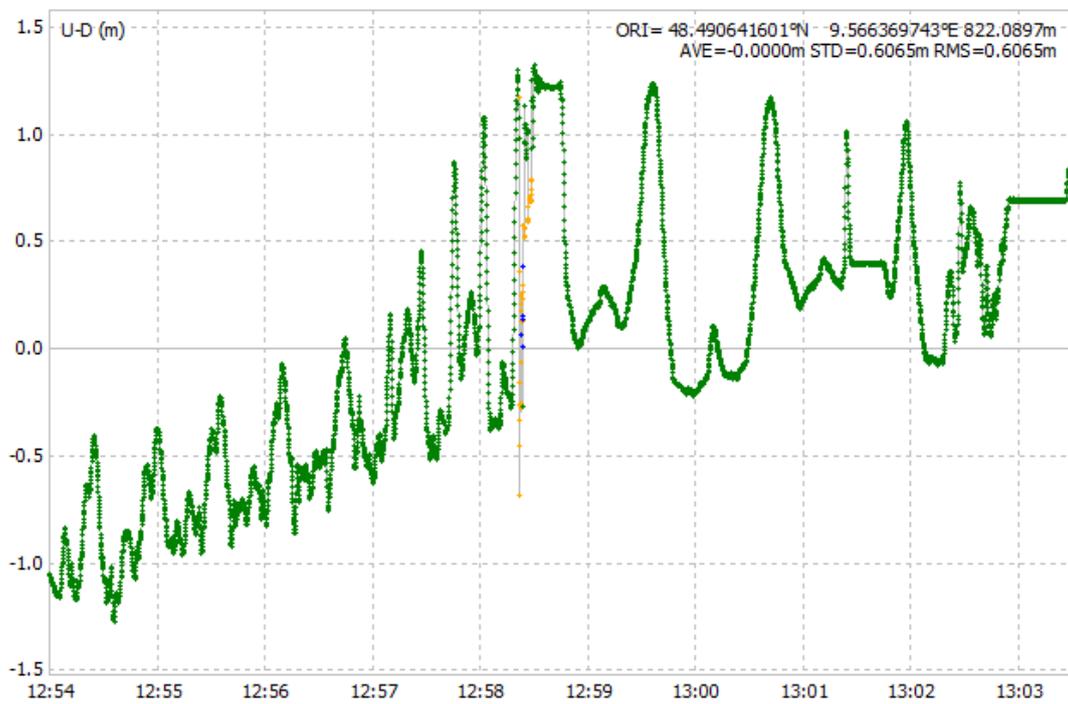


Abbildung 33: Positionsdaten des Autos - Höhe

Die Erste stellt die Position in Nord-Süd, die Zweite die Position in Ost-West, und die Dritte die Höhe in Metern dar. Ersichtlich ist hierbei in der Nord-Süd- und Ost-West-Position eine Struktur ähnlich einem Dreieckssignal. Dies liegt u.a. an der konstanten Geschwindigkeit. Dieser Verlauf wird in der Mitte des gezeigten Zeitintervalls der Abbildungen 31,32 unterbrochen (näher s. Abb. 34). Zurückzuführen ist dies auf eine kleinere Kollision. Dabei wird die Position kurzzeitig konstant, während sich die Höhe drastisch um mehr als einen Meter ändert. Danach sind gestreckte Dreieckssignale in den Positionsdaten zu sehen, die zu erkennen geben, dass das Auto versucht auf den Plan zurück zu kehren.

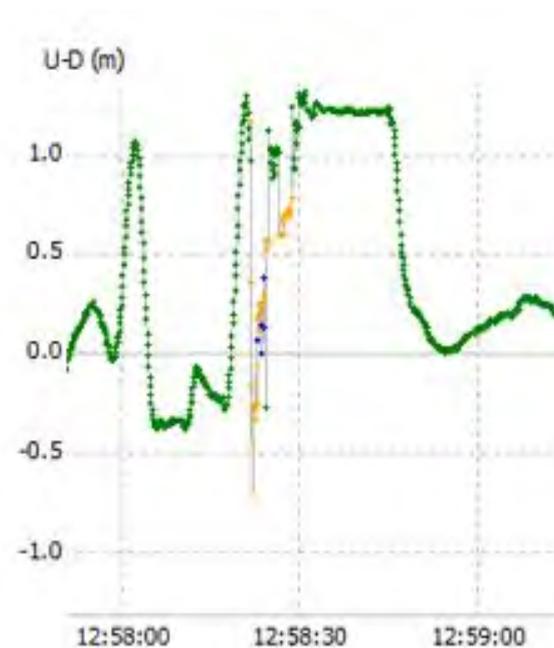


Abbildung 34: Höhendaten des Autos
(zum Zeitpunkt der Kollision)

6.4.2 statische Messungen

Es wurden in Zainingen 10 Punkte entlang der Straße mit Tachymeter und Reflektor eingemessen. In Donnstetten wurden 12 gemessen. Diese wurden danach mit dem Auto statisch gemessen. Die Messdauer in Zainingen war eine Minute in Donnstetten anderthalb. Die Daten vom Auto werden individuell analysiert, so wie mit denen des Tachymeters verglichen. Zuerst die Ergebnisse aus Zainingen.

Abbildung 35 stellt die erfassten Positionen während der einen Minute für jenen Wegpunkt dar. Der gegebene Maßstab von 2 mm pro Quadrat ist bereits ein Indiz für genaue Messungen. Dies wird konkretisiert durch die Standardabweichungen:

$$\sigma_N = 1.4 \text{ mm}$$

$$\sigma_E = 2.1 \text{ mm}$$

$$\sigma_H = 4.5 \text{ mm}$$

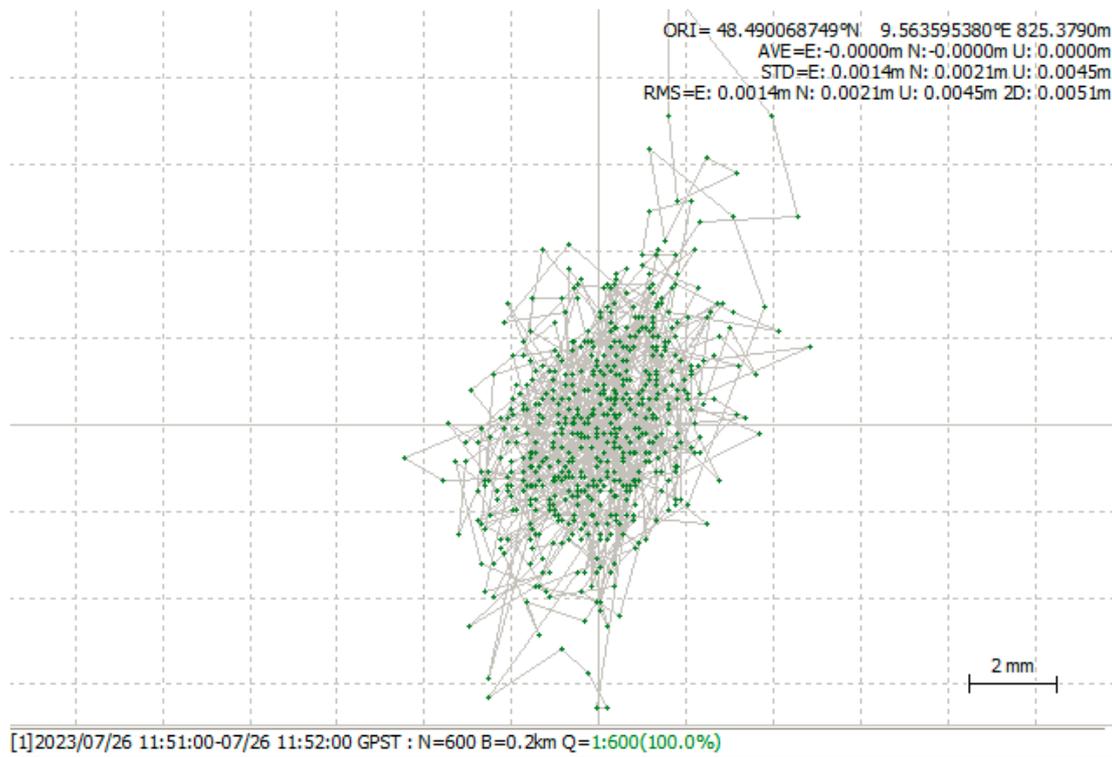


Abbildung 35: Messung des Wegpunkt 1001 mit dem Auto

Für die anderen 9 Wegpunkte sind die Positionen ebenso im niedrigen Millimeterbereich. Die Wegpunkte werden im Folgenden grafisch mit den Tachymeter Messungen verglichen.

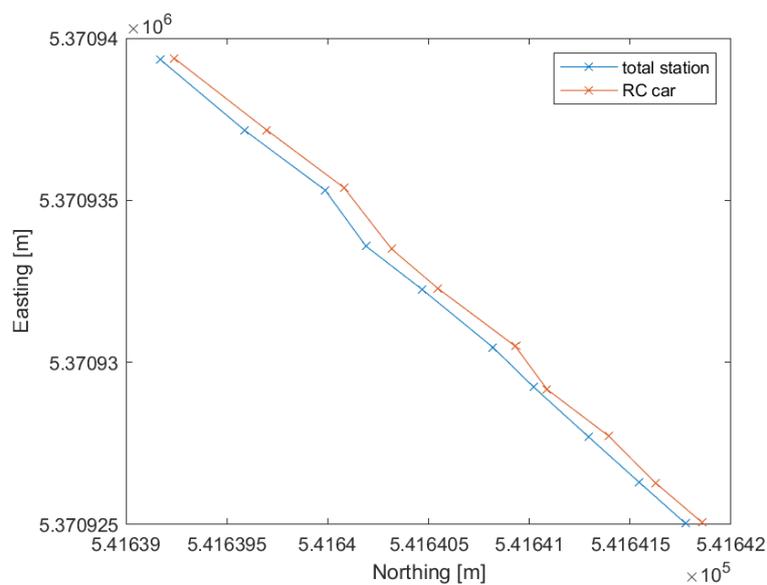


Abbildung 36: Lagevergleich der Straßen

Abbildung 36 stellt die Wegpunkte in 2D für beide Messverfahren dar. Der Vergleich zeigt einen systematischen Versatz in Nordrichtung. In Ostrichtung ist solch ein Versatz nicht zu erkennen. Dies ist ebenso in Abb. 37 erkennbar. Grund hierfür ist, dass nur eine grobe Positionierung des Autos über den Wegpunkten möglich ist.

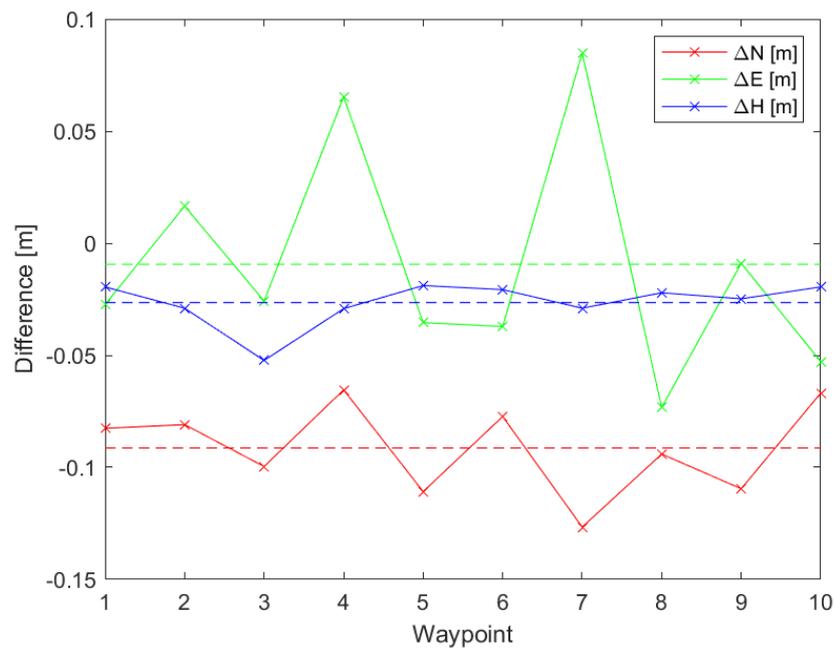


Abbildung 37: Koordinatendifferenzen der Wegpunkte

Abbildung 37 stellt die Koordinatendifferenzen der 10 Wegpunkte in Meter dar. Der Mittelwert ist für Nord, Ost, und Höhe kleiner als 1 cm. Bis auf zwei Ausnahmen sind die Differenzen alle unter 1 cm. Damit ist die Messgenauigkeit für das Auto zufriedenstellend. Die durchschnittlichen Standardabweichungen der Kontrollpunkte in Donnstetten sind

$$\sigma_N = 3 \text{ mm}$$

$$\sigma_E = 4 \text{ mm}$$

$$\sigma_H = 4 \text{ mm}$$

Die Differenzen der einzelnen Kontrollpunkte in Donnstetten sind:

Tabelle 5: Abweichungen Donnstetten

ID	Δ Ost[m]	Δ Nord[m]	Δ Höhe[m]
TS503C1	0.0373	0.0422	-0.0285
TS503C2	0.0208	0.0847	-0.0375
TS503C3	-0.0014	0.0723	-0.1215
TS503C4	0.0281	0.0804	-0.1690
TS503C5	0.0464	0.0832	-0.2156
TS503C6	0.0859	0.0498	-0.2217
TS502C7	0.0677	0.1160	-0.2365
TS502C8	0.0771	0.0402	-0.2445
TS502C9	0.0322	0.0059	-0.3089
TS502C10	0.1045	0.0804	-0.3776
TS502C11	0.1301	0.1235	-0.2653
TS502C12	0.2313	-0.0397	-0.0417
np3	0.1385	0.0235	0.0452

6.4.3 Digitale Höhenmodelle

In Zainingen ergibt sich:

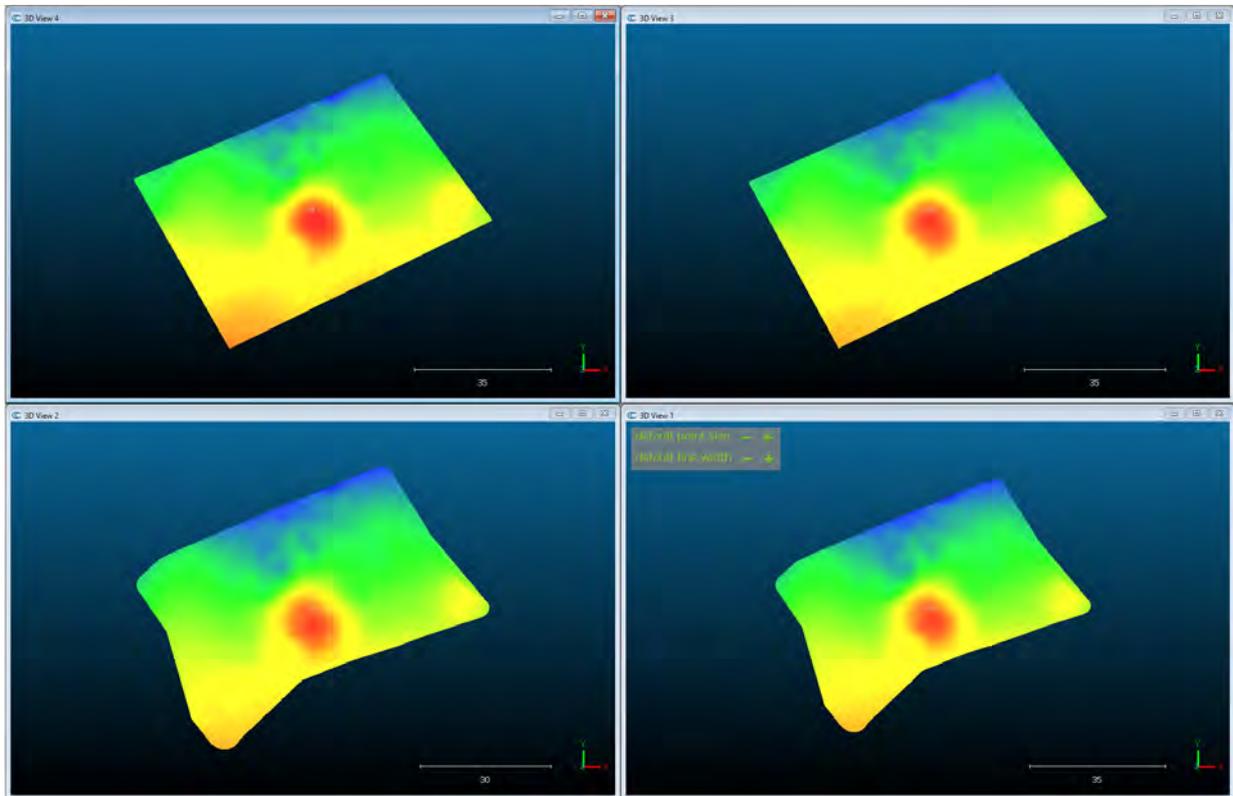


Abbildung 38: Vergleich LGL Task3 CP01 Sapos

Wie man hier sehen kann, sind die 4 DGMs sehr ähnlich zueinander. Dies bedeutet, dass sowohl die Drohne als auch die Auto funktionierende Methoden sind um, zumindest im Falle des Autos auf einer sehr begrenzten Fläche, ein genaues Höhenmodell aufzunehmen. Im folgenden sehen sie die Abweichungen auf der Z-Achse zwischen den verschiedenen Modellen.

DGM1	DGM2	mittlere Abweichung [m]	σ [m]
LGL	CP01	0.0164	0.1076
Task 3	CP01	0.0012	0.0293
Task 3	Sapos	0.0048	0.0578

Tabelle 6: Unterschiede zwischen den DGMs

Die Tabelle zeigt, dass das DGM, welches mit der Referenzhöhe von CP01 berechnet wurde den kleinsten Abstand, sowohl zu dem LGL DGM als auch dem DGM aus Task 3 hat.

In Donnstetten wurden das erstellte Höhenmodell direkt mit dem LGL DGM und mit dem aus Aufgabe 3 verglichen.

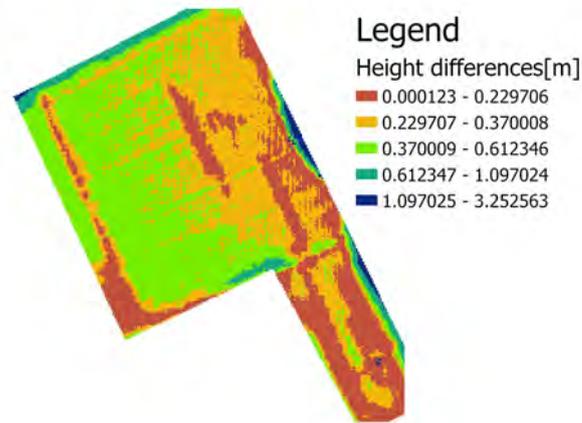


Abbildung 39: Differenz zwischen dem hier erstelltem DEM und dem des Landesamt für Denkmalpflege

Now using the DSM produce by the drone flight, we made the differences using the DEM of the RTK GNSS with ellipsoidal height. The results are shown in figure 15

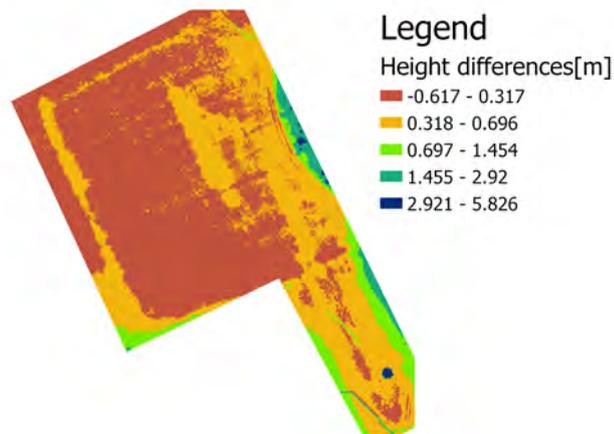


Abbildung 40: Unterschied zwischen dem erstellten DEM und dem aus Aufgabe 3

6.4.4 Vergleich Straßenbreite

	Straßenbreite aus DGM [m]	Straßenbreite mit Maßband [m]
min. Breite	2.3441	2.83
max. Breite	2.9881	2.93
Durchschnitt	2.7475	2.87

Tabelle 7: Straßenbreitenvergleich

Für eine genaue Messung der Straßenbreite, wären mehr Messungen nötig gewesen.

6.4.5 Vergleich Wegpunkte

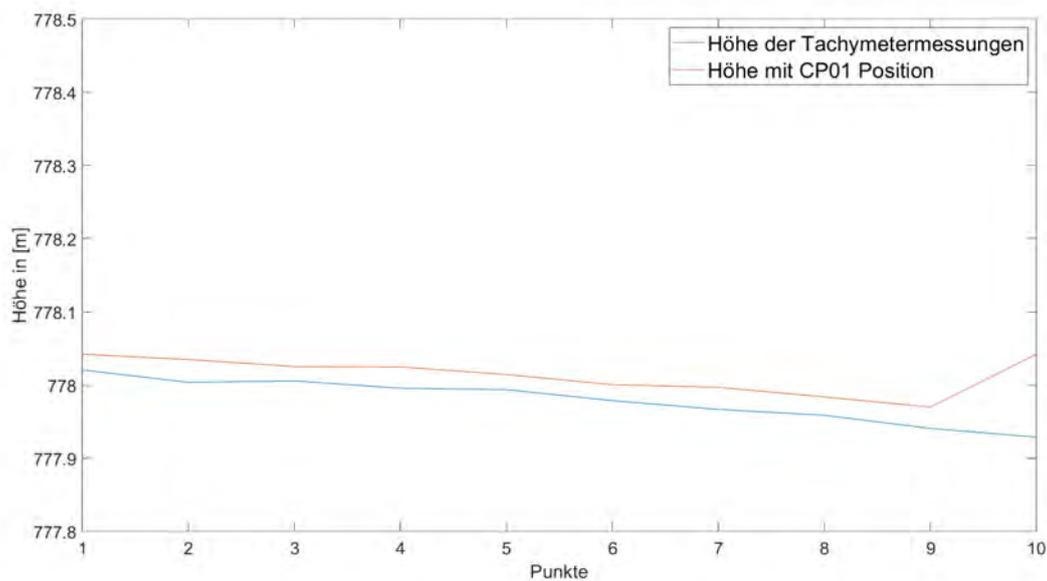


Abbildung 41: Vergleich Wegpunkte mit verschiedenen Referenzpunkten

Hier sind die Vergleiche zwischen den gemessenen Punkte auf der Straße zu sehen. Die Blauen Linien beinhalten die Messungen mit dem Tachymeter und dem Prisma, die Roten beinhalten die Messungen des Autos. Die Differenzen befinden sich im niederen Zentimeterbereich. Abweichungen lassen sich hier durch z.B. wackeln des Prismas, ungenaue Positionierung des Autos über dem Punkt und ungenaue Markierung des Punktes erklären.

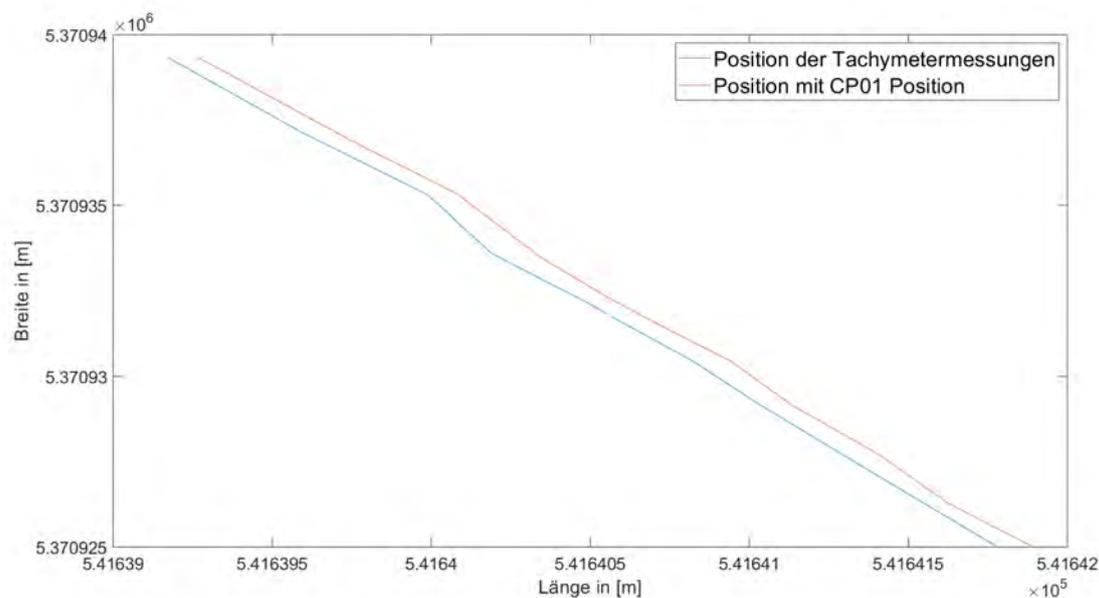


Abbildung 42: Vergleich Wegpunkte mit verschiedenen Referenzpunkten

7 Aufgabe 5: Gravimetrie

7.1 Einleitung

Im Rahmen des Integrierten Praktikums 2023 werden verschiedene Messungen im Feld durchgeführt, um das Messgebiet aufzunehmen. Dazu gehören auch Gravimetermessungen, um genauere Informationen über mögliche Objekte und Strukturen im Untergrund zu erhalten. Mit Hilfe von relativen Schweremessungen können Schwereanomalien festgestellt werden. Diese werden durch signifikante Dichteänderungen im Untergrund verursacht, beispielsweise durch eine alte Mauer oder einer Grabhöhle. Ziel ist es, mit diesem Wissen alte Mauer, Grabhöhlen oder andere größere Objekte im Untergrund zu lokalisieren und definieren. Allerdings hat ein solches Objekt meist nur einen kleinen Einfluss auf die Schwere und beschränkt sich auch nur über einen kleinen Raum oberhalb des Objekts. Demnach ist ein engmaschiges Messnetz erforderlich um das gesamte Messgebiet abdecken zu können. Darüber hinaus wird das Maß der Schwereanomalie durch die Größe, Form und Lage des Objektes definiert. Mit diesem Wissen muss zunächst überlegt werden, ob Gravimetermessungen im Rahmen des Integrierten Praktikums sinnvoll sind. Hierfür wurden verschiedene Modulationen durchgeführt um den Einfluss solcher Objekte besser abschätzen zu können.

7.2 Arbeitsablauf

Um entscheiden zu können, ob Gravimetermessungen im Feld durchgeführt werden sollen müssen zwei Hauptaspekte betrachtet werden: der Einfluss eines Objekts auf die Schwere und die Größe, Beschaffenheit und Geschichte des Messgebiets.

Modulation von verschiedenen Objekten

Um den Einfluss einer alten Mauer (Messgebiet Donnstetten) oder einer Grabhöhle (Messgebiet Zainingen) besser einschätzen zu können, wurden verschiedene Objekte vorab genauer betrachtet. Hierfür wurde die theoretische Anziehung eines solchen Objekts in Matlab berechnet. Neben dessen Größe und Form muss hierbei auch auf dessen Tiefe unter der Erdoberfläche geachtet werden. In Abbildung 43 ist das Ergebnis für eine Mauer mit einer Grundfläche von 0,5m x 10m und einer Höhe von 1,5m dargestellt. Die Mauer befindet sich in diesem Fall 1m unterhalb der Oberfläche (ausgehend vom Mittelpunkt der Mauer). Der Graph zeigt den örtlichen Verlauf der Anziehung der Mauer und somit die zu messende Schwereanomalie in Querrichtung zur Mauer. Es ist deutlich zu erkennen, dass der größte messbare Effekt direkt über der Mauer zu messen wäre. Hier liegt die Anziehung bei etwa 5 μ Gal. Bewegt man sich allerdings nur wenige Meter weg von der Mauer, nimmt die Anziehung sehr stark ab und ist kaum mehr messbar.

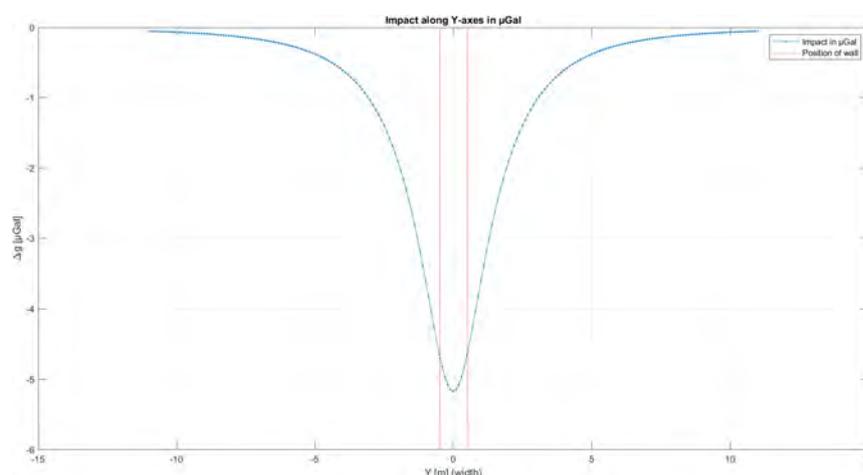


Abbildung 43: 2D Modell entlang der Y-Achse

Messgebiete Donnstetten und Zainingen

Die Messgebiete sind, wie oben bereits beschrieben, sehr unterschiedlich. Während es in Zainingen eher eine flache Ebene mit einzelnen Hügeln (Grabhügeln) ist, ist das Messgebiet Donnstetten teilweise sehr steil und unübersichtlich. Zudem ist in Donnstetten nicht auf den ersten Blick ersichtlich, wo genau hier das ehemalige Römische Kastell gestanden haben kann. Ohne genauere Hintergründe, kann man das Messgebiet für Gravimetrie nicht wirklich einschränken. Zudem kann es aufgrund des teilweisen sehr steilen und felsigen Gebiets an manchen Stellen schwierig sein, ein Gravimeter aufzustellen. Im oberen Teil des Gebiets sieht man immer wieder Felsen aus dem Boden schauen. Demnach ist es für die Messung auch schwierig eine allgemeine Dichte des Bodens festzulegen um davon ausgehend Dichte Änderungen zu erkennen. Unterirdische Felsen können fälschlicherweise als alte Mauern identifiziert werden.

Im Messgebiet Zainingen ist es hingegen deutlich übersichtlicher. Mit nur wenig Hintergrundwissen über die Geschichte des Gebiets lassen sich einzelne Grabhügel direkt identi-

fizieren. Es ist also möglich jeweils oben auf den einzelnen Hügeln Gravimetermessungen durchzuführen.

7.3 Ergebnisse

Zusammenfassend stellt sich die Frage, ob Gravimetrie in den beiden Messgebieten sinnvoll ist. Betrachtet man nur die Größe und das bisherige Wissen über die Messgebiete unterscheiden sich die Meinungen je nach Messgebiet. In Donnstetten erstreckt sich das Messgebiet über eine sehr große Fläche, die man ohne genauere Kenntnisse über die Geschichte und Lage des Kastells nicht weiter einschränken kann. Auch durch die teils schwierigen Gegebenheiten durch Felsen und steile Hänge kann man hier von zunächst von Gravimetrie abraten.

In Zainingen hingegen ist auch nicht viel über die genaue Lage der einzelnen Grabhügel bekannt. Allerdings kann man schon einige auch ohne genaueres Wissen erkennen. Man kann also über einzelne Messungen auf den verschiedenen Grabhügeln nachdenken.

Darüber hinaus müssen auch die Ergebnisse der Modellierung in Betracht gezogen werden. Es wurden sowohl verschiedene Mauern als auch Grabhügel moduliert. Hierbei wurden jeweils deren Größe und Lage im Untergrund verändert. Es ist zu sehen, dass alle Ergebnisse im Bereich von 5-15 μGal liegen. Das bedeutet, dass die größte zu erwartende Schwereanomalie bei etwa 15 μGal liegt. Diese ist in diesem Ausmaß nur zu messen, wenn man sich direkt über dem Objekt befindet. Nur wenige Meter neben dem Objekt lässt die Anziehung stark ab. Das uns zur Verfügung stehende Gravimeter hat eine Genauigkeit von 5-10 μGal . Die berechneten Schwereanomalien sind somit kaum sichtbar in den Messungen. Zudem ist man sich im Gebiet Donnstetten nicht sicher über das Material und somit die Dichte des Objekts. In der Modulierung wurde davon ausgegangen, dass alle Bauwerke aus dem Umliegenden Kalkstein der Schwäbischen Alb bestehen. Allerdings wird auch vermutet, dass damals vor allem mit Holz gearbeitet wurde. Dies würde heute nicht mehr existieren und somit auch nicht messbar sein.

Zusammenfassend sehen wir keinen Nutzen der Gravimetrie zur Identifizierung und Lokalisierung unterirdischer Objekte in den Messgebieten, vor allem im Vergleich zum Aufwand der Messungen. Dementsprechend haben wir uns entschieden, im Rahmen des Integrierten Praktikums keine Gravimetrie durchzuführen. Hierzu muss man allerdings hinzufügen, dass wir während dem Praktikum mehr Informationen zu den einzelnen Messgebieten und deren Geschichte bekommen haben. Die grobe Lage des römischen Kastells ist als bekannt. In Betracht auf die zu erwartenden Messwerte ändert sich allerdings unsere Entscheidung nicht, dass Gravimetrie in diesem Zusammenhang keinen Nutzen findet.

8 Aufgabe 6: Absteckung

8.1 Einleitung

Um der Öffentlichkeit mehr Informationen über dieses Kulturdenkmal bereitzustellen soll ein Besucherzentrum in der Nähe errichtet werden. Ein digitaler Plan des Gebäudes wurde von einem Architekturbüro bereits erstellt. Der Plan muss transformiert werden um später Punkte im amtlichen Koordinatensystem abstecken zu können. Die Absteckung erfolgt mit der Leica TS16 Totalstation. Es soll eine Genauigkeit von wenigen Millimetern erreicht werden wie es bei Schnurgerüst/Feinabsteckungen üblich ist. Die Festpunkte zur Stationierung des Gerätes wurden in Aufgabe 1 und 2 erstellt.

8.2 Arbeitsablauf

Der digitale Plan wurde in Form einer DWG-Datei in das CAD Programm Geograf importiert. Mittels 2D-Helmerttransformation und vier identischen Punkten wurde die Datei vom Programm transformiert. Wir wählten eine passende Stelle an der das Gebäude errichtet werden soll. Diese Planung musste noch einmal geändert werden da die erste Stelle auf einem der Grabhügel lag. Geeignete Punkte für die Absteckung wurden ausgewählt. Wir entschieden uns dafür die kurze und lange Halbachse des elliptischen Gebäudes abzustecken und zusätzlich 11 Punkte in gleichmäßigen Abständen auf der Gebäudekante selbst. Die Punkte wurden in einem Dateiformat exportiert das vom Tachymeter gelesen werden kann.

Vor Ort wurde das Instrument auf einem Stativ aufgebaut. Die Stelle wurde so gewählt, dass sowohl Anschlusspunkte als auch abzusteckende Punkte gut sichtbar sind. Die Genauigkeit der Stationierung lag bei wenigen Millimetern. Für die Absteckung wurde das Leica Mini Prisma verwendet da dies mit seiner kleinen Absteckspitze besser geeignet ist für eine solche Absteckung. Die Punkte wurden mittels Pflöck und Nagel markiert. Nach der Absteckung wurde eine zweite Stationierung durchgeführt an einer anderen Stelle mit den gleichen Anschlusspunkten. Von hier wurden die Nägel zur Kontrolle aufgenommen. Zur weiteren Kontrolle wurden im CAD noch Spannmaße gemessen um die innere Geometrie überprüfen sollen. Die größte Differenz, die hier auftrat waren zwei Millimeter.

8.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse entsprechen der Genauigkeitserwartung von wenigen Millimetern. Mögliche Gründe für Ungenauigkeiten in unseren Messungen: Probleme bei den Netzmessungen wie z.B. dass wir die Messung wiederholen mussten wegen des Mähens der Wiese. Weitere Gründe könnten der starke Wind, nasse Boden und die Schwierigkeit des präzise Absteckens der Pflöcke mit Nägeln sein.

Tabelle 8: Koordinatendifferenzen: Original-Kontrollmessung

Original PNR	Entfernung zur Achse [m]	Original - Kontrollmessung ΔE [m]	ΔN [m]
1	0.002	-	-
2	-0.002	-	-
3	-0.005	-	-
4	0.006	-	-
5	-	0.001	-0.007
6	-	-0.002	-0.010
7	-	-0.003	-0.007
8	-	0.000	0.001
9	-	0.001	-0.003
10	-	0.000	-0.004
11	-	0.006	-0.008
12	-	0.001	-0.002
13	-	0.003	-0.004
14	-	0.003	-0.005
15	-	0.007	-0.006
Absolutes Mittel	0.003	0.002	0.005
Std. Abweichung	0.004	0.003	0.006

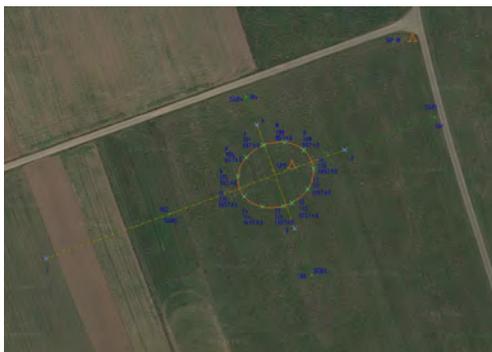


Abbildung 44: Absteckprotkoll Zainingen



Abbildung 45: Bild nach der Absteckung Zainingen

8.3.1 Donnstetten



Abbildung 46: Absteckungstelle

Die Absteckung in Donnstetten erzielte weitergehen den Erwartungen entsprechende Ergebnisse. Die Kontrolle erfolgte durch Messung mit einem Maß-band sowie durch die Wiederaufnahme der Abgesteckten Punkte. Die folgenden drei Tabellen Zeigen die Ergebnisse. Es ist ersichtlich dass beim Abstecken des Punktes 20 in Ost- Richtung ein Fehler gemacht wurde. Dieser Fehler wurde erst bei der Auswertung der Ergebnisse gefunden und konnte dementsprechend nicht mehr behoben werden. Die wahrscheinlichste Ursache ist menschliches Versagen.

NR.	Measured	Planned	difference
1	17.532	17.458	-0.074
2	10.768	10.749	-0.019
3	19.461	19.464	0.003
4	15.148	15.156	0.008
5	19.229	19.181	-0.048
6	16.98	16.917	-0.063
7	16.692	16.69	-0.002
8	13.521	13.507	-0.014
9	5.069	4.778	-0.291
10	3.335	3.341	0.006
11	5.029	5	-0.029
12	5.097	5.102	0.005

Abbildung 47: Messungen mit dem Maßband

PktNr.	Planned coordinates Easting	Measured coordinates e	difference
1	32541761.001	32541761.005	-0.004
2	32541769.889	32541769.887	0.002
4	32541763.723	32541763.720	0.003
11	32541759.995	32541760.001	-0.006
15	32541789.067	32541789.066	0.001
17	32541786.254	32541786.252	0.002
20	32541770.39	32541770.98	-0.588
23	32541768.362	32541768.368	-0.006
25	32541799.625	32541799.629	-0.004
26	32541795.234	32541795.237	-0.003
27	32541783.907	32541783.904	0.003
28	32541799.391	32541799.383	0.008

Abbildung 48: Neu-aufgenommen: Punkte Ost

PktNr.	planned coordinates northing	measured coordinates northing	difference
1	5372993.280	5372993.284	-0.004
2	5372987.242	5372987.240	0.002
4	5372995.215	5372995.216	-0.001
11	5373010.702	5373010.702	0.000
15	5372990.522	5372990.526	-0.004
17	5372994.653	5372994.652	0.001
20	5373016.976	5373016.974	0.002
23	5373021.299	5373021.291	0.008
25	5373001.388	5373001.380	0.008
26	5373017.607	5373017.609	-0.002
27	5373027.358	5373027.366	-0.008
28	5373020.561	5373020.553	0.008

Abbildung 49: Neu-aufgenommen: Punkte Nord

Abbildung 47 zeigt, dass alle Differenzen zu den Messungen mit dem Maßband im unteren Zentimeterbereich liegt. Einzige Ausnahme hierbei ist Nr.9 mit einer Differenz zum Modell liegt bei fast 30 cm. Die Abbildungen 48 und 49 stellen die Differenzen der abgesteckten Koordinaten zu den geplanten Koordinaten dar. Für die Nord-Richtung sind die Differenzen im Millimeterbereich und ausreichend. Im Vergleich dazu ist die Genauigkeit in Ost-Richtung auch im Millimeterbereich mit Ausnahme auf den Punkt 20 mit einer Differenz von fast 60 cm.

9 Allgemeine Ergebnisse zum IP

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das diesjährige Integrierte Praktikum erfolgreich verlief und alle geplanten Aufgaben, trotz teilweise schwierigen Wetterbedingungen, zu zufriedenstellenden Ergebnissen führten. Während der Durchführung traten zwar gelegentlich Probleme auf, wie zum Beispiel Mäh-arbeiten innerhalb des Messgebiets. Diese konnten jedoch größtenteils behoben oder in den Messungen berücksichtigt werden. Dadurch war es möglich innerhalb der Messgebiete ein Festpunktnetz zu erstellen und auf Grundlage dessen beide Gebiete geodätisch zu erfassen. Im Messgebiet Zainingen sind die Hügel zwar ersichtlich, doch konnte nichts über das Innere der Grabhügel festgestellt werden. Beeindruckenderweise konnten sogar die ursprünglichen Umrisse des römischen Kastells in Donnstetten als auch die keltischen Grabhügel in Zainingen lokalisiert und auf Orthophotos oder digitalen Oberflächenmodellen dargestellt werden.