



TECHNIK  
HOCHSCHULE MAINZ  
UNIVERSITY OF  
APPLIED SCIENCE



Rheinland-Pfalz  
DIENSTLEISTUNGSZENTRUM  
LÄNDLICHER RAUM

## **Bachelorarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science im  
Studiengang Geoinformatik und Vermessung

**Lukas Fösges und Marc Retterath**

---

# **Vergleich moderner Technologien zur Unterstützung der Planung komplexer Weinbergflurbereinigungen in den Steillagen der Mosel**

---

Hochschule Mainz  
Fachbereich Technik  
Lehrinheit Geoinformatik und Vermessung

Betreuer: Prof. Axel Lorig

18. Mai 2020 bis 27. Juli 2020

Standnummern: B0346 (Fösges), B0347 (Retterath)

Vermerk über die fristgerechte und vollständige Abgabe der Abschlussarbeit

Abgegeben bei:

.....

(Name)

Schriftlicher Teil	<input type="checkbox"/> analog	<input type="checkbox"/> digital
Poster	<input type="checkbox"/> analog	<input type="checkbox"/> digital
Internet-Präsentation		<input type="checkbox"/> digital
Erfassungsbogen	<input type="checkbox"/> analog	<input type="checkbox"/> digital
Datenträger (CD/DVD)		<input type="checkbox"/>

Dateiname:	Bachelorarbeit_Fösges_Retterath
Anzahl Zeichen:	143.308
Anzahl Wörter:	21.860
Anzahl Seiten:	127

Arbeit angenommen:

Mainz, den

.....

(Datum)

.....

(Unterschrift)

© 2020 Lukas Fösges und Marc Retterath

Dieses Werk einschließlich seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtgesetzes ist ohne Zustimmung des Autors unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

## **Gemeinsame Bachelorarbeit**

### **für Herrn Lukas Fösge**

### **und**

### **Herrn Marc Retterath**

**Thema:**        **Vergleich moderner Technologien zur Unterstützung der Planung komplexer Weinbergsflurbereinigungen in den Steillagen der Mosel**

**Sachverhalt:**

An der Mosel wird Weinbau seit der Römerzeit betrieben. Um die Kulturlandschaft zu erhalten und die betriebswirtschaftlichen Rahmenbedingungen für die Winzer zu verbessern werden für viele Steilhänge der Mosel Weinbergsflurbereinigungsverfahren durchgeführt. Das Wesen dieser ländlichen Bodenordnungsverfahren besteht darin, dass ein bestimmter, real vorliegender Landnutzungszustand durch Neuordnung der Grundstücke und Schaffung oder Veränderung der erforderlichen Infrastruktur im Flurbereinigungsgebiet in einen neuen Zustand zu überführen ist. Dieser Ablauf wird ganz entscheidend durch planerische und technische Vorgänge in der Örtlichkeit vorbereitet und geprägt.

Vor Beginn dieser Arbeiten sind die rechtlichen und tatsächlichen Verhältnisse des Neuordnungsgebietes umfassend durch eine Bestandsaufnahme zu ermitteln. Diese Ermittlung betrifft nach [DURBEN, H. und THOMAS, J. (2013)] sowohl das äußere Erscheinungsbild des Neuordnungsgebietes als auch Informationen über das innere Ordnungsgefüge, welches die Grundlage für die gegenwärtige Landnutzung darstellt. Die Informationen über das äußere Erscheinungsbild der Landschaft beziehen sich auf Landschaftsformen, die Landschaftsstruktur, die Nutzung der Feld- und Waldflur, die Bewirtschaftungs- und Siedlungsformen, das Straßen- und Wegenetz, Einrichtungen der Ver- und Entsorgung, Parzellengrößen und Parzellenformen, Gewässer, Biotopausprägungen und vielfältige weitere landschaftsästhetisch wirksame Komponenten, wie z.B. Weinbergsmauern in Steilhängen.

Über das äußere Erscheinungsbild geben in erster Linie die Produkte der Landesvermessung und des Liegenschaftskatasters Auskunft. So beginnt die Informationssammlung für ein Flurbereinigungsverfahren mit der Beschaffung der erforderlichen Geobasisdaten aus den Produkten der Landesvermessung. Hierbei geht es vor allem um Karten in verschiedenen Maßstäben, Luftbilder, Digitale Geländemodelle, Orthophotos und Laserscanaufnahmen. Verlangt das Gebiet aktuelle Detailauswertungen wird häufig von der Flurbereinigungsbehörde ein eigener Bildflug veranlasst und ausgewertet.

Zur Verdichtung der Kenntnisse über die örtlichen Gegebenheiten werden Feldvergleiche aus planerischer und landespflegerischer Sicht durchgeführt. Hier wären erhebliche Zeit- und Qualitätsgewinne denkbar, wenn die Planungsdaten weitere Detailinformationen enthielten.

In der vorliegenden Bachelorarbeit sollen alle verfügbaren Planungsunterlagen diskutiert und dokumentiert werden. Die Erstellung zusätzlicher Planungsinformationen soll mit Hilfe eines low-cost Kopters mit integrierter Kamera erprobt werden. An dem ausgewählten Testverfahren Bernkastel-Pallert soll überprüft werden, wie hoch der Nutzen der zusätzlichen Planungsunterlagen einzuschätzen ist.

---

## **Aufgabe:**

1. Alle theoretisch denkbaren Vorgehensweisen zur Verwendung existierender Planungsinformationen oder zur Erzeugung neuer (ergänzender) Planungsinformationen für Steillagenflurbereinigungsverfahren an der Mosel sind allgemein zu beschreiben.
2. Der Einsatz der bisher praktizierten Vorgehensweisen zur Verwendung existierender Planungsinformationen oder zur Erzeugung ergänzender Planungsinformationen für Steillagenflurbereinigungsverfahren an der Mosel ist anhand von drei ausgewählten Praxisbeispielen der Weinbergflurbereinigung zu beschreiben.
3. Die Notwendigkeit und Bedeutung des Technologieeinsatzes moderner Gerätegarnituren zur ergänzenden Erstellung von Planungsinformationen für Steillagenflurbereinigungsverfahren an der Mosel ist zu untersuchen. Daraus sind konkrete Forschungsfragen für diese Arbeit abzuleiten.
4. Für das in Planung befindliche Flurbereinigungsgebiet Bernkastel-Pallert (gesamter Verfahrensbereich) sind aus den Daten des LVerMGeo (insbesondere topographische Karten; photogrammetrischen Befliegungen, Laser-Scan-Befliegungen) – soweit möglich – geeignete Planungsunterlagen abzuleiten.
5. Für das in Planung befindliche Flurbereinigungsgebiet Bernkastel-Pallert (gesamter Verfahrensbereich) sind aus den Daten der Technischen Zentralstelle (insbesondere photogrammetrische Befliegung) geeignete Planungsunterlagen abzuleiten.
6. Die Weinbergslage des Flurbereinigungsgebietes Bernkastel-Pallert ist mit Hilfe flächendeckender Erfassungsmethoden – konkret mit Hilfe eines low-cost Kopters mit integrierter Kamera – messtechnisch zu erfassen. Die Höhe der Befliegung und die Auflösung des Bildmaterials sind so zu wählen, dass der Gesamtbereich der Weinbergslage erfasst werden kann. Die erforderlichen organisatorischen Vorarbeiten (zum Beispiel Fluggenehmigung, Flugplanung) sind rechtzeitig vorzunehmen.
7. Die Neuplanung der Weinbergslage des Flurbereinigungsgebietes Bernkastel-Pallert ist zusätzlich mit Hilfe eines low-cost Kopters mit integrierter Kamera durch gezielt ausgewählte einzelne Schrägaufnahmen zu unterstützen.
8. Die Überführung der flächendeckenden Aufnahme der Weinbergslage des Flurbereinigungsgebietes Bernkastel-Pallert in den einheitlichen integrierten geodätischen Raumbezug ist durch eigenständige GNSS-Messung vorzunehmen.
9. Die aus den Messverfahren unter Ziffer 6 abgeleiteten Punktwolken sind zu registrieren und über eine Dreiecksvermaschung zu einem Modell mit fotorealistischer Textur zu verarbeiten. Der Nutzwert des Ergebnisses der Erfassung und Auswertung ist anhand der vorliegenden Planungsstrukturen des Wege- und Gewässerplanes im Flurbereinigungsgebiet Bernkastel-Pallert zu überprüfen.
10. Aus dem Ergebnis aller Untersuchungen dieser Arbeit sind Vorschläge abzuleiten, in welcher Weise moderner Gerätegarnituren durch das DLR zur ergänzenden Erstellung von Planungsinformationen für Steillagenflurbereinigungsverfahren an der Mosel genutzt werden sollten. Dabei sind auch die Antworten auf die nach Ziffer 3. gestellten Forschungsfragen zu formulieren.



Prof. Axel Lorig

Zeitpunkt der Ausgabe der Arbeit: 18. Mai 2020

Zeitpunkt der Abgabe der Arbeit: 27. Juli 2020

## **Kurzzusammenfassung**

Gegenstand der hier vorliegenden Bachelorarbeit ist die georeferenzierte Aufnahme eines Teilstücks der Weinbergsflurbereinigung Bernkastel-Pallert mit anschließender Modellierung, sowie die Untersuchung und Ableitung von herkömmlich genutzten und neuen Planungsgrundlagen.

In Flurbereinigungsverfahren werden die verschiedensten Planungsgrundlagen genutzt, um eine Neugestaltung zu ermöglichen. So werden in den Verfahren frühzeitig Daten der Vermessungs- und Katasterverwaltung, sowie der internen Technischen Zentralstelle als Grundlage verwendet. An verschiedenen Verfahren wird untersucht, wie die bisherigen Planungsgrundlagen angewendet werden und welche Daten zusätzlich einen Mehrwert bringen können.

Ein Teilgebiet des Verfahrens Bernkastel-Pallert wird durch eine Drohne mit Senkrecht- und Schrägbildaufnahmen photogrammetrisch erfasst. Aus den ungeordneten Drohnenaufnahmen wird mit Hilfe des „Structure from Motion-Algorithmus“ eine dreidimensionale Punktwolke generiert und Planungsunterlagen abgeleitet. Dazu wird die Drohne RKM 8X des Herstellers RotorKonzept in Verbindung mit der Systemkamera Sony Alpha 7R genutzt. Der Nutzwert der Ergebnisse wird überprüft.

**Schlagwörter:** Flurbereinigung, Planungsgrundlagen, UAV-Photogrammetrie, Metashape, Punktwolke, 3D-Modell, Webvisualisierung, 3DHOP

## **Abstract Summary**

Subject of this bachelor thesis is the georeferenced capture of a section of the vineyard land consolidation Bernkastel-Pallert with subsequent modelling, as well as the investigation and derivation of conventionally used and new planning bases.

There are many bases for planning used in land consolidation procedures to enable a redesign. Data from the survey and cadastral administration as well as from the internal technical central office are used as a basis in the procedures at an early stage. Different procedures are used to investigate how the existing planning principles are applied and which data can add value additionally.

A part of the Bernkastel-Pallert procedure was photogrammetrically captured by a drone with vertical and oblique images. A three-dimensional point cloud is generated from the disordered drone images using the "Structure from Motion-Algorithm" and planning documents are derived. For this purpose, the drone RKM 8X from the manufacturer RotorKonzept is used in conjunction with the system camera Sony Alpha 7R. The utility value of the result is verified.

**Key words:** land consolidation, planning bases, UAV photogrammetry, Metashape, point cloud, 3D model, web visualization, 3DHOP

## Verantwortlichkeiten

Diese Bachelorarbeit wurde in Zusammenarbeit von Lukas Fösge und Marc Retterath angefertigt. In der folgenden Tabelle werden die Verantwortlichkeiten für die einzelnen Kapitel dargestellt.

<b>Kapitel</b>	<b>Titel</b>	<b>Bearbeiter</b>
1	Einleitung	Lukas Fösge & Marc Retterath
2	Weinbergsflurbereinigung in Bernkastel-Pallert	Lukas Fösge & Marc Retterath
3	Stand der Forschung	Lukas Fösge
4	Verwendbare Planungsinformationen	Marc Retterath
5	GNSS-Messung	Lukas Fösge
6	Bildflug	Marc Retterath
7	Grundlagen der Photogrammetrie	Marc Retterath
8	Photogrammetrische Auswertung	Lukas Fösge
9	Webvisualisierung	Marc Retterath
10	3D-Druck	Lukas Fösge
11	Vergleich der Planungsgrundlagen	Lukas Fösge & Marc Retterath
12	Fazit	Lukas Fösge & Marc Retterath

Tabelle 1: Verantwortlichkeiten

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzzusammenfassung</b> .....	<b>- 5 -</b>
<b>Abstract Summary</b> .....	<b>- 6 -</b>
<b>Verantwortlichkeiten</b> .....	<b>- 7 -</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>- 11 -</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>- 13 -</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>- 16 -</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>- 17 -</b>
<b>2 Weinbergsflurbereinigung in Bernkastel-Pallert</b> .....	<b>- 18 -</b>
<b>2.1 Allgemeines zum Verfahren</b> .....	<b>- 18 -</b>
<b>2.2 Sinn und Zweck der Weinbergsflurbereinigung</b> .....	<b>- 20 -</b>
2.2.1 Wirtschaft.....	- 21 -
2.2.2 Tourismus.....	- 23 -
2.2.3 Naturschutz.....	- 24 -
<b>3 Stand der Forschung</b> .....	<b>- 26 -</b>
<b>4 Verwendbare Planungsinformationen</b> .....	<b>- 28 -</b>
<b>4.1 Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation</b> .....	<b>- 28 -</b>
4.1.1 Bereitgestellte Daten.....	- 28 -
4.1.2 Aktuell verwendete Daten.....	- 33 -
<b>4.2 Technische Zentralstelle</b> .....	<b>- 34 -</b>
4.2.1 Planungsinformationen der TZ.....	- 34 -
<b>4.3 Vorgehensweise zur Verwendung von Planungsinformationen</b> .....	<b>- 38 -</b>
4.3.1 Profilmessung.....	- 38 -
4.3.2 Geologische Gutachten.....	- 39 -
4.3.3 Mauereinmessungen.....	- 41 -
<b>5 GNSS-Messung</b> .....	<b>- 43 -</b>
<b>5.1 DGNSS</b> .....	<b>- 43 -</b>
<b>5.2 SAPOS in Kombination mit DGNSS-Messungen</b> .....	<b>- 44 -</b>
<b>5.3 Durchführung der GNSS-Messung</b> .....	<b>- 45 -</b>

---

<b>6</b>	<b>Bildflug</b> .....	<b>- 48 -</b>
6.1	Rechtliche Rahmenbedingungen.....	48 -
6.2	UAV .....	49 -
6.3	Kamera .....	52 -
6.4	Bildflugplanung .....	54 -
6.4.1	Händische Rechnung.....	55 -
6.4.2	Mission Planner .....	59 -
6.4.3	Vergleich der Planungen.....	64 -
6.5	Signalisierung.....	65 -
6.5.1	Passpunkte .....	65 -
6.6	Durchführung des Bildfluges.....	67 -
<b>7</b>	<b>Grundlagen der Photogrammetrie</b> .....	<b>- 71 -</b>
7.1	Mathematische Beziehungen .....	72 -
7.2	3D-Triangulation .....	75 -
<b>8</b>	<b>Photogrammetrische Auswertung</b> .....	<b>- 77 -</b>
8.1	Vor der Auswertung.....	77 -
8.2	Auswertung .....	77 -
8.2.1	Fotos einlesen .....	78 -
8.2.2	Align Photos .....	79 -
8.2.3	Georeferenzierung .....	80 -
8.2.4	Dense Cloud .....	82 -
8.2.5	Mesh.....	83 -
8.2.6	Texture .....	85 -
8.2.7	Digital elevation model .....	87 -
8.2.8	Orthomosaic.....	89 -
8.3	Ableitung von Planungsgrundlagen.....	92 -
<b>9</b>	<b>Webvisualisierung</b> .....	<b>- 96 -</b>
9.1	Über 3DHOP .....	96 -
9.2	Umsetzung von 3DHOP .....	97 -
9.3	Ergebnis.....	102 -

---

<b>10</b>	<b>3D-Druck</b> .....	<b>- 103 -</b>
10.1	Verwendeter Drucker .....	- 103 -
10.2	Vorbereitung.....	- 105 -
10.3	Der Druckvorgang.....	- 106 -
10.4	Sinn und Zweck des Druckes.....	- 107 -
<b>11</b>	<b>Vergleich der Planungsgrundlagen</b> .....	<b>- 109 -</b>
11.1	Vergleich mit dem Wege- und Gewässerplan .....	- 111 -
11.2	Vergleich der Modellierung mit und ohne Schrägbildaufnahmen .....	- 113 -
11.3	Wirtschaftlichkeit .....	- 116 -
<b>12</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>- 119 -</b>
<b>13</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>- 121 -</b>
<b>14</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>- 125 -</b>
14.1	Verfahrensgebiet Flurbereinigung Bernkastel-Pallert .....	- 125 -
14.2	Verzeichnisstruktur der digitalen Daten .....	- 126 -
	<b>Eidesstattliche Erklärung</b> .....	<b>- 127 -</b>

## Abkürzungsverzeichnis

3DHOP	3D Heritage Online Presenter
AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
DEM	Digital elevation model
DGM	Digitales Geländemodell
DGNSS	Differentielles globales Navigationssatellitensystem
DHHN2016	Deutsche Haupthöhennetz 2016
DHM	Digitales Höhenmodell
DIY-Drucker	Do-it-yourself-Drucker
DLM	Digitales Landschaftsmodell
DLR	Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum
DOP	Digitales Orthophoto
DTK	Digital Topographische Karte
EPS	Echtzeit-Positionierungs-Service
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989
FlurbG	Flurbereinigungsgesetz
GNSS	Globales Navigationssatellitensystem
GPPS	Geodätischer Postprocessing Positionierungsservice
HEPS	Hochpräziser Echtzeit-Positionierungs-Service
LGB	Landesamt für Geologie und Bergbau
LoD	Level of Detail
LPG	Laserpunkte Gelände
LPO	Laserpunkte Objekte

---

LVerGeo	Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation
MWVLW	Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau
NTRIP	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
ÖbVI	Öffentlich bestellter Vermessungsingenieur
PU	Projektbezogene Untersuchung
PuDig	Punktfestlegung durch Digitalisierung
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Services
RTK	Real Time Kinematic
SAPOS	Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung
TZ	Technische Zentralstelle
UAV	Unbemanntes Flugfahrzeug
UTM	Universale Transversale Mercatorprojektion
VermKV	Vermessungs- und Katasterverwaltung
VRS	Virtuelle Referenzstation
WMS	Web Map Service

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verschiedene Weinlagen.....	- 19 -
Abbildung 2: Bewirtschaftungsverhältnisse.....	- 21 -
Abbildung 3: Aufbau einer Querterrasse.....	- 22 -
Abbildung 4: Eichen-Hang- und Trockenwald südlich der Graacher Schäferei (1), Kulturlandschaftskomplex Bergfried nordöstlich Bernkastel (2), Quellbachsiepen südöstlich Bergfried nordöstlich Bernkastel (3).....	- 25 -
Abbildung 5: Flugstreifen der Befliegung der TZ (Quelle: Theisen (2018)).....	- 36 -
Abbildung 6: Profil QP 3 im Bereich eines geplanten Wendehammers (Quelle: DLR Mosel).....	- 38 -
Abbildung 7: Profil q5 im Bereich einer Planierung (Quelle: DLR Mosel).....	- 39 -
Abbildung 8: Querschnitt einer Wegebefestigung (Quelle: DLR Mosel).....	- 41 -
Abbildung 9: Vektoren der Mauerbewegungen (Quelle: DLR Mosel).....	- 41 -
Abbildung 10: Funktionsprinzip des DGNSS (Quelle: <a href="https://www.magicmaps.de/fileadmin/_processed_/6/0/csm_prinzip_dgps_1000_17171a771b.jpg">https://www.magicmaps.de/fileadmin/_processed_/6/0/csm_prinzip_dgps_1000_17171a771b.jpg</a> ).....	- 43 -
Abbildung 11: Drohnen-Verordnung (Quelle: <a href="https://www.drohnen.de/14181/neue-drohnen-verordnung-ab-januar-2017/">https://www.drohnen.de/14181/neue-drohnen-verordnung-ab-januar-2017/</a> ).....	- 48 -
Abbildung 12: Drohne RKM 8X.....	- 49 -
Abbildung 13: Sony Alpha 7R (Quelle: <a href="https://www.chip.de/test/Sony-a7R-Alpha_7R-Profi-DSLM-Test_139899937.html">https://www.chip.de/test/Sony-a7R-Alpha_7R-Profi-DSLM-Test_139899937.html</a> ).....	- 52 -
Abbildung 14: Parameter des Bildfluges (Quelle: Schlüter (2018)).....	- 55 -
Abbildung 15: Polygone der Bildflugplanung.....	- 59 -
Abbildung 16: Einstellungen in Mission Planner - Simple.....	- 60 -
Abbildung 17: Einstellungen in Mission Planner - Grid Options.....	- 61 -
Abbildung 18: Einstellungen in Mission Planner - Camera Config.....	- 62 -
Abbildung 19: Ergebnis der Bildflugplanung des linken Polygons.....	- 62 -
Abbildung 20: Korrekt berechnet Flughöhe.....	- 63 -
Abbildung 21: Fehlerhaft berechnete Flughöhe.....	- 63 -
Abbildung 22: Bildflugplanung des linken Polygons.....	- 64 -
Abbildung 23: Gesicherte Signalisierung.....	- 66 -
Abbildung 24: Signalisierungsplatte der Hochschule Mainz.....	- 66 -
Abbildung 25: Passpunktverteilung.....	- 66 -
Abbildung 26: Wettervorhersage für den 12.05.2020 (Quelle: <a href="http://www.uavforecast.com">www.uavforecast.com</a> ).....	- 67 -

Abbildung 27: Drohne in Startposition .....	- 68 -
Abbildung 28: Mission Planner während des Bildfluges .....	- 69 -
Abbildung 29: Überwachungsdisplay während des Fluges.....	- 69 -
Abbildung 30: Innere Orientierung (Quelle: Witte und Schmitdt (2006)).....	- 72 -
Abbildung 31: Äußere Orientierung (Witte und Schmidt (2006)) .....	- 73 -
Abbildung 32: 3D-Triangulation (Quelle: Vgl. Witte und Sparla (2015)).....	- 75 -
Abbildung 33: Camera Calibration.....	- 78 -
Abbildung 34: Align Photos .....	- 79 -
Abbildung 35: Punktwolke aus den Verknüpfungspunkten .....	- 80 -
Abbildung 36: Markieren der Passpunkte .....	- 80 -
Abbildung 37: Markierter Passpunkt der Hochschule Mainz .....	- 81 -
Abbildung 38: Abweichungen und Bildpositionen .....	- 81 -
Abbildung 39: Einstellungen Dense Cloud .....	- 82 -
Abbildung 40: Dichte Punktwolke .....	- 83 -
Abbildung 41: Einstellungen Mesh .....	- 84 -
Abbildung 42: Mesh mit groben Farbwerten .....	- 85 -
Abbildung 43: Einstellungen Texture.....	- 86 -
Abbildung 44: Erstellte Textur .....	- 87 -
Abbildung 45: Nahaufnahme der Textur.....	- 87 -
Abbildung 46: Einstellungen DEM .....	- 88 -
Abbildung 47: Erstelltes DEM .....	- 89 -
Abbildung 48: Einstellungen Orthomosaic .....	- 90 -
Abbildung 49: Erstelltes Orthophotomosaik .....	- 91 -
Abbildung 50: Nahaufnahme des Orthophotomosaiks.....	- 91 -
Abbildung 51: Schummerungskarte des Befliegungsgebiets .....	- 93 -
Abbildung 52: Ungeglättete Höhenlinien.....	- 94 -
Abbildung 53: Vergleich der Höhenlinien .....	- 95 -
Abbildung 54: Erstellung der ansichtsabhängigen Auflösungen .....	- 97 -
Abbildung 55: Konvertierung mit BAT-Datei .....	- 98 -
Abbildung 56: Ansicht im Viewer .....	- 98 -
Abbildung 57: Definition der Toolbar.....	- 99 -
Abbildung 58: JavaScript Funktion "setup3dhop" .....	- 100 -
Abbildung 59: JavaScript Funktion "actionsToolbar(action)" .....	- 101 -
Abbildung 60: Darstellung des Modells mit 3DHOP.....	- 102 -

---

Abbildung 61: Messtool .....	- 102 -
Abbildung 62: 3D-Drucker Ender-3 Pro (Quelle: <a href="https://cdn.shopify.com/s/files/1/0064/6486/4303/products/1_c94387ed-60a8-4878-965f-4f8e868f29c7_1024x1024@2x.jpg?v=1550823213">https://cdn.shopify.com/s/files/1/0064/6486/4303/products/1_c94387ed-60a8-4878-965f-4f8e868f29c7_1024x1024@2x.jpg?v=1550823213</a> ).....	- 103 -
Abbildung 63: Druckvorschau .....	- 105 -
Abbildung 64: Druckvorgang.....	- 106 -
Abbildung 65: Fertiger 3D-Druck .....	- 107 -
Abbildung 66: Vergleich der Schummerungen.....	- 109 -
Abbildung 67: Vergleich der Orthophotos im Maßstab 1:100.....	- 110 -
Abbildung 68: Orthophoto des Drohnenflugs im Maßstab 1:12.....	- 110 -
Abbildung 69: Teilausschnitt des Wege- und Gewässerplans Bernkastel-Pallert (Quelle: DLR Mosel).....	- 112 -
Abbildung 70: Schrägbildaufnahme.....	- 113 -
Abbildung 71: 3D-Modell mit Schrägbildaufnahme.....	- 115 -
Abbildung 72: 3D-Modell ohne Schrägbildaufnahme .....	- 115 -

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: SAPOS Produktdefinition, Version 8 (Quelle: <a href="https://www.sapos.de/dienste-im-ueberblick.html">https://www.sapos.de/dienste-im-ueberblick.html</a> ) .....	- 44 -
Tabelle 2: Technische Daten des UAV Drohne RKM 8X (Quelle: <a href="https://www.rotorkonzept.de/octocopter-drohne-rkm-8x/">https://www.rotorkonzept.de/octocopter-drohne-rkm-8x/</a> ) .....	- 51 -
Tabelle 3: Kameraparameter Sony Alpha 7R (Quelle: <a href="https://www.dkamera.de/datenblatt/sony-alpha-7r/">https://www.dkamera.de/datenblatt/sony-alpha-7r/</a> ) .....	- 53 -
Tabelle 4: Ausgangswerte für die Bildflugplanung.....	- 56 -
Tabelle 5: Berechnete Parameter .....	- 57 -
Tabelle 6: Druckerparameter [Vgl. Creality 3D (2020)].....	- 104 -
Tabelle 7: Kostenermittlung UAV-Befliegung mit eigener Drohne/Beauftragung .....	- 116 -
Tabelle 8: Gesamtkosten der Befliegung & Auswertung für die Weinlage des Verfahrens Bernkastel-Pallert .....	- 118 -

# 1 Einleitung

In Rheinland-Pfalz gibt es insgesamt über 64.000 Hektar (ha) an bestockten Rebflächen, ca. 8.600 ha davon liegen an der Mosel (Stand 2017). Dabei sind wesentliche Rückgänge der bestockten Rebfläche erkennbar, was häufig auf die vielen Steillagen zurückzuführen ist.<sup>1</sup>

Aufgrund des starken Gefälles im Steillagenweinbau, können diese Flächen meist nicht maschinell bewirtschaftet werden. Dadurch ergibt sich eine hohe Unwirtschaftlichkeit mit resultierender Verbrachung der Gebiete. Um diese Flächen für die Winzer attraktiver zu gestalten, werden in Rheinland-Pfalz Flurbereinigungsverfahren nach dem Flurbereinigungsgesetz (FlurbG) durchgeführt. Dabei kann durch planerische Neugestaltung des Gebietes eine Verbesserung der Bewirtschaftung durch beispielsweise Terrassenbauweise, Monorackbahnen oder neue Wege geschaffen werden. Um die Bewirtschaftung von Raupenfahrzeugen mit Direktseilzug ermöglichen zu können, werden gegebenenfalls mit Hilfe von Planierungsarbeiten gleichmäßige Gefälle hergestellt.

Im Zeitalter der Technologie entstehen stetig neue technische Innovationen, die auch auf die Geodäsie Einfluss nehmen. Dadurch steigen sowohl die Messgeschwindigkeiten als auch die Genauigkeiten der Aufnahmen. Moderne Technologien können dabei die Planungen der Flurbereinigungsbehörde maßgeblich unterstützen. Um schwer zugängliche Gebiete wie die Steillagen der Mosel vermessen und neu planen zu können, können mit Hilfe der Photogrammetrie in Verbindung mit einem UAV (Unbemanntes Flugfahrzeug, engl. unmanned aerial vehicle) zusätzliche bildbasierte Planungsgrundlagen geschaffen werden. Dabei werden Luftbilder aufgenommen, die mit Hilfe der Photogrammetrie in dreidimensionale Modelle, Höhenmodelle und Orthophotos weiterverarbeitet werden.

Die vorliegende Bachelorarbeit befasst sich mit den bisher eingesetzten Planungsgrundlagen aus den Daten der Technischen Zentralstelle (TZ) und der Vermessungs- und Katasterverwaltung in den Steillagengebieten der Mosel. Des Weiteren wird überprüft, welchen Vorteil eine Befliegung eines Teilgebiets des Flurbereinigungsverfahrens Bernkastel-Pallert mit Hilfe eines UAV im Hinblick auf Kosten und Nutzen haben kann.

---

<sup>1</sup> Vgl. [Statistisches Landesamt (2015)]

## 2 Weinbergsflurbereinigung in Bernkastel-Pallert

Die Stadt Bernkastel-Kues, mit knapp 6.700 Einwohnern, liegt in Rheinland-Pfalz an der Mittelmosel. Sie gilt als Mittelzentrum und ist ca. 44 km vom nächstgelegenen Oberzentrum Trier entfernt. Die Stadt ist Hochburg des Wander- und Radtourismus und ist weiterhin für ihre berühmten Weinlagen bekannt. Darunter zählt der direkt über der Ortslage Bernkastel liegende „Bernkasteler Doctor“, dessen Rieslingweine zu den besten weltweit gehören. Bernkastel-Kues weist eine Jahresdurchschnittstemperatur von 9,6 °C auf und hat im Durchschnitt 138 Sonnenstunden pro Monat, das macht etwa 4,5 Sonnenstunden pro Tag<sup>2</sup>.

Im Folgenden wird näher auf das Flurbereinigungsverfahren Bernkastel-Pallert eingegangen, als Grundlage dient dabei die Projektbezogene Untersuchung (PU) vom Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Mosel (DLR) aus dem Jahr 2017 [DLR Mosel (2017)].

### 2.1 Allgemeines zum Verfahren

Das vereinfachte Flurbereinigungsverfahren Bernkastel-Pallert wurde am 15.08.2017 durch das DLR Mosel angeordnet. Es ist die erste Bodenordnungsmaßnahme in diesem Bereich und umfasst eine Fläche von 60,2 ha mit 77 Eigentumsverhältnissen. 16 ha befinden sich dabei in der Weinbausteillage, wovon 5,9 ha zu der Weinbausteillage zählen. Das Gelände hat eine Hangneigung zwischen 30 % und 60 %. Der Bereich der Steillagen beginnt dabei bei einer Hängigkeit von 30 %.

---

<sup>2</sup> Vgl. [Wetterdienst (2020)]

In Abbildung 1 sind die verschiedenen Weinlagen im Verfahrensgebiet abgebildet, wie zum Beispiel der Doctor (Dunkelblau), der Graben (Hellblau) und die Lage Johannisbrünnchen (Dunkelbraun).

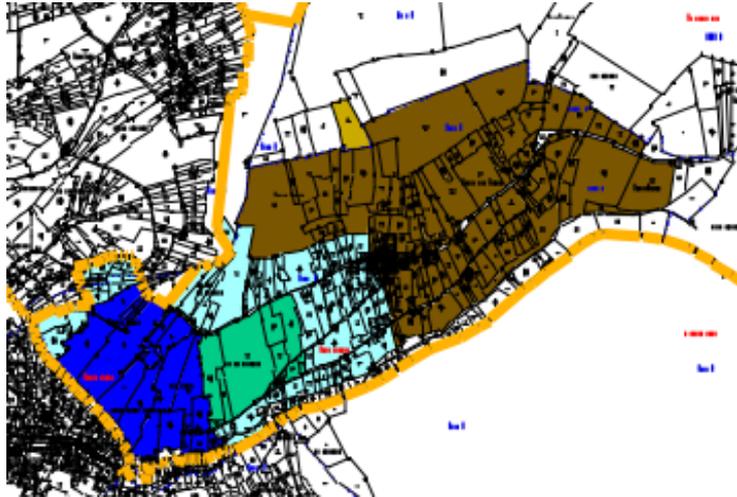


Abbildung 1: Verschiedene Weinlagen

Der „Bernkasteler Doctor“, der Teil des Verfahrens ist, weist eine Ertragsfähigkeit von 75,00 €/m<sup>2</sup> Weingarten auf, was ihn zu einer der teuersten Weinlagen der Welt macht. Das

Anbaugbiet „Graben“ hat zum Vergleich einen Ertragswert von 5,00 €/m<sup>2</sup>.

Nachdem im März 2018 der Vorstand der Teilnehmergeinschaft gewählt wurde, konnte die Wertermittlung durchgeführt werden. Die Feststellung der Ergebnisse der Wertermittlung fand am 07.05.2019 statt.

Der Wege- und Gewässerplan mit landschaftspflegerischem Begleitplan befindet sich aktuell noch in der Ausarbeitung (Stand 26.06.2020). Er besteht aus der Karte zum Plan, einem Erläuterungsbericht, dem Verzeichnis der Festsetzungen, Planungen Dritter sowie dem landespflegerischem Beiheft und weiteren Beiheften. Der Wege- und Gewässerplan wird von der oberen Flurbereinigungsbehörde festgestellt beziehungsweise genehmigt. Weiter stehen in den nächsten Jahren der Planwunschtermin, der Besitzübergang, die Bekanntgabe des Flurbereinigungsplanes sowie der Eintritt des neuen Rechtszustandes mit einhergehender Berichtigung der öffentlichen Bücher an. Schließlich folgen die Schlussfeststellung und die Aktenweglegung.

## 2.2 Sinn und Zweck der Weinbergstflurbereinigung

Auch in der Weinbergstflurbereinigung gelten die allgemeinen Grundlagen der Flurbereinigung. Der Zweck der Flurbereinigung wird in § 1 des FlurbG wie folgt beschrieben: *„Zur Verbesserung der Produktions- und Arbeitsbedingungen in Land- und Forstwirtschaft sowie zur Förderung der allgemeinen Landeskultur und der Landentwicklung kann ländlicher Grundbesitz durch Maßnahmen nach diesem Gesetz neugeordnet werden.“*

Die Weinbergstflurbereinigung erfüllt also mehrere Zwecke, darunter fallen die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Landwirtschaft sowie Maßnahmen des Naturschutzes. Aber auch Maßnahmen zur Förderung des Tourismus können durch ein Flurbereinigungsverfahren umgesetzt werden.

Um die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen, werden die zerstückelten Grundbesitze arrondiert und große, zweckmäßig geformte Grundstücke geschaffen. Wo es das Gelände erfordert, werden, wenn möglich, Planierungen durchgeführt, um den Einsatz von Maschinen zu gewährleisten. Damit können der Arbeitsaufwand und die Produktionskosten gesenkt und so einer Verbrachung von Flächen aufgrund von Unwirtschaftlichkeit entgegengewirkt werden.

Viele Grundstücke sind nicht erschlossen und nur zu Fuß zugänglich, da das Wegenetz in Gebieten des Steillagenweinbaus oft sehr schlecht ausgebaut ist. Weiterhin sind meist zu wenige Wege vorhanden und diese sind zu steil und zu schmal. Dementsprechend werden zweckdienliche Gürtelwege angelegt, die parallel zu den Höhenlinien verlaufen und somit eine geringere Steigung aufweisen. Diese werden so ausgebaut, dass die Anbauflächen auch mit den neusten Maschinen gut erreicht werden können.

Bei einem Flurbereinigungsverfahren in Weinbergstlagen wird besonders auf die Wasserwirtschaft geachtet, da bei Großregenereignissen die Gefahr der Erosion sowie der Überflutung von darunter liegenden Ortslagen besteht. Deshalb wird auf eine geregelte Wasserführung und einen schadlosen Wasserabfluss großen Wert gelegt.

Wie bereits erwähnt, ist ein weiterer Grund für eine Flurbereinigung der Umwelt- und Naturschutz. Jeder Eingriff in die Natur muss nach Bundesnaturschutzgesetz auch wieder ausgeglichen werden. Deshalb sind für jeden neu gebauten Weg und für jede entfernte Trockenmauer Ausgleichsflächen anzulegen.

Im Rahmen einer Flurbereinigung werden ebenfalls touristische Ziele verfolgt. Sei es durch den Ausbau von Rad- und Wanderwegen oder durch finanzielle Hilfen zum Bau von Sehenswürdigkeiten wie zum Beispiel der Hängeseilbrücke Geierlay. So werden Ausflugsziele geschaffen sowie Arbeitsplätze erhalten und neu kreiert.

### 2.2.1 Wirtschaft

In Bernkastel-Kues ist der Weinbau einer der wichtigsten Wirtschaftszweige. Die Arbeitsplätze in der Gemeinde sind vom Weinbau und den daran angegliederten Wirtschaftsbereichen sowie der Gastronomie geprägt. Die Sicherung des Weinbaus stellt somit eine zentrale Rolle zum Erhalt von Arbeitsplätzen und der Wirtschaftsstruktur der Region dar. Wie in Abbildung 2 zu sehen ist, haben die Bewirtschafter in Eigeninitiative bereits einzelne Flurstücke zu größeren Bewirtschaftungseinheiten zusammengefasst.

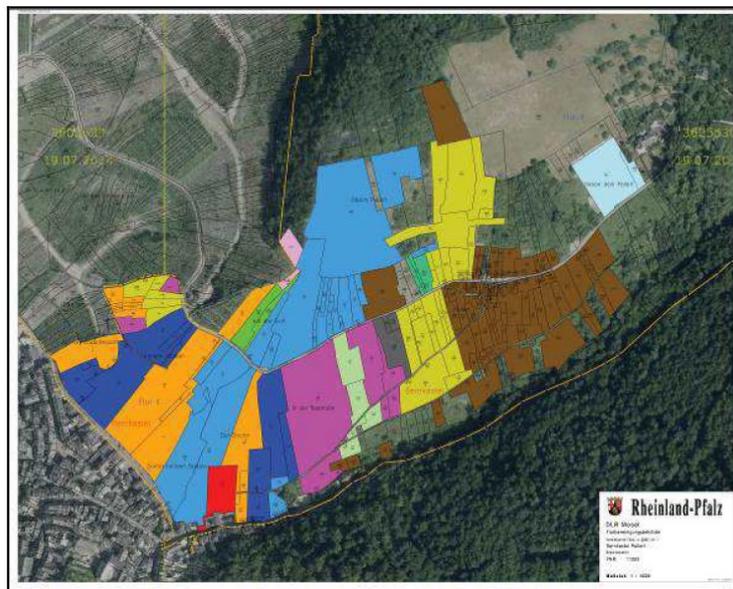


Abbildung 2: Bewirtschaftungsverhältnisse

Dennoch besteht vereinzelt noch Zusammenlegungsbedarf. Durch die vielen kleinen Flurstücke haben die Bewirtschafter zusätzlich einen erhöhten Verwaltungsaufwand, welcher im Rahmen von Kontrollen für Förderprogramme zu Problemen führen kann.

Weiterhin sind die Flurstücke unwirtschaftlich zugeschnitten und die Eigentumsverhältnisse stimmen nicht überall mit den Bewirtschaftungsverhältnissen überein. Deshalb ist momentan eine maschinelle und damit rentable Bewirtschaftung nicht möglich. Die Folgen sind brachliegende Flächen, die zunehmend mit Büschen und Hecken zuwachsen. Die Neuordnung der Flurstücke sowie der Ausbau von Wegen, die auch von modernen Maschinen befahren werden können, sind erforderlich, um den Gewinn dieser Flächen zu steigern, damit sich die Bewirtschaftung wieder lohnt.

Eine weitere Möglichkeit, unwirtschaftliche Steillagen wieder profitabel zu gestalten, ist die Anlage von Querterrassen. Wie aus der Abbildung 3 ersichtlich, verläuft die Terrasse quer zum Gefälle und ist nur an der Böschungskante mit einer einzelnen Rebzeile bestockt. Die Plattformbreite beeinflusst dabei, ob und mit welchen Maschinen die Rebflächen bewirtschaftet werden können. Der Nachteil dieser Art der Bewirtschaftung liegt darin, dass pro Hektar weniger Rebstöcke angepflanzt werden können, als bei den herkömmlichen Methoden.

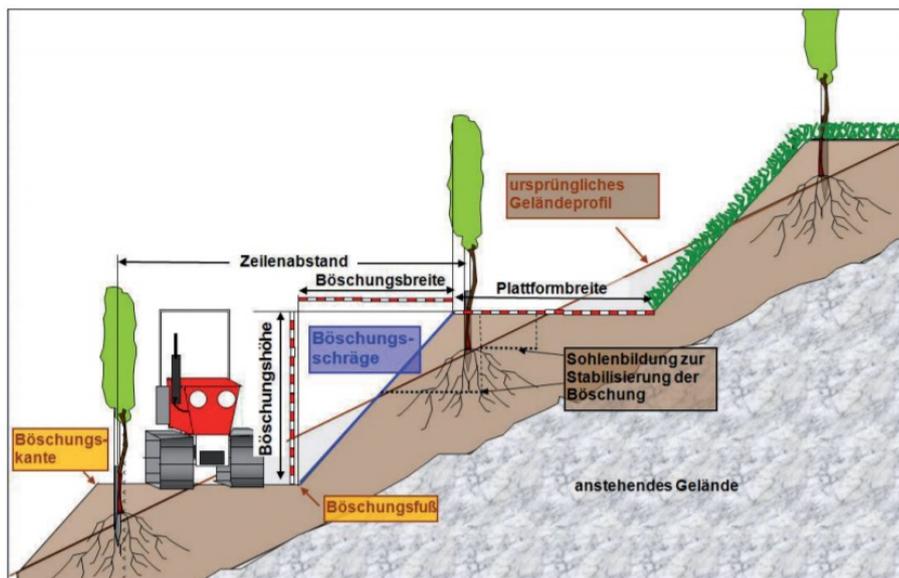


Abbildung 3: Aufbau einer Querterrasse

(Quelle: [http://www.dlkg.org/media/files/preis/dlkg\\_preis2015\\_huber\\_nlkv56.pdf](http://www.dlkg.org/media/files/preis/dlkg_preis2015_huber_nlkv56.pdf))

### 2.2.2 Tourismus

Die Umgebung von Bernkastel-Kues ist von Weinbergen geprägt. Diese wunderschöne Landschaft in Verbindung mit der attraktiven Altstadt zieht zahlreiche Touristen aus aller Welt an. Deshalb profitieren von der Kulturlandschaft nicht nur die Winzer, sondern auch die Hotels, Pensionen und der Einzelhandel. Der Tourismus ist für die Mosel eine der wichtigsten Einnahmequellen und stellt viele Arbeitsplätze bereit. Um dem Fremdenverkehr auch weiterhin eine malerische Landschaft bieten zu können, müssen die Weinbaugebiete in den Steillagen unbedingt erhalten werden.

Eine zunehmende Verbrachung der Weinbergflächen ist auch im Hinblick auf den Tourismus zu verhindern. Daher sollten störende Brachflächen nach Möglichkeit wieder in die weinbauliche Nutzung überführt oder alternativ deren Offenhaltung angestrebt werden.

Im Verfahren Bernkastel-Pallert ist dies insbesondere zu verhindern, da Brachflächen von der Burg Landshut, dem Restaurant „Schützenhaus“ sowie von der Kueser Moselseite zu sehen wären. Das Reiseziel Bernkastel-Kues ist eben genau wegen dieser Weinbaulandschaft so beliebt. Eine Vernachlässigung der Instandhaltung der Weinkulturlandschaft würde zum Rückgang des Publikumsverkehrs führen.

Durch den Ausbau von Rad- und Wanderwegen haben die Besucher viele verschiedene Möglichkeiten, die Weinberge und die Mosel zu erkunden. Einer der bekanntesten Radwege ist dabei der Mosel-Radweg, dessen deutscher Teil insgesamt 239 km lang ist. Die Etappen 5 und 6 enden beziehungsweise starten in Bernkastel-Kues und sind mit 18 und 22 km Länge und kaum nennenswerter Steigung auch für Familientouren geeignet. Für Mountainbiker ist ebenfalls eine Vielzahl an Strecken ausgeschildert.

Man braucht jedoch nicht zwingend ein Zweirad, um die Kulturlandschaft zu durchqueren, denn es sind viele Wanderwege um Bernkastel-Kues gekennzeichnet. Um dem Tourismus auch weiterhin gute Rad- und Wanderwege zu bieten, müssen diese befestigt und ausgebaut werden. Es besteht außerdem die Möglichkeit, im Verlauf des Verfahrens neue Wanderwege auszuschildern.

### 2.2.3 Naturschutz

Bei Bodenordnungsverfahren hat die Flurbereinigungsbehörde auf den Naturschutz und die Landschaftspflege zu achten. Sie verwirklicht aktiv die Ziele und Grundsätze des Naturschutzes und der Landschaftspflege. Nach § 37 des Flurbereinigungsgesetzes sind bei der Neugestaltung des Verfahrensgebietes geeignete Maßnahmen vorzusehen, die dem Natur- und Landschaftsschutz sowie dessen Pflege und Entwicklung dienen und darüber hinaus die Vielfalt, Eigenart und Schönheit als Lebensgrundlage des Menschen nachhaltig sichern. Deshalb werden im Wege- und Gewässerplan für unvermeidbare Eingriffe entsprechende Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen festgelegt.<sup>3</sup>

Es ist wichtig, wertvolle Lebensräume für Flora und Fauna zu erhalten. In den Weinbergen zählen dazu unter anderem Felsformationen und Trockenmauern. Diese werden besonders gerne von poikilothermen Tieren bewohnt, wie zum Beispiel der Mauereidechse, Schlangen oder anderen Reptilien.

Der Lebensraum oder Standort von Tier- und Pflanzenarten wird allgemein als Biotop bezeichnet. Wichtige Faktoren sind dabei beispielsweise besondere klimatische Bedingungen, die Bodenbeschaffenheit aber auch Jagdreviere der Tierarten. Ein Tier lebt aber nicht ständig in nur einem Biotop, sondern wechselt im Laufe eines Jahres seine Standorte, da es auf verschiedene Lebensräume angewiesen ist. So gibt es Nahrungsbiotope, Laich- und Brutplätze, aber auch Ruheazonen und Winterquartiere.<sup>4</sup>

Um den Tieren den Wechsel zwischen den einzelnen Biotopen zu erleichtern oder überhaupt erst zu ermöglichen, müssen Vernetzungsstrukturen geschaffen werden. Dazu werden in der Flurbereinigung Flächen bereitgestellt.

Das Verfahren Bernkastel-Pallert liegt vollständig im Landschaftsschutzgebiet „Moselgebiet von Schweich bis Koblenz“. Sonst gibt es in diesem Gebiet keine Naturschutzgebiete, Naturparke, geschützte Landschaftsbestandteile, Fauna-Flora-Habitat-Gebiete sowie Vogelschutzgebiete und Biosphärenreservate oder Naturdenkmäler.

---

<sup>3</sup> Vgl. [Landespflge (2020)]

<sup>4</sup> Vgl. [Biotopvernetzung in der Landentwicklung (1990)]

Das Verfahrensgebiet umfasst mehrere Biotope, die anteilig dem gesetzlichen Pauschenschutz nach § 30 Bundesnaturschutzgesetz unterliegen.

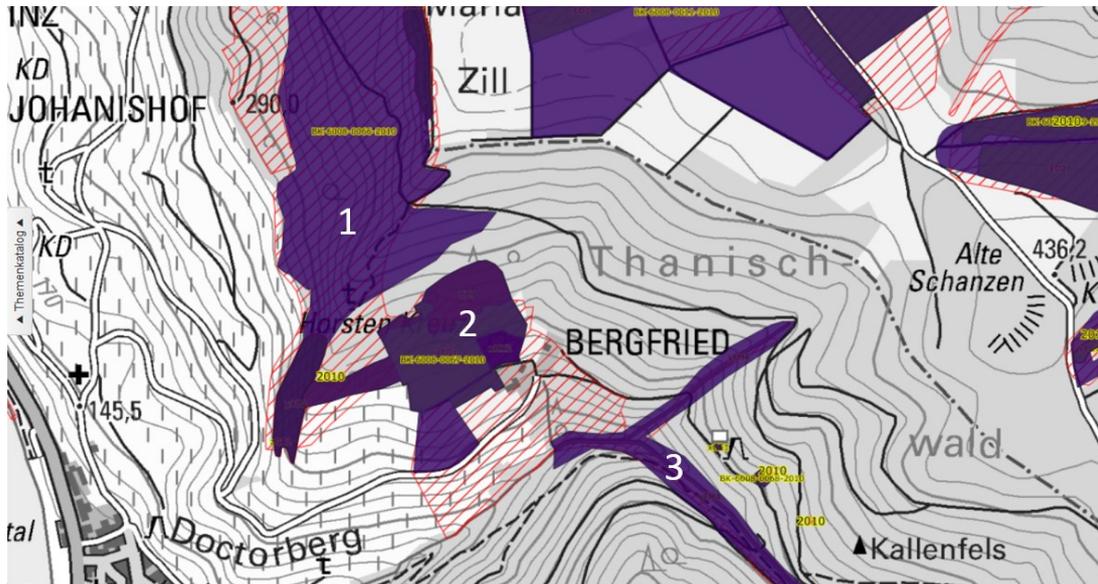


Abbildung 4: Eichen-Hang- und Trockenwald südlich der Graacher Schäferei (1), Kulturlandschaftskomplex Bergfried nordöstlich Bernkastel (2), Quellbachsiepen südöstlich Bergfried nordöstlich Bernkastel (3)  
(Quelle: [https://geodaten.naturschutz.rlp.de/kartendienste\\_naturschutz/index.php](https://geodaten.naturschutz.rlp.de/kartendienste_naturschutz/index.php))

In Abbildung 4 sind Eichen-Hang- und Trockenwald südlich der Graacher Schäferei, der Kulturlandschaftskomplex nordwestlich des Bergfrieds und die Quellbachsiepen südöstlich des Bergfrieds zu sehen, die für den Naturschutz und die Landschaftspflege zu erhalten sind, da diese wertvolle Biotopflächen darstellen.

Wenn durch das Bodenordnungsverfahren Mauern entfernt werden, sind diese durch entsprechende Ausgleichsmaßnahmen zu kompensieren. Dies könnte zum Beispiel durch die Anlage von Steinriegeln oder Gabionen geschehen. Auch sind für das Anlegen neuer Wege Ausgleichsmaßnahmen durchzuführen.

Weiterhin sind flächendeckend Gewässerschutzstreifen nach den Wasserrahmenrichtlinien anzulegen, um den Nitrat- und Nährstoffeintrag zu verringern.

### 3 Stand der Forschung

Um Planungen in Flurbereinigungsverfahren durch moderne Gerätegarnituren zu erleichtern, gibt es wenige Publikationen, die sich mit diesem Thema auseinandersetzen. Aus diesem Grund werden ebenfalls verschiedene Diplom-, Bachelor- beziehungsweise Masterarbeiten, die den Einsatz solcher Gerätegarnituren untersuchen, genutzt.

**Retterath und Thelen (2019)** untersuchten in ihrer gemeinsamen Bachelorarbeit die 3D-Aufnahme und Modellierung des Mauersanierungsprojektes „Winzerweg“ im Zuge des Flurbereinigungsverfahrens in Walporzheim an der Ahr. Hierbei wurden zwei verschiedene Methoden zur Aufnahme der Weinbergsmauern verwendet: Terrestrisches Laserscanning (TLS) und eine Photogrammetrische Aufnahme mittels eines unbemannten Flugfahrzeugs (UAV). Fazit des Vergleichs war, dass die hohen Genauigkeiten des TLS mit UAV nicht erreicht werden können. Aufgrund der Bauart des Laserscanners können jedoch blicktote Bereiche entstehen, die durch die photogrammetrische Aufnahme mittels UAV abgedeckt werden können.

**Gillmann (2014)** untersuchte in seiner Masterarbeit den gewinnbringenden Einsatz von Photogrammetrie in der Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz, sowie neue Technologien, wie u. a. Laserscanning, Fernerkundung oder Nahbereichsphotogrammetrie. Hierbei wurden unter Anderem theoretische Nutzungsmöglichkeiten der Photogrammetrie durch eine Totalstation, GNSS-Feldrechner, Fernerkundung und ein unbemanntes Luftfahrzeug (UAV) verglichen.

**Theisen (2016)** beschrieb im DLKG Sonderheft 8 die Luftbildmessung im Einsatz der Landentwicklung. Die Luftbildmessung wird in der Landentwicklung in Rheinland-Pfalz einem Mehrfachnutzen zugeführt. Unter anderem zur Herstellung von digitalen Orthophotos als Planungs- und Digitalisierungsgrundlage, Koordinierung von Neupunkten, 3D-Koordinatenmessung im Stereomodell, Erzeugung digitaler Geländemodelle für die Planung und bautechnische Berechnungen. Die Genauigkeiten der Orthophotos betragen 5 bis 7 cm und dienen als Grundlage der Bearbeitung von Flurbereinigungsverfahren. Digitale Geländemodelle aus den photogrammetrischen Daten werden auch von der Bautechnik genutzt.

**Wizesarsky (2014)** beschrieb im DLKG Sonderheft 7 Technik und Automation für die Landentwicklung in Deutschland – Stand und Visionen. Hier wurden unter anderem die technischen Veränderungen im vermessungstechnischen Außendienst beschrieben. Hierbei wurden in einem Arbeitskreis der ArgeLandentwicklung Drohnen oder mobile Laserscanner untersucht. Dabei sollten aus den Daten des Laserscans Sollkoordinaten für Wege und andere Anlagen abgeleitet werden.

Aufgabe unserer Bachelorarbeit ist es, alle verfügbaren Planungsunterlagen zu diskutieren und dokumentieren. Die Erstellung zusätzlicher Planungsinformationen soll mit Hilfe eines low-cost Kopters mit integrierter Kamera erprobt werden. An dem Verfahren Bernkastel-Pallert soll überprüft werden, wie hoch der Nutzen der zusätzlichen Planungsunterlagen einzuschätzen ist.

Daraus ergeben sich folgende Forschungsfragen:

1. Inwieweit bringt die Verwendung von moderner Drohnentechnologie zur Erstellung von bildbasierten Planungsunterlagen in Weinbergsflurbereinigungen in Steillagengebieten im Hinblick auf Kosten und Nutzen einen Mehrwert?
2. Welche ergänzenden Planungsinformationen können durch moderne Gerätegarnituren generiert werden und sind diese zweckerfüllend?
3. Welche Genauigkeiten müssen die Planungsunterlagen erreichen, um eine gute Planung sicherstellen zu können?
4. Sind die Planungsdaten, die aus den Daten der Vermessungs- und Katasterverwaltung abgeleitet werden, geeignet und inwieweit reichen diese Daten aus?

## **4 Verwendbare Planungsinformationen**

In diesem Kapitel wird auf die Verwendung von Planungsinformationen eingegangen. Dabei wird zunächst der Einsatz der bisher praktizierten Vorgehensweise zur Verwendung und Erzeugung von existierenden sowie ergänzenden Planungsinformationen beleuchtet. Darauf folgen die Planungsgrundlagen der Technischen Zentralstelle und der Vermessungs- und Katasterverwaltung.

### **4.1 Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation**

Das Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation ist die obere Landesbehörde der Vermessungs- und Katasterverwaltung (VermKV) in Rheinland-Pfalz. Die sechs Vermessungs- und Katasterämter bilden die untere Vermessungs- und Katasterbehörde. Die oberste Behörde ist das Ministerium des Innern und für Sport.

Das Landesamt übernimmt unter anderem Aufgaben der Erhebung, Aktualisierung und Bereitstellung topographischer Daten, Gewährleistung des vermessungstechnischen Raumbezugs sowie die Bereitstellung von Geobasisdaten. Außerdem fungiert es als Aufsichtsbehörde der Vermessungs- und Katasterämter, sowie der Öffentlich bestellten Vermessungsingenieure.<sup>5</sup>

#### **4.1.1 Bereitgestellte Daten**

Zwischen dem Ministerium des Innern und für Sport und dem Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau (MWVLW) gibt es eine Vereinbarung zur Übermittlung und Nutzung von Geobasisinformationen der VermKV aus dem Jahr 2002 mit Nachträgen bis 2011.

---

<sup>5</sup> Vgl. [LVermGeo (2020 a)]

In dieser Vereinbarung werden Geobasisinformationen aufgeführt, die zur Nutzung für das MWVLW und den nachgeordneten Dienststellen bereitgestellt werden. Dazu zählen folgende Daten:<sup>6</sup>

- Digitales Landschaftsmodell
- DGM 1 und DGM 5
- Digitale Topographische Karten (DTK)
- Digitale Orthophotos (DOP)
- Rasterdaten der Liegenschaftskarte
- ALB und ALK (heute ALKIS)
- Vektordaten der Bodenschätzung
- Amtliche Hauskoordinaten
- Laserscan-Daten (Laserpunkte Gelände und Laserpunkte Objekte)
- Digitales Oberflächenmodell
- Daten von SAPOS
- 3D-Gebäudemodell

### **Digitales Landschaftsmodell**

Das digitale Landschaftsmodell (DLM) beschreibt die Oberfläche der Erde mittels topographischen Objekten. Der Inhalt wird anhand des Objektartenkataloges von ATKIS beschrieben. Das Basis DLM wird alle drei Jahre umfassend und flächendeckend aktualisiert. Das Lagebezugssystem ist das ETRS89 (Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989) und das Höhenbezugssystem ist das Deutsche Haupthöhennetz 2016 (DHHN2016).<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> Vgl. [Vereinbarung Übermittlung Geobasisinformationen (2011)]

<sup>7</sup> Vgl. [Basis DLM (2018)]

## **DGM**

Die digitalen Geländemodelle (DGM) beschreiben die Erdoberfläche anhand von 3D-Koordinaten. Dabei wird die Erdoberfläche ohne die darauf befindlichen Objekte (zum Beispiel Bäume oder Gebäude) beschrieben. Das DGM wird aus der Laserscanbefliegung abgeleitet. Die DGM werden entsprechend der Laserscanbefliegung in einem neunjährigen Rhythmus erneuert. Die digitalen Geländemodelle werden im 1 m-, 5 m-, 10 m-, 25 m- und 50 m- Punktraster bereitgestellt.<sup>8</sup> Aus den Daten des DGM lassen sich außerdem Schummerungskarten ableiten, die den DLR auch bereitgestellt werden.

## **Digitale topographische Karten**

In topographischen Karten wird die Oberfläche der Erde dargestellt. In der digitalen topographischen Karte (DTK) im Maßstab 1:5000 werden Siedlungen, Verkehrsnetze, Vegetation, Gewässer, Geländeformen und Eigentumsgrenzen dargestellt. Die DTK 5 ist eine Kombination aus digitaler topographischer Karte und Liegenschaftskarte. Sie wird alle drei Jahre aktualisiert.<sup>9</sup>

In der DTK 25, DTK 50, DTK 100 werden Objekte wie Siedlungen, Verkehrsnetze, Vegetation, Gewässer und Geländeformen dargestellt. Die DTK 25 wird aus dem digitalen Landschaftsmodell und dem digitalen Geländemodell abgeleitet.<sup>10</sup> Die DTK 1:50000 ergibt sich aus dem DLM 50 und dem DGM.<sup>11</sup> Die digitale topographische Karte 100 ist die aus dem digitalen Landschaftsmodell 50 und dem digitalen Geländemodell generalisiert abgeleitete topographische Karte.<sup>12</sup>

---

<sup>8</sup> Vgl. [Geländemodelle (2018)]

<sup>9</sup> Vgl. [DTK5 (2017)]

<sup>10</sup> Vgl. [DTK25 (2017)]

<sup>11</sup> Vgl. [DTK50 (2017)]

<sup>12</sup> Vgl. [DTK100 (2017)]

## **Digitale Orthophotos**

Die digitalen Orthophotos (DOP) sind entzerrte und lagerichtig abgebildete Luftbilder. Sie werden in den Bodenpixelauflösungen 20 cm, 40 cm und 80 cm zur Verfügung gestellt. Die DOPs werden aus den Luftbildern und dem digitalen Geländemodell abgeleitet. Jährlich wird durch die VermKV 50 % der Landesfläche befliegen. Die DOP 40 und 80 werden via Open Data bereitgestellt. Die Daten des DOP 20 werden den DLR ebenfalls zur Verfügung gestellt, diese sind jedoch nicht frei zugänglich.<sup>13</sup>

## **ALKIS**

ALKIS ist das Amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem. Der Inhalt dieses Informationssystems wird anhand des Objektartenkataloges ALKIS beschrieben. Dazu zählen Flurstücke, Gebäude und Eigentümer. Daten, die gelöscht werden, werden historisiert und können somit später wiederhergestellt werden. Das Liegenschaftskataster ist tagesaktuell.<sup>14</sup> Außerdem wird die Liegenschaftskarte als Rasterdatensatz zur Verfügung gestellt.

## **Amtliche Hauskoordinaten**

Die amtlichen Hauskoordinaten sind Koordinaten, die die Verbindung zwischen der Adresse und der exakten Lage eines Gebäudes bilden. Neben dem Gebäudekennzeichen (Land, Kreis, Gemeinde, Straße und Hausnummer) besteht sie aus den postalischen Adresdaten (Postleitzahl) und der Georeferenz.<sup>15</sup>

## **Laserscandaten**

Beim Laserscanning sendet der Laserscanner Lichtimpulse aus, die von Objekten reflektiert werden. Aus der Signallaufzeit der Reflexion sowie der Position und der Lage des Flugzeuges kann der Geländeverlauf bestimmt werden. Die Vorteile des Laserscanning liegen bei den vergleichsweise geringen Anforderungen an die Wetterbedingungen und der Möglichkeit in unzugänglichen Bereichen gute Höhenergebnisse zu erzielen. Bei einer Laserbefliegung fallen ein Teil der Messpunkte nicht auf die Erdoberfläche sondern auf die dort befindlichen Objekte, Bauwerke und Vegetation. Die Klassifizierung der Laserpunkte erfolgt durch automatisierte Filterfunktionen in Laserpunkte Gelände (LPG) und

---

<sup>13</sup> Vgl. [DOP (2016)]

<sup>14</sup> Vgl. [ALKIS (2020)]

<sup>15</sup> Vgl [Amtliche Hauskoordinaten (2016)]

Laserpunkte Objekte (LPO). LPO werden dabei als First-Pulse-Objektpunkte selektiert und beschreiben die Geländeoberfläche ohne darauf befindliche Objekten. Die LPG werden als Last-Pulse-Objektpunkte selektiert und beschreiben die Objekte, die sich auf der Erdoberfläche befinden. Beide Gruppen der Laserpunkte werden mit einer Punktdichte von vier Punkten pro Quadratmeter bereitgestellt. Die Laserscandaten werden in einem neunjährigen Turnus erneuert.<sup>16</sup>

### **Digitales Oberflächenmodell**

Das digitale Oberflächenmodell ist die Beschreibung der Erdoberfläche, hierin sind Bewuchs oder Bauwerke inkludiert. Die Oberflächenmodelle werden in verschiedenen Gitterweiten bereitgestellt. Aktuell wird in Rheinland-Pfalz lediglich das bildbasierte digitale Oberflächenmodell bereitgestellt. Jährlich werden ca. 50 % der Landesfläche aktualisiert, dieses Intervall kommt durch die Luftbildbefliegungen der Vermessungs- und Katasterverwaltung zustande.<sup>17</sup>

### **SAPOS**

SAPOS ist der Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung. Der hochpräzise Echtzeit-Positionierungs-Service und der geodätische Postprocessing Positionierungsservice werden als SAPOS-Dienste von der Vermessungs- und Katasterverwaltung zur Nutzung bereitgestellt.<sup>18</sup>

### **3D-Gebäudemodelle**

Basierend auf den Grundrissen des Liegenschaftskatasters beschreiben 3D-Gebäudemodelle dreidimensionale Gebäude- oder Bauwerkinformationen in verschiedenen Detaillierungsstufen, den sogenannten Level of Details (LoD). Das LoD 1 beschreibt dabei die Gebäude als Klotz, beziehungsweise Block über dem Grundriss auf mittlerer Dachhöhe. LoD 2 beschreibt die Gebäude mit standardisierten Dachformen. Firstverlauf, First- und Traufhöhe entsprechen dabei unter Berücksichtigung der Modellgenauigkeit der Örtlichkeit.<sup>19</sup>

---

<sup>16</sup> Vgl. [Vereinbarung Übermittlung Geobasisinformationen (2011)]

<sup>17</sup> Vgl. [bDOM (2020)]

<sup>18</sup> Vgl. [Vereinbarung Übermittlung Geobasisinformationen (2011)]

<sup>19</sup> Vgl. [3D-Gebäudemodelle (2018)]

#### **4.1.2 Aktuell verwendete Daten**

In einer Excel-Tabelle aus dem Jahr 2016 werden die Daten, welche die TZ über die Bündelungsstelle unmittelbar an die DLR abgibt, aufgeführt. Dazu zählen DGM 1, DGM 5, DTK, DOP 20, Verwaltungs- und Gemarkungsgrenzen, Webatlas RP, Karte RP und SAPOS. Aufgrund der stetig steigenden Anzahl an Open-Data-Produkten, die auch die Vermessungs- und Katasterverwaltung anbietet, werden viele Daten auch über einen WMS- oder Download-Dienst genutzt.

Abschließend kann zu den Daten des Landesamtes gesagt werden, dass vor allem das digitale Geländemodell und die Höhenlinien in der Planung von Flurbereinigungsverfahren genutzt werden. Der Satellitenpositionierungsdienst wird ebenfalls für die Arbeiten mit GNSS-Gerätschaften als wichtige Grundlage genutzt. Die digitalen Topographischen Karten und der Webatlas RP können lediglich zur Anfahrtsskizzierung oder ähnlichem genutzt werden.

Da die Daten der Laserscanbefliegungen bis zu neun Jahre alt sein können, wäre zur Unterstützung der Planungen eine höhere Aktualität von Vorteil. Dies könnte besonders in Rutschgebieten einen Mehrwert bringen, da so ein aktuelles DGM bereitgestellt werden kann. Weiterhin wäre eine Lieferung eines fehlerfreien DGMS sinnvoll, wodurch eine händische Überarbeitung bei der Technischen Zentralstelle umgangen werden kann.

Weitere Daten des Landesamtes bringen keinen Vorteil für die Planung. Somit bilden die Daten der VermKV, die über die Bündelungsstelle bereitgestellt werden, eine wichtige Planungsgrundlage.

## 4.2 Technische Zentralstelle

Die Abteilung Technische Zentralstelle (TZ) ist ein landesweit zuständiger interner, zentraler Dienstleister im EDV-Bereich für die Dienstleistungszentren Ländlicher Raum. Die TZ ist am DLR Rheinhessen-Nahe-Hunsrück angesiedelt und für Aufgaben der Beschaffung von Hard- und Software, Netzwerktechnik, Entwicklung von Spezialanwendungen und Vermessung zuständig. Die Abteilung ist in zwei Gruppen aufgeteilt: EDV-Systeme und Fachanwendungen. Die Gruppe Fachanwendungen ist unter anderem für die Vermessung und Bildbearbeitung zuständig, hierbei führt sie die Aufgaben über fachliche Vorgaben, Beschaffung von Messgeräten und unterstützende Messtätigkeiten aus.<sup>20</sup>

Die Technische Zentralstelle stellt neben den selbst erhobenen Daten auch die Daten der Vermessungs- und Katasterverwaltung den verschiedenen DLR zur Verfügung. Im folgenden Kapitel wird näher auf die Produkte, die die TZ selbst erhebt oder bearbeitet, eingegangen.

### 4.2.1 Planungsinformationen der TZ

#### Orthophoto

Zu Beginn eines Flurbereinigungsverfahrens wird das Verfahrensgebiet mit einem Bildflug erfasst. Dieser wird öffentlich ausgeschrieben, meist in mehreren Losen, unter denen die verschiedenen zu befliegenden Verfahren aufgeteilt werden. In der Ausschreibung werden die geforderten Parameter aufgeführt. Dazu zählen unter anderem der Zeitpunkt der Befliegung (vor Laubausbruch), die bevorzugten Kameras, eine Längsüberlappung von 80 bis 60 %, eine Querüberlappung von 60 bis 40 % und eine Bodenauflösung von 5 bis 7 cm. Eine Befliegung vor Laubausbruch führt dazu, dass eine gute Bodensicht, teils auch in Waldgebieten, möglich ist. Aus einer hohen Quer- und Längsüberlappung ergibt sich eine hohe Überbestimmung, was zu einer besseren Qualität der Aufnahmen führt. Außerdem wurde des Öfteren eine Kreuzbefliegung durchgeführt, was mittlerweile durch eine Überlappung von 80 % längs und 60 % quer ersetzt wurde. Verknüpfungspunkte werden automatisch gemessen, Passpunkte und Neupunkte semiautomatisch. Verknüpfungspunkte

---

<sup>20</sup> Vgl. [DLR RNH (2020)] Internetseite wir über uns TZ

sind dabei in mehreren Bildern abgebildet. Durch Passpunkte werden die Bilder georeferenziert. Die Genauigkeit hängt maßgeblich von der Aufnahmegeometrie und dem vermessungstechnischen Raumbezug ab. Die Passpunkte werden dabei im System, ETRS89/UTM32 (Universale Transversale Mercatorprojektion), mit der Genauigkeitsstufe 2000 und dementsprechend mit einer Genauigkeit von  $< 2$  cm gemessen.<sup>21</sup>

Bei der Auswertung wird die Aerotriangulation eingesetzt. Dabei müssen die Aufnahmerichtung und die Lage der Bilder bekannt sein. Zusammenhängende Bilder können anfangs zueinander orientiert und später der gesamte Bildverband so zu den Passpunkten orientiert werden. Bei der Aerotriangulation werden alle Orientierungsdaten für alle Bilder berechnet, wodurch sie später auch für weitere Anwendungen genutzt werden können.<sup>22</sup>

Weil die Bilder aus der Zentralperspektive aufgenommen werden, entstehen durch Höhenunterschiede Lagefehler im Bild. Das Luftbild muss also noch in ein Orthophoto umgewandelt werden, welches eine entzerrte und lagerichtige Abbildung des Luftbildes ermöglicht und somit Strecken- und Flächenmessungen möglich macht.<sup>23</sup>

Die Erzeugung des Orthophotos hängt maßgeblich von der Qualität des DGM ab. Bei der Berechnung erhält jedes Pixel (X, Y) des digitalen Orthophotos, auf der Ebene der Kartengeometrie, durch Interpolation mit dem Höhenmodell eine Höhe Z. Diese Koordinaten werden dann mit den Orientierungsparametern und der Rahmenmarkentransformation in Bildkoordinaten umgerechnet. Danach folgt eine Interpolation des Grauwertes beziehungsweise des Farbwertes für diese Bildkoordinate.<sup>24</sup>

Diese Berechnung der Orthophotos geschieht für jedes aufgenommene Luftbild. Anschließend werden Seamlines (Saumlinien) berechnet, die Grenzlinien zwischen den einzelnen Orthophotos darstellen. Nachdem diese berechnet wurden, kommt es zur Berechnung des Orthophotomosaiks. Dabei werden Helligkeits-, Kontrast- und Farbangleichungen im Bereich der Linien vorgenommen.<sup>25</sup>

---

<sup>21</sup> Vgl. [Theisen (2020a)]

<sup>22</sup> Vgl. [Geoplana (2020)]

<sup>23</sup> Vgl [Pompe (2020)]

<sup>24</sup> Vgl [Schlüter (2018a)]

<sup>25</sup> Vgl [Pompe (2020)]

Die erzeugten Orthophotomosaik werden den Dienstleistungszentren nach der Erstellung über das Bearbeitungsprogramm GRIBS und LEFIS zur Verfügung gestellt. Sie bilden eine wichtige Planungsgrundlage in Flurbereinigungsverfahren. Das Orthophoto dient als Grundlage für die Punktfestlegung durch Digitalisierung (PuDig), bei der die Sollkoordinaten der zukünftigen Grenzen anhand des Orthophotos digitalisiert werden. Dies ist möglich, da die Pixelgrößen 5 bis 7 cm betragen und die Befliegung vor Laubausbruch stattfindet. Die Orthophotos der Vermessungs- und Katasterverwaltung mit 20 cm Bodenpixelauflösung, sind dafür zu ungenau und bieten weiterhin keine ausreichende Sicht. Neben PuDig bildet das Orthophoto eine wichtige Grundlage zur Erzeugung des Wege- und Gewässerplanes. Die durchschnittlichen Kosten aus der Befliegung der Verfahren eines Jahres betragen etwa 4 bis 6 € pro ha.

Das Verfahrensgebiet Bernkastel-Pallert wurde am 06.04.2018 mit einer Längsüberdeckung von 80 % und einer Querüberdeckung von ~ 40 % befliegen. Das zu befliegende Gebiet wurde in vier Flugstreifen aufgeteilt, auf denen insgesamt 51 Bilder aufgenommen wurden (siehe Abb. 5). Aus diesen Aufnahmen wurden Orthophotos mit einer Auflösung von 7 cm berechnet. Die Bearbeiterin hat rund acht Arbeitstage an dem Projekt Bernkastel-Pallert bezüglich des Bildfluges (Vorbereitung, Auswertung) gearbeitet.



Abbildung 5: Flugstreifen der Befliegung der TZ (Quelle: Theisen (2018))

Aufgrund der Topographie in den Steillagen der Mosel kann es insbesondere beim PuDig-Verfahren dazu kommen, dass eine Auswertung im zweidimensionalen Orthophoto nicht mit einer ausreichenden Genauigkeit möglich ist. Ist dies der Fall, kann eine Auswertung beziehungsweise Punktfestlegung im 3D-Stereomodell erfolgen. Dieses wird mit einer 3D-Computermaus bedient und mit Hilfe der dreidimensionalen Ansicht können die Punkte dann auf der richtigen Höhe digitalisiert werden.

## **DGM 5**

Das digitale Geländemodell (DGM) beschreibt die Oberfläche der Erde in 3D-Koordinaten ohne Objekte wie Bäume oder Gebäude. Das DGM wird aus der Laserscanbefliegung abgeleitet, dessen Daten in einem neunjährigen Turnus erneuert werden. Neben dem DGM 5 werden außerdem das genauere DGM 1, das DGM 10, das DGM 25 und das DGM 50 angeboten. Das Lagebezugssystem der DGM ist das ETRS89 und das Höhenbezugssystem das DHHN2016. Die Zahl des jeweiligen DGM gibt dabei die Gitterweite der Punkte an, so bildet das DGM 5 ein Netz von Koordinaten in einem 5 m Raster.<sup>26</sup>

Bei der Laserscanbefliegung wird die Erdoberfläche mittels Laserimpulsen abgetastet. Dabei wird die Lage des Laserscanners und des Flugzeuges mittels GPS und Kreismessungen bestimmt. Beim Überfliegen entstehen vier bis fünf Punkte pro Quadratmeter mit einer Lagegenauigkeit von ungefähr 3 dm und einer Höhengenaugkeit von circa 2 dm. Laserpunkte des Geländes können von denen der Oberfläche durch die Laufzeit unterschieden werden. Der First-Pulse beschreibt dabei die Objekte und wird somit für das digitale Oberflächenmodell genutzt. Der Last-Pulse beschreibt das Gelände und wird zur Erstellung des digitalen Geländemodells verwendet. Zur Auswertung bei der TZ werden die Daten des DGM 5 verwendet. Da dieses Modell bei der Vermessungs- und Katasterverwaltung automatisiert erstellt wird, muss eine Nachbearbeitung durchgeführt werden. Im Stereomodell werden die Bruchkanten, an denen das Gelände un stetig ist, erzeugt und fehlerhafte Punkte gelöscht. Zusätzlich werden Massepunkte erzeugt, die eine Massenberechnungen ermöglichen. Wie in dem Kapitel „Orthophoto“ bereits beschrieben, dient das DGM als Grundlage zur Berechnung der Orthophotos.<sup>27</sup>

---

<sup>26</sup> Vgl. [Produktbeschreibung DGM (2018)]

<sup>27</sup> Vgl. [Pompe (2020)]

Das DGM 1 wurde in einigen Verfahren getestet. Aufgrund der wesentlich höheren Datenmenge und den damit zu kontrollierenden 1.000.000 Punkten pro Quadratkilometer wird dieses jedoch für die Flurbereinigungsverfahren nicht weiter angewendet.

### 4.3 Vorgehensweise zur Verwendung von Planungsinformationen

In der vorliegenden Bachelorarbeit ist die Vorgehensweise zur Erzeugung ergänzender Planungsinformationen für Steillagenflurbereinigungsverfahren an der Mosel anhand von drei Beispielen zu untersuchen. Dazu wurden zwei Vorgehensweisen aus dem Verfahren Graach (Himmelreich) und eine aus der Flurbereinigung Wolf (Goldgrube) ausgewählt.

#### 4.3.1 Profilmessung

Ebenfalls für das Verfahren Graach, wurden als ergänzende Planungsinformationen Profile im Weinberg gemessen, die der Ausführungsplanung dienen. Bei den Aufnahmen ist besonders darauf zu achten, dass markante Stellen wie Hoch- und Tiefpunkte erfasst werden. In Abbildung 6 ist das Profil QP 3 für die Planung eines Wendehammers zu sehen. Daran lässt sich erkennen, an welchen Stellen das Gelände um wie viele Meter abgetragen werden muss. Dadurch können Massenberechnungen durchgeführt werden und die Planung des Wendehammers wird erleichtert.

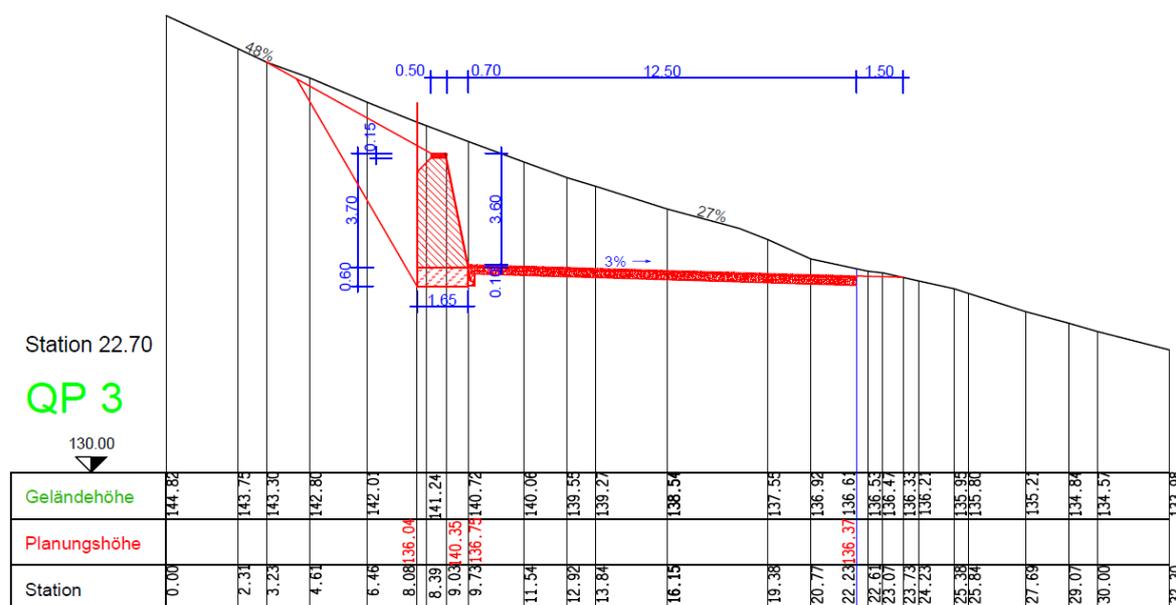


Abbildung 6: Profil QP 3 im Bereich eines geplanten Wendehammers (Quelle: DLR Mosel)

Nachdem der Wegeausbau abgeschlossen war, wurden weitere Profile gemessen. Diese dienten der Planung von Planierungsarbeiten. Dabei wurden über das Gebiet verteilt mehrere Profile mittels GNSS-Messung (Globales Navigationssatellitensystem) gemessen, deren Abstand 20 bis 25 Meter betrug. Sollte der zu planierende Bereich ein ungleichmäßiges Gelände aufweisen, wird ein engeres Messnetz gewählt.

Da die gewonnenen Messwerte lediglich der Berechnung von Erdmassen dienen, ist die Höhengenaugigkeit der GNSS-Messung mit 2 bis 3 cm ausreichend.

Die veralteten Daten des DGM vom LVerGeo waren nicht mehr zu gebrauchen, da der Bereich in einem Rutschgebiet liegt und die Differenzen teilweise 30 bis 40 cm zu den Profilen betragen.

In Abbildung 7 ist das Querprofil 5 dargestellt. Die schwarze Linie stellt dabei die aktuelle Geländehöhe dar, wohingegen die rote Linie die Planungshöhe zeigt. Anhand dieser Abbildung lassen sich die Massenbewegungen ermitteln und weiterhin zeigt sie dem Raupenfahrer, wo er wie viel Gelände ab- oder auftragen muss.

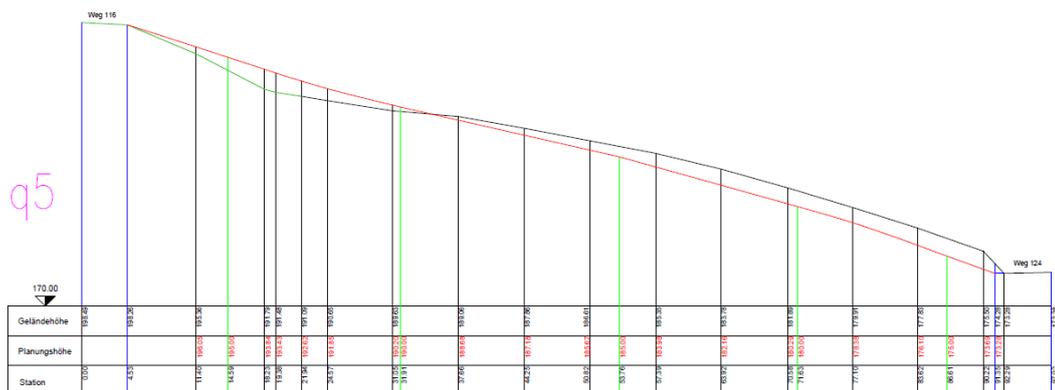


Abbildung 7: Profil q5 im Bereich einer Planierung (Quelle: DLR Mosel)

#### 4.3.2 Geologische Gutachten

In einigen Weinbergverfahren wird auch das Landesamt für Geologie und Bergbau (LGB) für weitere Untersuchungen eingesetzt. Dies ist insbesondere der Fall, wenn es um Massenbewegungen geht, wie sie bei Planierungen oder dem Bau von Querterrassen vorkommen. Aber auch bei Rutschhängen wird ein geologisches Gutachten erstellt.

Im Verfahren Wolf (Goldgrube) wurden von einer spezialisierten Firma neue Querterrassen angelegt. Bevor diese jedoch mit dem Bau beginnen konnte, mussten die geologischen

Verhältnisse vom LGB ermittelt werden. Anschließend wurde beurteilt, ob der Boden für dieses Bauvorhaben geeignet ist und wenn ja, was dabei beachtet werden muss.

Aus der Ergebnisniederschrift vom Ortstermin am 11.01.2017 mit dem LGB geht hervor, dass die Terrassenebene eine Breite von 1,20 m haben soll und die entstehende Böschungsneigung maximal circa 150 % betragen würde. Dabei beträgt die Böschungshöhe maximal 1,50 m. Weiterhin wird festgehalten, dass aufgrund von partiellen Nachrutschungen der Böschung die Winzer nach Fertigstellung der Anlage eventuell Unterhaltungsarbeiten vornehmen müssen. Der gesamte Bau des Bereichs der Wendestelle soll von einem Fachgutachter während des Ausbaus ständig begutachtet werden. Beim Bau der Haltebucht ist darauf zu achten, dass die vorhandene Mauer und das Erdreich erst unmittelbar vor Errichtung der neuen Mauer weggenommen werden.<sup>28</sup>

Der Geologe beschreibt, dass für den Bau der Querterrasse geeignete Bodenverhältnisse und erdbauliche Bedingungen erforderlich sind. Die Böden dürfen nicht zu feucht sein, aber auch nicht zu trocken, da sonst eine ausreichende Verdichtung nicht möglich ist. Deshalb ist für den Bau auf eine günstige Bodenfeuchte zu achten. Eine zu starke Verdichtung für den Boden ist nicht angestrebt, da dies zu einem schlechteren Pflanzenwachstum führt und das Wasser nicht in den Boden eindringen kann. Generell sollte die Verdichtung des Oberbodens vermieden werden, um das Infiltrationsvermögen von Niederschlägen groß zu halten. Deshalb sollte bei Nässe die Befahrung vermieden werden. Um den aufgefüllten Boden mit dem anstehenden Erdreich zu binden, soll der Bewuchs entfernt und eine oberflächliche Durchmischung hergestellt werden. Dadurch werden potentielle wasserstauende Lagen vermieden. Die Terrassen und Böschungen sollen schnell begrünt werden, um das Bauwerk zu stabilisieren und vor Erosion zu schützen. Um das Ausspülen des Saatguts zu verhindern und Erosion vorzubeugen, soll eine Strohabdeckung aufgebracht werden.<sup>29</sup>

Der Geologe vom LGB hat im Verfahren Wolf auch eine geotechnische Stellungnahme für Rissbildungen abgegeben. Dabei ging es um einen Wirtschaftsweg, der auf der talseitigen Hälfte Risse und Absackungen aufwies. Der Gutachter nannte als Ursachen starke Niederschläge, die den Boden aufweichten, in Verbindung mit der starken Beanspruchung des Weges durch den LKW-Verkehr aufgrund des Bauvorhabens.

---

<sup>28</sup> Vgl. [Ergebnisniederschrift Ortstermin LGB (2017)]

<sup>29</sup> Vgl. [Kurz (2017)]

Um den Weg dauerhaft zu stabilisieren, hat der Geologe empfohlen, einen rückverankerten bewehrten Randbalken einzubauen (Abb. 8). Dieser Betonbalken soll etwa 1,5 m breit und 1 m dick sein. Er soll mit Druck- und Zugpfählen gesichert werden, die im Tonschiefer verankert sind. Entstandene Risse in der angrenzenden Mauer sind mit geeignetem Beton zu vergießen, um sie vor weiteren Frostschäden zu schützen.<sup>30</sup>

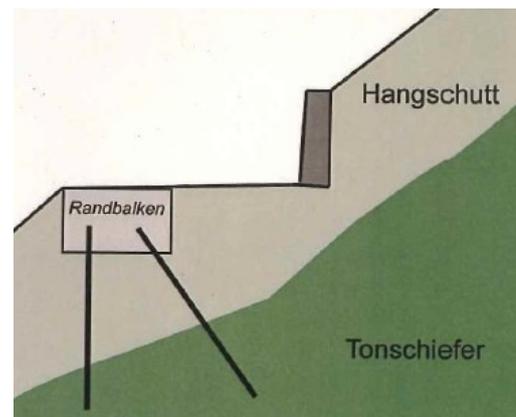


Abbildung 8: Querschnitt einer Wegebefestigung (Quelle: DLR Mosel)

### 4.3.3 Mauereinmessungen

Das Flurbereinigungsverfahren Graach weist eine besondere Problemstellung auf, da es sich in einem Rutschgebiet befindet. Das bedeutet, dass sich teilweise Erdmassen den Hang hinunterbewegen. Die Geschwindigkeit dieser Rutschung beträgt wenige Zentimeter pro Jahr. Durch die Massenbewegungen wurden die Stützmauern verschoben, weshalb sie mit mehreren Metern langen „Nägeln“ gesichert wurden. Dadurch konnte der Hang jedoch nicht stabilisiert werden und sowohl im Boden als auch in den neu gebauten Mauern entstanden Risse.

Um die Rutschung zu überwachen, werden von der TZ, als zusätzliche Planungsinformationen, über mehrere Jahre Kontrollmessungen mittels GNSS-Messungen durchgeführt. Im Innendienst wurden die Ergebnisse ausgewertet und bilden damit die Grundlage zur Berechnung der in Abbildung 9 dargestellten Vektoren. Anhand dieser Vektoren kann gesagt werden, dass die Bewegung der gemessenen Mauern hangabwärts verläuft. Da die Messungen mittels GNSS-Verfahren jedoch nur eine Genauigkeit von 1 cm bis 2 cm in der Lage und 2 cm bis 3 cm in der Höhe aufweisen, wurde ein Öffentlich bestellter Vermessungsingenieur (ÖbVI) beauftragt, der

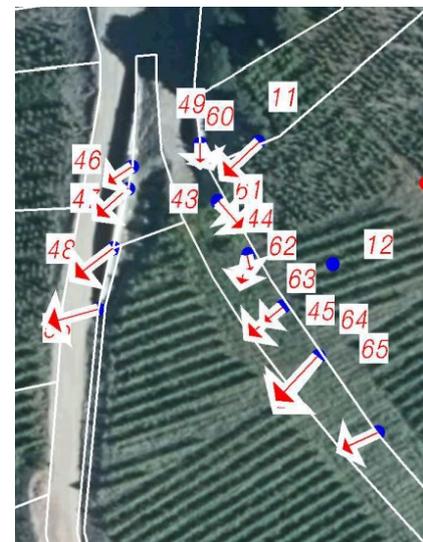


Abbildung 9: Vektoren der Mauerbewegungen (Quelle: DLR Mosel)

<sup>30</sup> Vgl. [Rogall (2017)]

millimetergenaue Vergleichsmessungen durchführen sollte. Dabei wurden auf der Mauer mehrere Messmarken angebracht, durch welche die genaue Bewegung und Kippung der einzelnen Mauerbereiche festgestellt werden sollte.

Damit der ÖbVI mit der Arbeit beginnen kann, muss vorher ein Werkvertrag aufgesetzt werden. In diesem werden die Regelungen und Aufgaben zwischen dem DLR und dem ÖbVI geregelt. So heißt es: *„Der Auftragnehmer übernimmt in der Vereinfachten Flurbereinigung Graach (Himmelreich) die Anlage eines ingenieurgeodätischen Netzes in Lage und Höhe zur Beobachtung der Verformung an einer vernagelten Weinbergsmauer sowie zur Beobachtung der Bewegung einer sich bewegenden Erdscholle.“*<sup>31</sup>

Weiterhin sind in diesem Vertrag die Vergütung, Terminfristen sowie die zu erbringenden Leistungen geregelt: Der Öffentlich bestellte Vermessungsingenieur hat mehrere Messungen durchzuführen, die einen Abstand von sechs bis zehn Tagen haben sollen. Dabei ist eine Genauigkeit von 2 mm einzuhalten. Bei den Mauern sind die Kippbewegung sowie der Durchstanzeffekt zweier Vernagelungen zu ermitteln. Es ist ein Punktnetz über dem Gebiet anzulegen, sodass sowohl die feste als auch die sich bewegende Scholle ermittelt werden können.<sup>32</sup>

Mit Hilfe dieser zusätzlichen Planungsinformationen soll eine Firma beauftragt werden, die anhand dieser Daten die Sanierung der Mauer planen und durchführen soll. Weiterhin werden die Messergebnisse dem Landesamt für Geologie und Bergbau übermittelt, das daran die bewegenden Schollen feststellen kann.

---

<sup>31</sup> [Werkvertrag ÖbVI (2020)]

<sup>32</sup> Vgl. [Werkvertrag ÖbVI (2020)]

## 5 GNSS-Messung

Um die Bilddaten aus dem Drohnenflug über dem Flurbereinigungsgebiet Bernkastel-Pallert zu georeferenzieren und so an den vermessungstechnischen Raumbezug anzubinden, wurden DGNSS-Messungen (Differentielles globales Navigationssystem) in Verbindung mit SAPOS (Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung) vorgenommen. Dieser Dienst wurde durch die AdV (Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland) entwickelt.

### 5.1 DGNSS

Bei DGNSS-Messungen handelt es sich um eine Genauigkeitssteigerung der Positionsbestimmung eines GNSS-Empfängers (Rover siehe Abb. 10), durch Berechnung von Korrekturdaten. Hierbei werden zwei Empfänger gleichzeitig in geringem Abstand zueinander betrieben und haben somit die gleichen Empfangsbedingungen und Fehlerquellen.

Da die Position der Basisstation (siehe Abb. 10) genau bestimmt ist, können durch Berechnung der Abweichung zur gemessenen Position die Korrekturdaten erzeugt und an den Rover, der noch keine genaue Position hat, weitergegeben werden. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass die Basislinie zwischen beiden Empfängern möglichst kurz ist.<sup>33</sup>

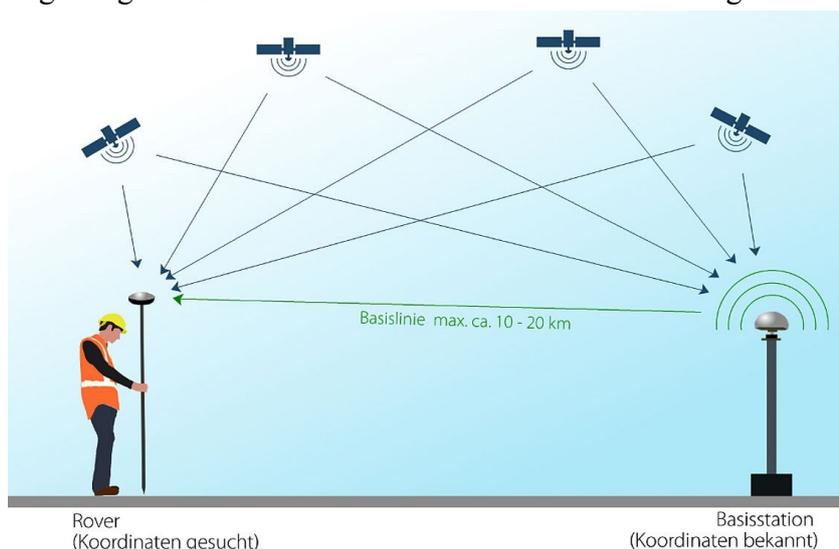


Abbildung 10: Funktionsprinzip des DGNSS (Quelle: [https://www.magicmaps.de/fileadmin/\\_processed\\_/6/0/csm\\_prinzip\\_dgps\\_1000\\_17171a771b.jpg](https://www.magicmaps.de/fileadmin/_processed_/6/0/csm_prinzip_dgps_1000_17171a771b.jpg))

<sup>33</sup> Vgl. [MagicMaps (2020)]

## 5.2 SAPOS in Kombination mit DGNSS-Messungen

SAPOS ist der Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung, der durch die AdV entwickelt wurde. Für den Betrieb der Referenzstationen sind die Bundesländer verantwortlich. Es gibt über 240 permanent betriebene Referenzstationen in Deutschland, von denen sich 16 in Rheinland-Pfalz befinden. Diese Stationen sind hochgenau koordinierte Festpunkte des vermessungstechnischen Raumbezuges. Sie stellen Daten für Positionierung und Navigation aus den GNSS-Systemen, GPS (USA), GLONASS (Russland) und künftig auch GALILEO (Europa), zur Verfügung. Die Daten von SAPOS können in Echtzeit oder durch Postprocessing als Korrekturdaten oder Beobachtungsdaten genutzt werden. Die Referenzstationen sind im ETRS89-System (Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989) koordiniert. Durch die Referenzstationen wird bei DGNSS-Messungen der zweite GNSS-Empfänger ersetzt, weshalb nur mit einem Empfänger gearbeitet werden muss.<sup>34</sup>

SAPOS hat drei Dienste, die zur Verfügung gestellt werden: SAPOS EPS, SAPOS HEPS und SAPOS GPPS.

	EPS	HEPS	GPPS
Verfahren	Echtzeit	Echtzeit	Postprocessing
Genauigkeit Lage	0,3 - 0,8 m	0,01 - 0,02 m	≤ 0,01 m
Genauigkeit Höhe	0,5 - 1,5 m	0,02 - 0,03 m	0,01 - 0,02 m
Übertragungstechnik	NTRIP über Internet (GPRS, UMTS, LTE)	NTRIP über Internet (GPRS, UMTS, LTE, GSM)	Internet (Webbrowser)
Format	RTCM 2.3	RTCM 2.3, RTCM 3	RINEX 2.1

Tabelle 1: SAPOS Produktdefinition, Version 8

(Quelle: <https://www.sapos.de/dienste-im-ueberblick.html>)

<sup>34</sup> Vgl. [LVermGeo (2020 b)]

Der Echtzeit Positionierungs-Service (EPS) findet aufgrund von geringerer Genauigkeit vor allem Anwendung in den Bereichen Fahrzeugnavigation, Umweltschutz, Wasserwirtschaft u.v.m. Hierbei werden die Korrekturdaten für die Pseudostrecken zu allen sichtbaren Satelliten gerechnet. Diese werden über Mobilfunk und NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) im RTCM-Format (Radio Technical Commission for Maritime Services) bereitgestellt.

Beim Hochpräzisen Echtzeit Positionierungs-Service (HEPS) werden neben den Korrekturdaten des EPS ebenfalls Trägerphasen über Mobilfunk und NTRIP im RTCM-Format zur Verfügung gestellt. Dieser Dienst wird unter anderem im Vermessungs- und Katasterwesen sowie in der Flurbereinigung angewendet. Mit diesem SAPOS-Dienst wurden auch die Passpunkte für die Einpassung der Bilder aufgenommen.

Der Geodätische Postprocessing Positionierungs-Service (GPPS) findet aufgrund von langen Beobachtungszeiten vor allem Anwendung im Bereich der Grundlagenvermessung. Bei der GPPS-Messung werden die Koordinaten durch nachträgliche Auswertung bestimmt. Die Daten zur Auswertung werden im RINEX-Format (Receiver Independent Exchange) bereitgestellt.<sup>35</sup>

### **5.3 Durchführung der GNSS-Messung**

Um die GNSS-Messung im Fluggebiet durchzuführen, wurden die Gerätschaften der Hochschule Mainz genutzt. Zum Einsatz kamen die Leica GS 16 Antenne und der Leica CS 20 Controller.

Zunächst wurden die Passpunkte mit handelsüblichen Plastikkegeln abgemarkt. Im Anschluss wurden die Signalisierungsplatten der Flurbereinigungsbehörde darübergerlegt. Diese sind quadratisch mit einem Seitenmaß von 15 cm. Weiterhin wurden zusätzlich Signalisierungsplatten des Forschungsinstituts i3mainz ausgelegt, die eine Größe von 42 cm x 42 cm aufweisen. Diese Platten wurden in der Nähe der anderen Passpunkte ausgelegt und mittels GNSS-Messung aufgenommen. Durch die Verwendung unterschiedlicher Signalisierungsplatten soll ein Vergleich der unterschiedlichen Genauigkeiten aufgezeigt werden. Insgesamt waren so 24 Passpunkte messtechnisch aufzunehmen.

---

<sup>35</sup> Vgl. [Sapos (2019)]

Nach dem Auslegen der Passpunkte wurden der Rover und der Empfänger gestartet. Im Rover mussten die erforderlichen Einstellungen vorgenommen werden. Zunächst wurde das Verbindungsprofil geändert, hierbei musste das interne Modem als Anschluss für den Korrekturdatenempfang sowie der Name des GPRS-Modems ausgewählt werden. Danach musste der Zugangspunkt zum Internet ausgewählt werden, der vom Anbieter der SIM-Karten abhängig ist. In diesem Fall wurde „internet.t-mobile.de“ eingegeben. Im Anschluss wurde ausgewählt, wie das Gerät sich mit dem Internet verbinden soll. Hier wurde „GPRS/CDMA“ eingestellt. Nach der Konfiguration des Internets folgten die Einstellungen zum RTK-Dienst (Real Time Kinematic). Dabei musste darauf geachtet werden, dass „sapos\_ntrip\_vrs3“ eingestellt wurde. Bei der Wahl des Mountpoints wurde „VRS\_3\_2G\_RP“ eingestellt. Der Mountpoint führt dazu, dass das VRS-Konzept (Virtuelle Referenzstation) verwendet wird und die Daten in RTCM 3.1 für GPS und GLONASS zur Verfügung stehen.<sup>36</sup>

Bei der VRS wählt sich der Rover zunächst in die Vernetzungszentrale ein und sendet die ungefähre Position. Danach werden aus den umliegenden sechs Referenzstationen die Fehlereinflüsse berechnet und die entfernungsabhängigen Fehler auf die Näherungsposition verschoben. Diese Referenzstation befindet sich dann virtuell ganz in seiner Nähe. Durch den Verschiebung der Fehlereinflüsse wird eine kurze Basislinie erreicht und somit die entfernungsabhängigen Fehlereinflüsse reduziert.<sup>37</sup>

Nachdem das Verbindungsprofil abgeändert war, musste ein neuer Messjob angelegt werden. Unter den allgemeinen Einstellungen werden der Name des Jobs sowie der Speicherort ausgewählt. Weiterhin wird das Koordinatensystem ETRS 89/UTM Zone 32N eingestellt, damit die gemessenen Punkte direkt im richtigen System ermittelt werden. Nach Speichern des Jobs wurde die Einstellung zu den doppelt aufgenommenen Punkten eingerichtet. Dabei wurde „Mittel prüfen“ mit der Methode „Arithmetisch“ angegeben. Zusätzlich wurden eine Toleranz von 0,0200 m in der Lage und eine von 0,0300 m in der Höhe festgelegt. Dies führt zu einer arithmetischen Mittelbildung der Erst- und Zweitmessung, wenn eine Abweichung von zwei Zentimetern in der Lage und drei Zentimetern in der Höhe nicht überschritten wird.<sup>38</sup>

---

<sup>36</sup> Vgl. [Bedienungsanleitung Leica CS20-GS16 (2017)]

<sup>37</sup> Vgl. [Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung (2020)]

<sup>38</sup> Vgl. [Bedienungsanleitung Leica CS20-GS16 (2017)]

Im Anschluss konnte die eigentliche Messung erfolgen. Hierzu wurde das Gerät jeweils auf den Punkten horizontalisiert und diese wurden nach der Eingabe der Punktnummer gemessen. Eine Zweitmessung kann frühestens erfolgen, wenn nach der ersten Aufnahme mindestens 30 Minuten vergangen sind. Dadurch werden ausreichende Änderungen der Satellitenkonstellationen erreicht und so voneinander unabhängige Messungen gewährleistet.

Nach der Messung musste der Job, und somit die Koordinaten mit den Punktnummern, auf einen USB-Stick im ASCII-Format exportiert werden, um diese später im Bildauswertungsprogramm einlesen zu können.

## 6 Bildflug

Um einen Bildflug ohne größere Probleme durchführen zu können, müssen Vorbereitungen getroffen werden. Bevor man sich mit der Planung der Befliegung beschäftigt, muss als erstes das Messgebiet ausgewählt werden. Außerdem benötigt man sowohl ein UAV als auch eine hochauflösende Kamera, die uns das Forschungsinstitut i3mainz zusammen mit dem Fachpersonal bereitgestellt hat. Vor dem Drohnenflug sind Passpunkte im Gebiet zu verteilen und mittels GNSS-Messung zu bestimmen. Das Vorgehen dazu wurde bereits im vorherigen Kapitel 5 genauer erläutert.

### 6.1 Rechtliche Rahmenbedingungen

Schon seit einigen Jahren halten Drohnen immer mehr Einzug sowohl in die gewerblichen, als auch die privaten Bereiche unseres Lebens. Neben den vielen Vorteilen, die ein UAV bringen kann, steckt auch ein erhöhtes Gefahrenpotenzial in der Nutzung der Flugobjekte. Um Unfällen entgegenzuwirken, gilt in Deutschland seit dem 07.04.2017 die



Abbildung 11: Drohnen-Verordnung (Quelle: <https://www.drohnen.de/14181/neue-drohnen-verordnung-ab-januar-2017/>)

Drohnenverordnung nach § 21a der Luftverkehrs-Ordnung. Sie wurde vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur herausgegeben und umfasst umfangreiche Vorschriften und Regelungen zum Betrieb von UAVs. Grundsätzlich gilt, dass Drohnen stets bemannten Luftfahrzeugen auszuweichen haben. Jegliche Behinderung oder Gefährdung anderer Personen ist nicht erlaubt. Außerdem muss der Steuerer das ferngesteuerte Objekt immer in Sichtweite behalten. Wer ein UAV mit einem Gewicht von mehr als 0,25 Kilogramm besitzt, hat dieses mit dem Namen und der Adresse des Besitzers zu kennzeichnen. Wenn das Flugobjekt mehr als 2,0 Kilogramm wiegt, muss zusätzlich ein Nachweis über besondere Kenntnisse im Umgang mit ferngesteuerten Drohnen oder Modellflugzeugen erbracht werden. Ab einem Gewicht von 5,0 Kilogramm ist eine Aufstiegserlaubnis von der Landesluftfahrtbehörde einzuholen. Wie aus der Abbildung 11 zu entnehmen ist, gibt es generelle Flugverbotszonen, in denen die Nutzung von Drohnen verboten ist. Dies sind zum Beispiel Flugplätze, Industrieanlagen, Naturschutzgebiete, aber auch Wohngrundstücke, Menschenansammlungen oder ein Einsatzort der Polizei sowie von Rettungskräften.<sup>39</sup>

## 6.2 UAV

Für den photogrammetrischen Bildflug wurde uns die Drohne RKM 8X (Abb. 12) vom i3mainz zur Verfügung gestellt. Da diese mit 2.600 Gramm ein Abfluggewicht von 2,0 Kilogramm überschreitet, ist nach der Drohnenverordnung (2017) ein Flugkundenachweis des Piloten nötig. Aus diesem Grund wurde die Befliegung von geschultem Fachpersonal der Hochschule Mainz durchgeführt.



Abbildung 12: Drohne RKM 8X

Die RKM 8X von Rotor Konzept weist aufgrund des Karbon-Gehäuses eine extreme Steifigkeit auf und hat dennoch ein sehr geringes Gewicht, sodass sogar bei Abstürzen aus geringen Höhen meist keine größeren Schäden auftreten. Alle Rahmenteile lassen sich auch austauschen, sodass Schäden kostengünstig repariert

---

<sup>39</sup> Vgl. [Drohnenverordnung (2020)]

werden können. Aufgrund der Sandwich-Bauweise erreicht der Rahmen eine gute Verwindungssteife und bietet ideale Flugeigenschaften. Die acht verbauten hochwertigen Motoren des Herstellers „Tiger-Motor“ sorgen für eine hohe Ausfallsicherheit. Sollte dennoch mal ein Rotor ausfallen, können die restlichen Motoren ein sicheres Landen garantieren.

Während des Fluges kann permanent die Spannung des Flugakkus auf dem Display kontrolliert werden. Sollte die Spannung einen kritischen Bereich erreichen, wird neben einem optischen auch ein akustisches Signal abgegeben, das den Piloten zu einer baldigen Landung auffordert. Im Ernstfall greift die leistungsstarke Steuerungseinheit über eine Vielzahl von Sicherheitsroutinen ein und lässt das UAV automatisch an einem definierten Punkt landen. Eine weitere Absicherung bietet die RKM 8X in Form einer starr verbauten Pilotenkamera, die jederzeit über die Fernsteuerung eingeschaltet werden kann. So lässt sich die Drohne auch ohne eine zusätzliche am Gimbal befestigte Kamera fliegen.

Um eine Verbindung mit einem Laptop herzustellen, wird der integrierte Micro-USB-Anschluss verwendet. Sowohl Systemkameras vom Typ Sony Alpha 7 als auch die Sony Alpha 7000 oder die Canon EOS M können an dem RKM VZ3A Gimbal befestigt werden. Die Kameras werden mit dem Infrarot-Impulsgeber der Drohne verbunden. Dies ermöglicht ein manuelles Aufnehmen von Bildern über die Fernsteuerung.

Wie aus Tabelle 2 zu entnehmen ist, hat der Kopter RKM 8X eine Spannweite von circa 470 mm und besitzt eine Traglast von 1.000 Gramm. Die Flugdauer mit der verwendeten Sony Alpha 7R betrug ungefähr 10 Minuten. Ohne den teils starken Wind wären theoretisch auch 15 Minuten Flugzeit möglich gewesen. Das UAV hat einen GPS/Kompass uBlox8 verbaut, welcher in Verbindung mit einer Flugplanungssoftware eine autonome Steuerung über einen Computer ermöglicht. Zu jedem Bild können zudem die Koordinaten des Aufnahmepunktes sowie die geschätzte Genauigkeit der Koordinate abgespeichert werden. Durch den 2-Achs-Brushless-Gimbal lässt sich zusätzlich die Kameraposition im Flug verändern, sodass auch Schrägaufnahmen des Gebietes möglich sind.<sup>40</sup>

---

<sup>40</sup> Vgl. [Rotor Konzept (2020)]

Spannweite	ca. 470 mm
Gewicht	ca. 2.600 g
Traglast	1.000 g
Flugdauer	bis 18 Minuten mit Sony Alpha 6000
Flugkontroller	Pixhawk inklusive externem GPS/Kompass uBlox8
Motoren	T-Motor MN3110 KV700
Motorregler	20 A
Luftschrauben	Aeronaut CAMCarbon light 12x5"
Video-Sender	FPV-Sender 5,8 GHz mit einer Leistung von 25 mW
2-Achs-Brushless-Gimbal	Für Systemkameras, steuerbar auf der Pitch- und Roll-Achse, sowie Fernauslöser über Fernsteuerung und automatisiert über Flugcontroller

Tabelle 2: Technische Daten des UAV Drohne RKM 8X  
(Quelle: <https://www.rotorkonzept.de/octocopter-drohne-rkm-8x/>)

### 6.3 Kamera

Um ein qualitativ hochwertiges Ergebnis zu erhalten, ist die Wahl der Kamera ein maßgebender Faktor. Für den Bildflug hat das i3mainz die Kamera Sony Alpha 7R mit einem 35 mm-Objektiv verwendet (Abbildung 13). Dafür wurde sie an der vorgesehenen Halterung des UAV befestigt und über ein Kabel mit der Drohne verbunden. Die Digitalkamera hat eine Größe von 127 x 94 x 48 mm und ein Gewicht von 474 Gramm inklusive Akku und Speichermedium. Mit einer Akkukapazität von 1080 mAh ist eine Aufnahme von bis zu 340 Bildern möglich. Durch ein Kameragehäuse aus Magnesium ist die Digitalkamera sowohl gegen Staub als auch gegen Spritzwasser geschützt. Der Sensor hat zusätzlich eine Selbstreinigungsfunktion.



Abbildung 13: Sony Alpha 7R

(Quelle: [https://www.chip.de/test/Sony-a7R-Alpha\\_7R-Profi-DSLM-Test\\_139899937.html](https://www.chip.de/test/Sony-a7R-Alpha_7R-Profi-DSLM-Test_139899937.html))

Die spiegellose Systemkamera der Marke Sony besitzt einen Exmor-CMOS-Sensor mit 35 mm, der eine Auflösung von 36,2 Megapixeln ermöglicht. Ein Pixel hat dabei eine Größe von 4,5  $\mu\text{m}$ . Ein Tiefpassfilter ist nicht integriert. Das Aufnahmegerät kann einen ISO-Wert von 100 bis 52.000 und eine Belichtungszeit zwischen 1/8000 und 30 Sekunden einstellen. Durch den Autofokus mit 25 Fokuspunkten werden unter anderem folgende Aufnahmen ermöglicht: die für die Befliegung verwendete Serienaufnahme, Einzelaufnahmen, Manueller Fokus sowie der Tracking- und Eye-Autofokus. Die Bilder können im RAW- oder JPEG-Format aufgenommen werden mit einer Bildgröße von 7360 x 4912 Pixeln.

Gespeichert werden die Daten dabei auf einer SD-Speicherkarte oder auf einem Memory-Stick. Die Fotoausgabe ist in einer 4K-Auflösung möglich.<sup>41</sup>

In der folgenden Tabelle 3 sind die Kameraparameter der Sony Alpha 7R detailliert aufgeführt.

	Merkmale	Sony Alpha 7R
Sensor	Sensorgröße	35,9 mm x 24 mm
	Sensortyp	35 mm (CMOS-Sensor)
	Pixelgröße	4,5 µm
	Pixelanzahl (Auflösung)	36.2 Megapixel
	Bildsensor-Seitenverhältnis	3:2
	Blendenstufen	5,5
Rauschunterdrückung	ISO-Empfindlichkeit	ISO 100 bis ISO 51200
	Belichtungszeit	1/8000 bis 30 Sekunden
Aufnahme (Fotos)	Aufnahmeformat	RWA, JPEG
	Bildgröße	7360 x 4912 Pixeln
Kamera	Typ	Digitalkamera mit Wechselobjektiv
	Kameragröße	127x 94 x 48 mm
	Gewicht	474 g inkl. Akku und Speichermedium
	Akkuleistung	1080 mAh
	Akkulaufzeit (Fotos)	Bis zu 340 Aufnahmen
	Speichermedien	SD-Speicherkarte, Memory Stick

Tabelle 3: Kameraparameter Sony Alpha 7R  
(Quelle: <https://www.dkamera.de/datenblatt/sony-alpha-7r/>)

<sup>41</sup> Vgl. [Digitalkamera-Magazin (2020)]

## 6.4 Bildflugplanung

Um den Drohnenflug überhaupt durchführen zu können, müssen vorher einige Einstellungen festgelegt werden. Dafür muss im Vorfeld schon die Zielsetzung mit den gewünschten Genauigkeiten feststehen.

Es wird eine Genauigkeit von 2 bis 3 cm pro Pixel angestrebt, damit eine deutliche Verbesserung gegenüber den Aufnahmen der TZ (5 bis 7 cm) vorhanden ist. Dabei wäre allerdings eine Flughöhe von über 100 m nötig gewesen, was mit der Drohne nicht realisierbar war. Deshalb wurde nach Rücksprache mit dem Fachpersonal des Forschungsinstituts i3mainz, das die Befliegung durchführte, eine Flughöhe von 40 m gewählt. Durch die niedrigere Flughöhe wurde die Auflösung mit ca. 0,6 cm pro Pixel zwar deutlich besser, aber das Fluggebiet musste verkleinert werden. Ursprünglich sollte der gesamte 16 ha große Weinbergsbereich des Verfahrens Bernkastel-Pallert mit dem UAV befliegen werden. Aufgrund der technischen Grenzen des UAV und der sich daraus ergebenden Flughöhe konnten jedoch nur 5 ha photogrammetrisch aufgenommen werden.

Bei der Planung gibt es verschiedene Arten von Parametern. Einige davon sind unveränderbar, da sie zum Beispiel von der vorhandenen Kamera vorgegeben sind. Andere haben variable Werte, mit denen unter anderem die Genauigkeit und die Geschwindigkeit der Aufnahmen beeinflusst werden können. So hat beispielsweise die gewählte Flughöhe einen maßgebenden Einfluss auf die Genauigkeit der Bilder. Das Ergebnis der Bildflugplanung sind berechnete Parameter, wie der Bildmaßstab, die Pixelgröße am Boden oder die Anzahl der Bilder.

Jeder Punkt muss aus mindestens zwei verschiedenen Perspektiven aufgenommen werden, um eine Überbestimmung zu haben. Um ein gutes Ergebnis zu erhalten, ist deshalb eine Längs- und Querüberlappung nötig.

Da das zu befliegende Gebiet eine starke Neigung und teils hohen Bewuchs aufweist, wurde eine Kreuzbefliegung präferiert. Dabei ist das UAV sowohl mit als auch quer zu den Höhenlinien geflogen. Dadurch konnten die Aufnahmen sowohl quer zu den Zeilen, als auch in Zeilenrichtung gemacht werden. Bei den Flugabschnitten, die in Gefällerrichtung verliefen, wurde zusätzlich die Kamera so ausgerichtet, dass sie zum Hang zeigt.

Für die vorliegende Arbeit wurde die Bildflugplanung zunächst händisch mit Microsoft EXCEL berechnet und anschließend in der Bildflugplanungssoftware „Mission Planner“ durchgeführt. Im Folgenden wird näher auf die Durchführung der einzelnen Arbeitsschritte einer Flugplanung eingegangen.

#### 6.4.1 Händische Rechnung

Die Händische Rechnung der Bildflugplanung wurde auf Grundlage des Skripts „Photogrammetrische Datenerfassung – Stereonormalfall und Bildflugplanung“ [Schlüter (2018b)] durchgeführt.

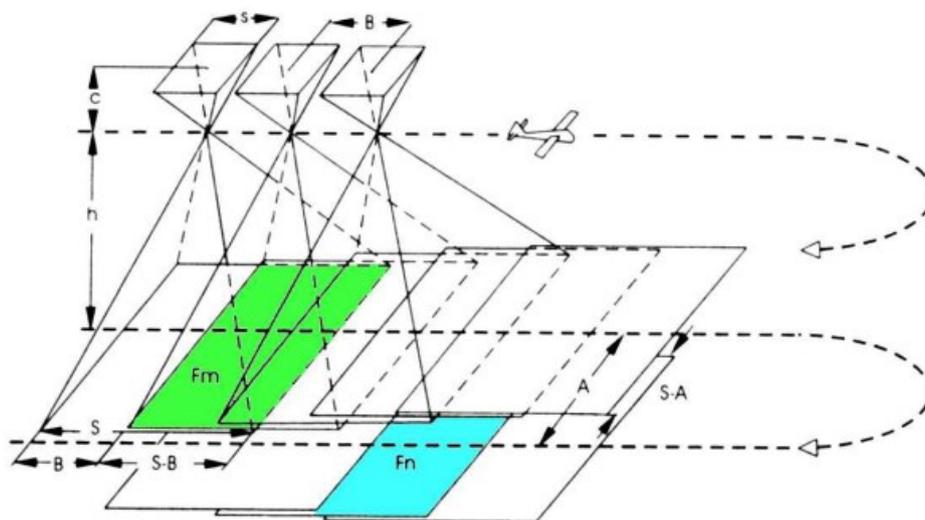


Abbildung 14: Parameter des Bildfluges (Quelle: Schlüter (2018))

- A → Abstand der Flugachsen, Streifenabstand
- B → Basis bei der Aufnahme
- c → Kamerakonstante
- s → Bildseite im Bild
- S → Bildseite am Boden
- h → Flughöhe über Grund
- V → Fluggeschwindigkeit über Grund

In Abbildung 14 werden die wichtigsten Parameter des Bildfluges dargestellt. Dazu zählen der Abstand der einzelnen Flugstreifen, die Basis bei den Aufnahmen, die Flughöhe sowie die Fluggeschwindigkeit. Aber auch die Kamerakonstante sowie die Bildseiten im Bild und am Boden sind in der Skizze aufgeführt.

Ausgangswerte					
<b>Fluggebiet</b>	Längsausdehnung des Blocks	L =	380000	mm	380 m
	Querausdehnung des Blocks	Q =	190000	mm	190 m
	Fläche des Blocks	F =	51700000	mm <sup>2</sup>	51700 m <sup>2</sup>
<b>Kameradaten</b>	Maximale Bildauflösung (lang)		7360	Bildpunkte	
	Maximale Bildauflösung (kurz)		4912	Bildpunkte	
	Sensorgroße (lang)	S <sub>l</sub> =	35,9	mm	0,0359 m
	Sensorgroße (kurz)	S <sub>k</sub> =	24	mm	0,024 m
	Kamerakonstante	c =	35	mm	0,035 m
<b>Flugparameter</b>	Flughöhe über Grund	h =	40000	mm	40 m
	Fluggeschwindigkeit über Grund	v =	4000	mm/s	4 m/s
	Längsüberdeckung	l =	60	%	
	Querüberdeckung	q =	50	%	

Tabelle 4: Ausgangswerte für die Bildflugplanung

Aus Tabelle 4 geht hervor, dass das Fluggebiet eine Ausdehnung von 380 x 190 m hat und damit eine Fläche von 51.700 m<sup>2</sup> aufweist. Die abgegriffenen Maße können nur als Näherungswerte gesehen werden, da das Gebiet ein unförmiges Polygon darstellt.

Die verwendete Kamera „Sony Alpha 7R“ hat eine Sensorgroße von 24 x 35,9 mm und eine Auflösung von 4912 x 7360 Bildpunkten. Die Kamerakonstante beträgt 35 mm. Es wurde eine Flughöhe von 40 m gewählt und eine Fluggeschwindigkeit über Grund von 4 Metern pro Sekunde. Viel schneller darf das UAV nicht fliegen, da die Kamera zwei Sekunden benötigt, um ein Bild zu speichern und die Aufnahmezeit ansonsten unterschritten wird. Außerdem besteht bei höheren Geschwindigkeiten die Gefahr, dass die Aufnahmen verwackeln. Es wurden eine Längsüberdeckung von 60 % und eine Querüberdeckung von 50 % festgesetzt. Eine höhere Überlappung wurde nicht ausgewählt, da so auch ein größeres Gebiet an einem Tag befliegen werden konnte.

Die folgende Tabelle enthält alle Ergebnisse, die mit Hilfe der zuvor aufgeführten Ausgangswerte berechnet wurden:

Berechnete Werte					
<b>Bildparameter</b>	Bildmaßstabszahl	$m_b =$	1142,8571		
	Bildseite im Gelände lang	$S_l =$	41028,5714	mm	41,02857143 m
	Bildseite im Gelände kurz	$S_k =$	27428,5714	mm	27,42857143 m
	Basis im Bild kurz	$b_k =$	9,6	mm	0,00960 m
	Basis im Bild lang	$b_l =$	17,95	mm	0,01795 m
	Bodenauflösung lang	$P_l =$	5,57453416	mm	0,005574534 m
	Bodenauflösung kurz	$P_k =$	5,58399255	mm	0,005583993 m
	Bodenauflösung	$P =$	5,57926336	mm	0,005579263 m
	Bildauflösung lang	$p_l =$	0,00487772	mm	4,87772E-06 m
	Bildauflösung kurz	$p_k =$	0,00488599	mm	4,88599E-06 m
	Bildauflösung	$p =$	0,00488186	mm	4,88186E-06 m
<b>Flugparameter</b>	Basislänge bei 60% Längsüberdeckung	$B =$	10971,4286	mm	10,97142857 m
	Streifenabstand bei 50% Querüberdeckung	$A =$	20514,2857	mm	20,51428571 m
	Aufnahmefolgezeit	$t =$	2,74285714	s	
<b>Berechnung Bildanzahl</b>	Pro Stereomodell neu erfasste Fläche	$F_n$	225,07102		
	Modellanzahl pro Streifen	$n_m$	35,635		
	Bildanzahl pro Streifen	$n_b =$	36,635		
	Streifenanzahl pro Block	$n_s =$	11		
	Anzahl Bilder über Fläche	$n =$	230		

Tabelle 5: Berechnete Parameter

Die in Tabelle 5 durchgeführten Berechnungen wurden nach den folgenden Formeln berechnet:

Die Bildmaßstabszahl  $m_b$  ist von der Flughöhe  $h$  und der jeweiligen Kamerakonstanten  $c$  abhängig.

$$m_b = \frac{h}{c}$$

Die Bildseiten im Gelände  $S_k$ ,  $S_l$  können nun mithilfe der Bildmaßstabszahl und den Bildseiten im Bild  $s_k$ ,  $s_l$  berechnet werden.

$$S_k = s_k * m_b$$

$$S_l = s_l * m_b$$

Mithilfe der Bildseiten im Gelände und der Längs- und Querüberdeckung (längs = l, quer = q) von 60 % beziehungsweise 50 %, werden die Basislänge B und der Streifenabstand A errechnet. Über die Bildmaßstabszahl werden diese zur Bildseite im Bild umgerechnet.

$$B = S_k * \left(1 - \frac{l}{100}\right)$$

$$A = S_l * \left(1 - \frac{q}{100}\right)$$

Der Zeitabstand zwischen der Aufnahme von zwei Bildern wird als Aufnahmefolgezeit  $\Delta t$  bezeichnet und ist abhängig von der Basislänge und der Fluggeschwindigkeit v.

$$\Delta t = \frac{B[m]}{v\left[\frac{m}{s}\right]}$$

Die Bodenauflösung wird aus der Bildseite im Gelände und der Pixelanzahl gebildet.

$$P = \frac{S}{\text{Pixelanzahl}}$$

Aus den Basislängen B und dem Streifenabstand der Querüberdeckung A, wird die neu erfasste Fläche pro Stereomodell  $F_n$  errechnet.

$$F_n = A * B$$

Mithilfe der Längsausdehnung und der Querüberdeckung wird die Modellanzahl pro Streifen errechnet.

$$n_m = \frac{L}{B} + 1$$

Die Bilderanzahl pro Streifen wird mit Hilfe folgender Formel ermittelt.

$$n_b = n_m + 1$$

Um die Streifenanzahl pro Block zu erhalten werden die Querausdehnung und die Basislängen benötigt.

$$n_s = \frac{Q}{A} + 1$$

Schließlich wird die gesamte Bildanzahl berechnet. Dazu wird die Gebietsgröße durch die neu erfasste Fläche pro Stereomodell dividiert.

$$n = \frac{\text{Gebietsgröße}}{F_n}$$

Es wurde eine Bildmaßstabszahl von rund 1143 errechnet. Daraus kann die Größe des Bildes im Gelände von 41,029 m x 27,429 m ermittelt werden. Damit wird eine Bodenauflösung von 5,58 mm erreicht. Bei der gewählten Längsüberdeckung von 60 % ergab der Wert der Basislänge 10,97 m. Der Streifenabstand bei 50 % Querüberdeckung liegt bei 20,51 m. Die Aufnahmefolgezeit beträgt 2,74 Sekunden und somit entstehen keine zeitlichen Probleme bei der Speicherung der Bilddateien.

Die Anzahl der Bilder wurde über die Fläche errechnet und liegt bei 230. Aufgrund der Kreuzbefliegung muss diese Zahl verdoppelt werden, sodass eine Gesamtanzahl von 460 Bildern berechnet wird.

#### 6.4.2 Mission Planner

Mission Planner ist eine Open-Source-Software von ArduPilot, die eine Bildflugplanung ermöglicht. Neben der Bildflugplanung kann über Mission Planner auch der eigentliche Bildflug ausgeführt werden. Die Software ist im UAV und auf dem Computer verwendbar. Die über Mission Planner erzeugte Bildflugplanung wird vor der Befliegung auf die Drohne übertragen. Die Drohne befliegt das Gebiet dann entsprechend der Planung.<sup>42</sup>

Für die Planung mit Mission Planner wurde die Anleitung zur Flugplanung [Anleitung Mission Planner (2020)] genutzt.

Um einen Bildflug planen zu können, muss zu Beginn ein Gebiet festgelegt werden, welches befliegen werden soll. Dies erfolgt über das Hauptmenü „Flight Plan“ und dann durch einen Rechtsklick in der Karte „Polygon zeichnen“ (Abb. 15). Da im weiteren Verlauf der



Abbildung 15: Polygone der Bildflugplanung

<sup>42</sup> [Mission Planner (2020)]

Bildflugplanung die Flugzeit angezeigt wird, musste das Gebiet in zwei Polygone aufgeteilt werden, um eine empfohlene Flugzeit von 8 bis 10 Minuten nicht zu überschreiten.

Während des Bildfluges ist außerdem aufgefallen, dass der südwestliche Bereich nicht zufriedenstellend abgedeckt war, sodass hier vor Ort zwei weitere Polygone und somit zwei weitere Bildflugplanungen erstellt werden mussten.

Nachdem die Polygone angelegt waren, musste in der Fußzeile der Haken bei „Höhe prüfen“ gesetzt werden. Dies führt dazu, dass die Drohne mit dem Terrain steigt und nicht auf einer Höhe fliegt.

Danach können über Rechtsklick „Auto WP“, „Survey (Grid)“ die Einstellungen zur Bildflugplanung getroffen werden. Über den Reiter „Simple“ wird zunächst die Kamera, „Sony A7R“, ausgewählt und die Flughöhe über „Altitude“ festgelegt. Über „Angle“ lässt sich der Winkel der Flugbahnen anpassen. Dies ist unter anderem nützlich, wenn die Ausgangsplanung unnötige Strecken für die Drohne vorschlägt.

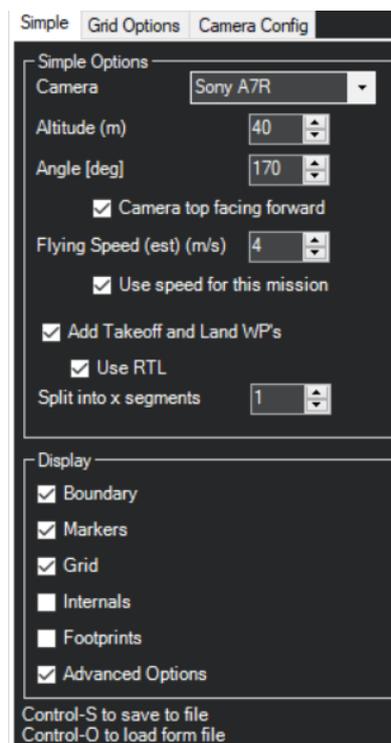


Abbildung 16: Einstellungen in Mission Planner - Simple

In Abbildung 16 sind die vorgenommenen Einstellungen im Mission Planner zu sehen. Die maximale Flughöhe der Drohne liegt bei 50 m. Da jedoch immer ausreichende Sicht zur Drohne bestehen muss, wurde die Bildflugplanung mit einer Flughöhe von „40 m“ gerechnet. Die maximale Geschwindigkeit der Drohne beträgt 5 m/s. Da die Kamera bei dieser Geschwindigkeit jedoch nicht ausreichend Zeit zum Aufnehmen und Speichern der

Bilder bekommen würde, musste diese auf „4 m/s“ eingestellt werden. Der Haken bei „Camera top facing forward“ sagt aus, dass die Kamera entsprechend der Flugrichtung angebracht ist. Über die „Display“-Einstellungen, kann die Darstellung angepasst werden. Hier können unter anderem die Aufnahmepunkte der Bilder ein- oder ausgeblendet werden.

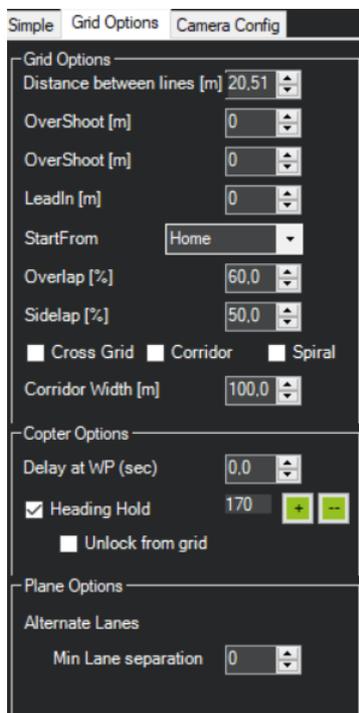


Abbildung 17: Einstellungen in Mission Planner - Grid Options

Über „Footprints“ können zusätzliche Punkte angezeigt werden, die durch unterschiedliche Farbwerte die Anzahl der überlappenden Bilder darstellen.

Über den Reiter „Grid Options“ können die Einstellungen zu den Überlappungen angepasst werden (Siehe Abb. 17). Hierbei wurden eine Querüberdeckung (Overlap) von „60 %“ und eine Längsüberdeckung von „50 %“ eingestellt. Die Einstellung „Heading Hold“, führt dazu, dass die Drohne während des Fluges ihre Ausrichtung beibehält. Dies ist wichtig, damit die gezielten Schrägbildaufnahmen gegen das Gelände aufgenommen werden. Die weiteren Einstellungen in diesem Reiter wurden übernommen.

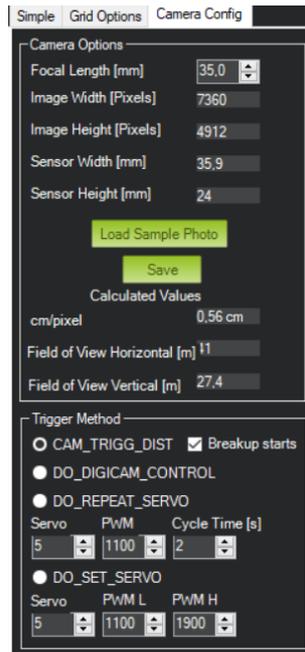


Abbildung 18: Einstellungen in Mission Planner - Camera Config

Im Reiter „Camera Config“ wurde lediglich die Brennweite, „Focal Length“, von 28,0 mm auf 35,0 mm gesetzt (Abb. 18).

Nachdem alle Einstellungen getroffen wurden, berechnet Mission Planner die gesamte Bildflugplanung automatisiert.

Stats			
Area:	23537 m <sup>2</sup>	Pictures:	105
Distance:	1,61 km	No of Strips:	8
Dist between images:	11 m	Footprint:	41 x 27,4 m
Ground Resolution:	0,56 cm	Dist between lines:	20,51 m
		Flight Time (est):	8:23 Minutes
		Photo every (est):	2,74 Seconds
		Turn Dia (at 45d):	5 m
		Ground Elevation:	202-286 m

Abbildung 19: Ergebnis der Bildflugplanung des linken Polygons

In Abbildung 19 ist exemplarisch das Ergebnis des linken Polygons der Bildflugplanung aufgeführt.

Nach dem Abspeichern der Planung muss überprüft werden, ob die Drohne den Abstand von 40 m zur Terrainhöhe einhält. Dies kann über Rechtsklick, „Karteneinstellungen“, „Zeige WP- zu Terrainhöhen“, erfolgen. In Abbildung 20 zeigt die rote Linie die Flughöhe der Drohne, die mit dem Gelände steigt, beziehungsweise sinkt. Eine fehlerhafte Einstellung führt zu einer Kollision mit dem Gelände, wie sie in Abb. 21 dargestellt ist.

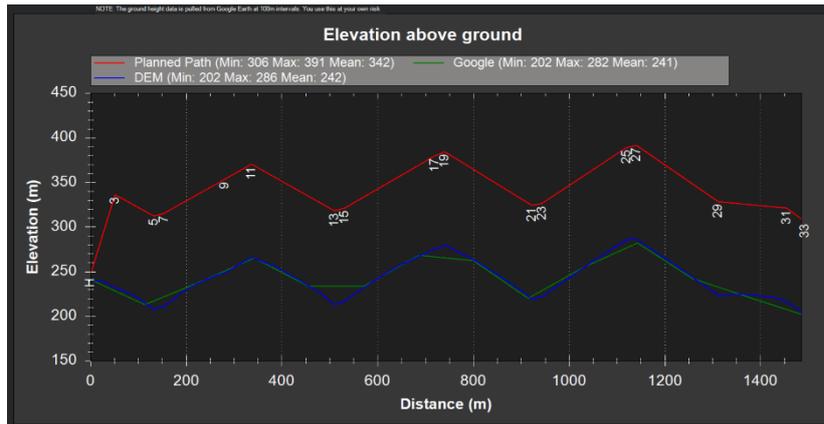


Abbildung 20: Korrekt berechnet Flughöhe

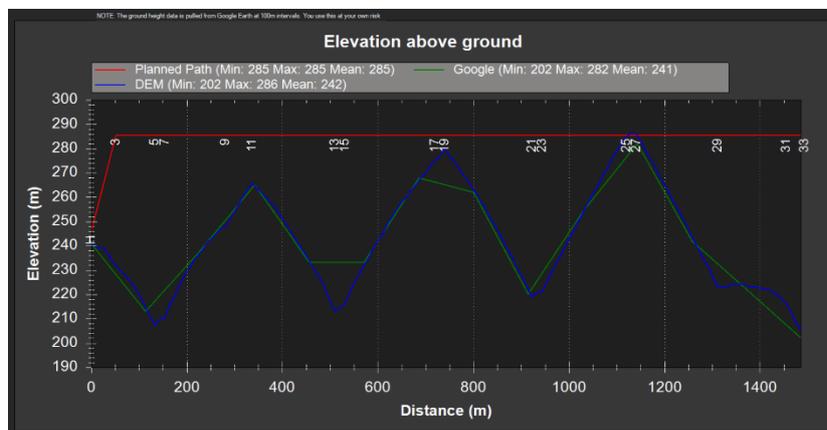


Abbildung 21: Fehlerhaft berechnete Flughöhe



Abbildung 22: Bildflugplanung des linken Polygons

In Abbildung 22 ist die Bildflugplanung für das linke Polygon zu sehen. In der unteren Tabelle sind die Befehle, die an die Drohne übermittelt werden, erkennbar. Lediglich „TAKEOFF“ und „RETURN TO LAUNCH“ müssen entfernt werden, da die Drohne händisch gestartet und gelandet wird.

### 6.4.3 Vergleich der Planungen

Die Berechnungen in Microsoft EXCEL können als Grundlage für die Befliegung genutzt werden, dienen im Rahmen der vorliegenden Bachelorarbeit jedoch lediglich als Hilfestellung um sich in das Thema einzuarbeiten. Mit Hilfe der händischen Rechnung kann nur ein manuell gesteuerter Bildflug durchgeführt werden, bei dem die einzelnen Aufnahmen über die Fernsteuerung ausgelöst werden müssen. Der Mission Planner ist wie in Kapitel 6.3.2 bereits erwähnt eine Software, mit welcher der Bildflug sowohl geplant, als auch durchgeführt werden kann.

In den beiden Bildflugplanungen wurden die gleichen Ausgangswerte genutzt, dennoch unterscheiden sich die Ergebnisse der beiden Varianten in einigen Punkten. So ergab die Berechnung in EXCEL 460 Bilder für das gesamte Gebiet, wohingegen die Software nur 404 Aufnahmen errechnete.

Aufgrund der gleich gewählten Höhe und Geschwindigkeit ist die Aufnahmefolgezeit in beiden Planungen mit 2,74 Sekunden identisch.

Grundsätzlich führen beide Bildflugplanungen zu den gewünschten Ergebnissen. Dabei ist die Genauigkeit in der händischen Variante bei einem unförmigen Polygon jedoch deutlich geringer. Um einen manuellen Flug durchzuführen reicht diese jedoch aus.

## **6.5 Signalisierung**

Damit man aus dem entstandenen Bildmaterial später Koordinaten abgreifen und genaue Strecken messen kann, müssen die Bilder georeferenziert werden. Dafür werden vor der Befliegung sogenannte Passpunkte ausgelegt, die wie, in Kapitel 5 beschrieben, koordinatenmäßig aufgenommen werden. Diese Koordinaten werden in der späteren Auswertung den entsprechenden Passpunkten im Bild zugeordnet.

### **6.5.1 Passpunkte**

Grundsätzlich können Passpunkte in drei unterschiedliche Arten aufgeteilt werden. Zum einen sind dies Lagepasspunkte, welche die X- und Y-Koordinaten besitzen. Weiterhin gibt es die Höhenpasspunkte, bei denen lediglich die Höhenkoordinate Z vorliegt. Im Untersuchungsgebiet ist die Variante des Vollpasspunktes von wesentlicher Bedeutung, da dieser die beiden Spezifikationen der vorherig genannten Passpunkte vereinigt. Er besitzt Raumkoordinaten und weist damit sowohl die X- und Y- als auch die Z-Koordinaten auf. Als Passpunkte können auch markante Geländepunkte oder künstlich erzeugte Punkte dienen. Es ist darauf zu achten, dass diese im späteren Luftbild gut und eindeutig zu erkennen sind. Deshalb haben wir uns für Signalisierungsplatten aus Plastik entschieden, welche auch für die Flurbereinigungsverfahren genutzt werden. Es wurden zwei verschiedene Arten dieser Marken ausgelegt. Die erste Variante sind 15 cm x 15 cm große weiße Platten, deren Mittelloch einen Durchmesser von 3 cm aufweist. Sie wird mithilfe von temporärer Vermarkung und Nadeln gegen Verrutschen gesichert (Abbildung 23). Die Luftbildplatten kosten ca. 0,30 € pro Stück. Zusätzlich wurden speziell für die Drohnenvermessung hergestellte Signalisierungsplatten im Gebiet verteilt, welche etwa 50 € pro Stück kosten. Diese haben eine Größe von 42 cm x 42 cm und sind wie in Abbildung 24 zu sehen, mit

schwarzen und weißen Dreiecken versehen, die auf den Mittelpunkt deuten. Dadurch soll eine höhere Zielgenauigkeit beim Einpassen in der Software erreicht werden.



Abbildung 23: Gesicherte Signalisierung



Abbildung 24: Signalisierungsplatte der Hochschule Mainz

In der Abbildung 25 sind die einzelnen Passpunkte als Fahnen mit der entsprechenden Punktnummer dargestellt. Dabei wurden jeweils zwei Passpunkte nebeneinander gelegt (außer bei Nr. 12 und 513). Die Platten der Flurbereinigungsverwaltung beginnen bei Punktnummer 1 und die der Hochschule Mainz werden von 501 hochgezählt.

Die Verteilung der Passpunkte wurde so gewählt, dass ein homogenes Punktfeld entsteht. Das Gebiet wurde vollständig mit den Punkten durchzogen.



Abbildung 25: Passpunktverteilung

## 6.6 Durchführung des Bildfluges

Der Bildflug wurde am 12.05.2020 durch das i3mainz durchgeführt. Dabei kam die Drohne „RKM 8X“ des Forschungsinstituts der Hochschule Mainz zum Einsatz, auf die im Kapitel 6.1 bereits genauer eingegangen wurde.

Drohnenflüge sind maßgeblich vom Wetter abhängig, da Drohnen bei starken Winden oder zu kalten Temperaturen an Flugzeit verlieren. Die Wettervorhersage muss vor dem Drohnenflug geprüft werden. Hierzu wurde die Internetseite [www.uavforecast.com](http://www.uavforecast.com) genutzt. Auf dieser Website können verschiedene Parameter eingestellt werden, die den Bildflug beeinflussen, wie unter anderem die Mindestanzahl an sichtbaren Satelliten oder die maximale Niederschlagswahrscheinlichkeit. Aus den eingegebenen Daten und der Wettervorhersage überprüft die Internetseite, ob es möglich ist, den Bildflug durchzuführen. In Abbildung 26 ist die Wetterprognose für den Tag des Bildfluges zu sehen.

Aktuelle Konditionen ab Dienstag 2020-05-12 07:15 CEST									
Zeit	Böen	Temp	Nieders. Wahr	Bewölkung	Sichtweite	Sichtbare Sats	Kp	Gesch. Verbund. Sats	Gut Um Zu Fliegen?
07:15 ☼	13 km/h ✓	3°C	-	-	16 km	14	1	13,2	ja
Dienstag 2020-05-12: Sonnenaufgang 05:49, Sonnenuntergang 21:07									
Zeit	Böen	Temp	Nieders. Wahr	Bewölkung	Sichtweite	Sichtbare Sats	Kp	Gesch. Verbund. Sats	Gut Um Zu Fliegen?
08:00 ☼	14 km/h ✓	4°C	-	-	16 km	10	1	10,0	nein
09:00 ☼	12 km/h ✓	6°C	-	-	16 km	14	1	13,3	ja
10:00 ☼	8 km/h ✓	8°C	-	-	16 km	15	1	14,2	ja
11:00 ☼	6 km/h ✓	10°C	-	-	16 km	11	1	10,7	nein
12:00 ☼	5 km/h ✓	11°C	-	-	16 km	11	1	10,3	nein
13:00 ☼	6 km/h ✓	12°C	-	-	16 km	10	1	9,8	nein
14:00 ☼	6 km/h ✓	12°C	1%	-	16 km	13	1	12,8	ja
15:00 ☼	5 km/h ✓	13°C	-	2%	16 km	16	1	15,8	ja
16:00 ☼	5 km/h ✓	13°C	-	5%	16 km	18	1	17,3	ja
17:00 ☼	6 km/h ✓	13°C	-	8%	16 km	16	1	15,2	ja
18:00 ☼	10 km/h ✓	13°C	-	16%	16 km	14	1	13,3	ja
19:00 ☼	15 km/h ✓	12°C	-	25%	16 km	14	1	13,3	ja
20:00 ☼	18 km/h ✓	11°C	-	39%	16 km	16	2	14,6	ja
21:00 ☼	16 km/h ✓	10°C	-	59%	16 km	12	2	10,9	nein
22:00 ☼	10 km/h ✓	8°C	-	83%	16 km	12	2	10,6	nein
23:00 ☾	7 km/h ✓	6°C	-	100%	16 km	11	2	9,6	nein

Abbildung 26: Wettervorhersage für den 12.05.2020 (Quelle: [www.uavforecast.com](http://www.uavforecast.com))

Der Faktor „Kp“ beschreibt den Geomagnetischen Sturmindex, überschreitet dieser den Wert drei, ist der Empfang zum GPS gestört. „Gesch. Verbund. Sats“ beschreibt die geschätzten Satelliten, die an diesem Standort, unter Berücksichtigung der Faktoren

Standort, Kp-Wert und Uhrzeit, verbunden sind.<sup>43</sup> Wie aus der Abbildung 26 ersichtlich, herrschten an diesem Tag gute Wetterbedingungen. Es sollte entsprechend der Vorhersage eine Windgeschwindigkeit von 6 km/h bis 17 Uhr nicht überschritten werden und die maximal vorhergesagte Temperatur betrug 13 °C. Das optimale Flugfenster befand sich aus demnach zwischen 14 und 20 Uhr.



Abbildung 27: Drohne in Startposition

Nachdem die Drohne zu ihrem Startplatz gebracht wurde (Abb. 27), konnte an dem dafür vorgesehenen Gimbal des UAV die Kamera angebracht werden. Über das Funkmodem wurde die Bildflugplanung aus dem Mission Planner übertragen. Die Drohne muss vom Piloten über eine Fernsteuerung gestartet und gelandet werden, danach wird auf die autonome Steuerung umgeschaltet. Dabei fliegt die Drohne automatisch die berechneten Flugstreifen ab und löst an den geplanten Koordinaten die Kamera aus. Nach mehreren Testläufen konnte der erste Bildflug durchgeführt werden.

---

<sup>43</sup> Vgl. [UAV Forecast (2020)]

Um die Flughöhe und weitere Parameter der Befliegung zu kontrollieren, wurde der Flug am Laptop überwacht.



Abbildung 28: Mission Planner während des Bildfluges

In Abbildung 28 ist ein Screenshot des Mission Planners während des Fluges zu sehen, in dem die wichtigsten Parameter der Drohne angezeigt werden. Dabei muss vor allem auf die Flughöhe („Altitude“) und die Batterieladung geachtet werden.

Außerdem wurde anhand eines zusätzlichen Displays (siehe Abb. 29) die Aufnahme der Bilder überprüft. So konnte die aktuelle Ausrichtung der Kamera kontrolliert werden.



Abbildung 29: Überwachungsdisplay während des Fluges

Weiterhin wurde dabei durch eine kurze Unterbrechung der Videoübertragung, durch einen schwarzen Bildschirm, jede Aufnahme eines Bildes signalisiert.

Nach dem ersten Flug musste die Befliegung unterbrochen werden, da es zu starken Böen kam. Als der Wind sich schließlich wieder gelegt hatte, konnten die restlichen Bildflüge durchgeführt werden. Nach der Überprüfung des Bildmaterials der vier Flüge mussten, wie in Kapitel 6.3.2 bereits erwähnt, zwei weitere Flüge geplant und durchgeführt werden. Im südwestlichen Bereich musste die Drohne zudem händisch geflogen werden. Zum Schluss wurden die aufgenommenen Bilder über die USB-Schnittstelle der Kamera auf einen USB-Stick übertragen.

## 7 Grundlagen der Photogrammetrie

Die Photogrammetrie ist ein digitales Bildmessungsverfahren, das sich mit der Auswertung geometrischer Daten aus Fotografien beschäftigt. Dabei werden Lage, Größe und Form von Objekten über mathematische Berechnungen aus den Bildern bestimmt. Dazu nutzt das photogrammetrische Messverfahren das mathematische Modell der Zentralperspektive. Aus einem dreidimensionalen Objekt wird dabei ein zweidimensionales Objekt in eine Ebene abgebildet.

Grundsätzlich wird das photogrammetrische Messverfahren in folgende Gruppen aufgeteilt:

1. Erfassung und Speicherung der Informationen
2. Datenverarbeitung
3. Darstellung der Ergebnisse

Um an diese Informationen zu gelangen, werden mehrere Aufnahmen vom selben Objekt mit unterschiedlichen Aufnahmewinkeln und Abständen benötigt. So kann durch eine Auswertesoftware eine exakte dreidimensionale geometrische Rekonstruktion erfolgen.<sup>44</sup>

In diesem Kapitel wird auf die Grundlagen der Photogrammetrie eingegangen.

---

<sup>44</sup> Vgl. [Witte und Schmidt (2006)]

### 7.1 Mathematische Beziehungen

Als Grundlage für dieses Kapitel dient die 6. Auflage der Fachliteratur „Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen“, von Berthold Witte und Hubert Schmidt, unter Berücksichtigung des Kapitels 9 „Photogrammetrie und Kartographie“ [Witte und Schmidt (2006)].

Um eine photogrammetrische Auswertung machen zu können, muss eine Bildorientierung durchgeführt werden. Dabei gibt es eine innere Orientierung, welche bestimmt werden muss, sofern sie nicht bereits bekannt ist. Weiterhin gibt es auch eine äußere Orientierung, deren Parameter ebenfalls berechnet werden müssen.

In einem Raumkoordinatensystem ist ein Objektpunkt A mit dem Ursprung U durch seine Koordinaten  $X_A, Y_A$  und  $Z_A$  bestimmt. Im Bildkoordinatensystem dagegen ist die Abbildung  $A'_n$  in der Bildebene B mit dem Ursprung O durch die Koordinaten  $x'_A, y'_A$  und  $-c_K$  festgelegt. Wie in der Abbildung 30 zu sehen ist, gehen die Abbildungsstrahlen durch das gemeinsame Projektionszentrum O, welches die Koordinaten  $X_0, Y_0$  und  $Z_0$  aufweist. Auf der anderen Seite des Projektionszentrums liegt das Negativ, welches gedanklich in ein Positiv umgewandelt wird. Dabei bleibt der lotrechte Abstand zu dem Aufnahmezentrum O gleich, da er die Kamerakonstante  $c_K$  beschreibt.

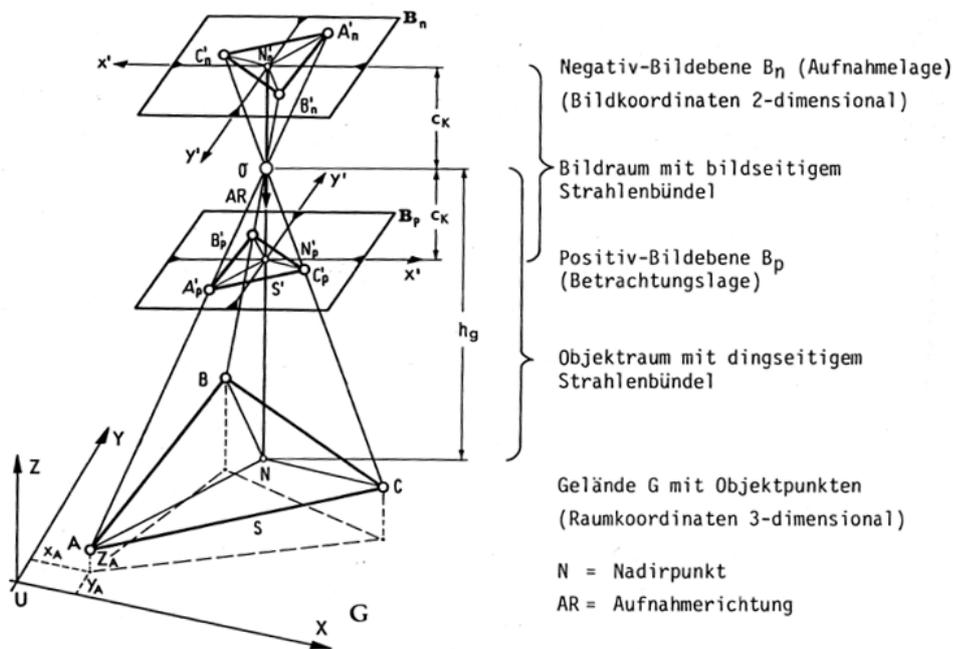


Abbildung 30: Innere Orientierung (Quelle: Witte und Schmidt (2006))

Die äußere Orientierung (Abb. 31) des Strahlenbündels im Raum wird durch sechs Parameter festgelegt. Dazu zählen sowohl die Koordinaten des Aufnahmezentrums ( $X_0, Y_0, Z_0$ ) als auch die Drehwinkel ( $\alpha, \nu, \kappa$ ), die die Aufnahmerichtung und die Orientierung des Bildes bestimmen. Da bei jeder Aufnahme von einer unterschiedlichen äußeren Orientierung auszugehen ist, muss diese individuell für jedes Bild bestimmt werden.

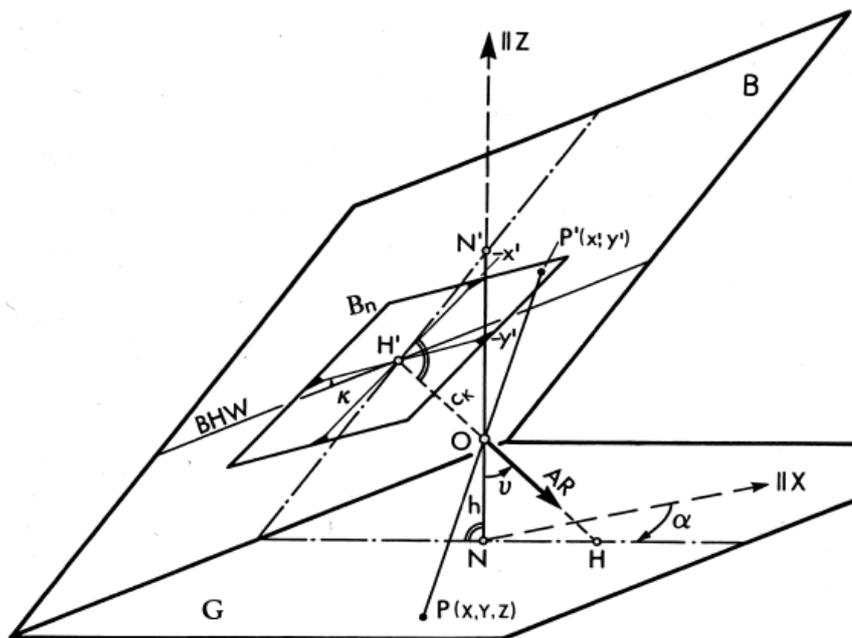


Abbildung 31: Äußere Orientierung (Witte und Schmidt (2006))

Um die Abbildung eines Objektpunktes  $P_i (X_i, Y_i, Z_i)$  in den Bildpunkt  $P'_i (x'_i, y'_i)$  der Bildebene B zu ermöglichen, werden folgende Formeln verwendet:

$$x'_i = -c_K * \frac{a_1 * (X_i - X_0) + a_2 * (Y_i - Y_0) + a_3 * (Z_i - Z_0)}{c_1 * (X_i - X_0) + c_2 * (Y_i - Y_0) + c_3 * (Z_i - Z_0)}$$

$$y'_i = -c_K * \frac{b_1 * (X_i - X_0) + b_2 * (Y_i - Y_0) + b_3 * (Z_i - Z_0)}{c_1 * (X_i - X_0) + c_2 * (Y_i - Y_0) + c_3 * (Z_i - Z_0)}$$

Dabei geben die Koordinaten ( $X_0, Y_0, Z_0$ ) die Lage des Aufnahmezentrums im Raumkoordinatensystem an. In den Formeln sind  $a_i, b_i, c_i$  Funktionen der Orientierungswinkel ( $\alpha, \nu, \kappa$ ). Die Kamerakonstante  $c_K$  stellt die Bildweite des Aufnahmeobjektives dar.  $X_i, Y_i,$  und  $Z_i$  beschreiben die Objektkoordinaten.

Die Koeffizienten werden wie folgt berechnet:

$$a_1 = \cos \alpha * \cos v * \cos \kappa + \sin \alpha * \sin \kappa$$

$$a_2 = -\sin \alpha * \cos v * \cos \kappa + \cos \alpha * \sin \kappa$$

$$a_3 = \sin v * \cos \kappa$$

$$b_1 = -\cos \alpha * \cos v * \sin \kappa + \sin \alpha * \cos \kappa$$

$$b_2 = \sin \alpha * \cos v * \sin \kappa + \cos \alpha * \cos \kappa$$

$$b_3 = -\sin v * \sin \kappa$$

$$c_1 = -\cos \alpha * \sin v$$

$$c_2 = \sin \alpha * \sin v$$

$$c_3 = \cos v$$

Die Raumkoordinaten ( $X_i$ ,  $Y_i$ ,  $Z_i$ ) können erst nach Abbildung des Objektpunktes  $P_i$  in den Bildpunkt  $P''_i$  eines zusätzlichen Bildes mit folgenden Gleichungen berechnet werden:

$$\frac{X_i - X_0}{Z_i - Z_0} = \frac{a_1 * x'_i + b_1 * y'_i - c_1 * c_K}{a_3 * x'_i + b_3 * y'_i - c_3 * c_K}$$

$$\frac{Y_i - Y_0}{Z_i - Z_0} = \frac{a_2 * x'_i + b_2 * y'_i - c_2 * c_K}{a_3 * x'_i + b_3 * y'_i - c_3 * c_K}$$

Die sechs Unbekannten der äußeren Orientierung können, wenn sie nicht bekannt sind, mit Hilfe von drei Passpunkten bestimmt werden. Dabei muss iterativ gerechnet werden, da nichtlineare Beziehungen zwischen den Parametern auftreten. Dieses Verfahren wird auch als „Doppelbildeinschaltung im Raum“ oder „doppelter räumlicher Rückwärtsschnitt“ bezeichnet. Dabei kommen die oben aufgeführten Formeln zum Einsatz.

## 7.2 3D-Triangulation

Um Objektkoordinaten im dreidimensionalen Raum zu erhalten, werden mehrere Aufnahmen benötigt. In der mathematischen Auswertung wird dafür das Verfahren der Triangulation verwendet. In Abbildung 32 sind die Aufnahmen A und B dargestellt. Die Projektionszentren sind mit  $O'$  und  $O''$  gekennzeichnet. Der Gebäudepunkt  $P$  ist in den Aufnahmen als  $P'$  und  $P''$  aufgeführt. Es wird angenommen, dass die innere und äußere Orientierung bereits berechnet sind. So können die räumlichen Bildstrahlen mit Hilfe der gemessenen Koordinaten der Bildpunkte sowie den Orientierungen berechnet werden. Die dreidimensionalen Koordinaten des Punktes  $P$  können über einen Vorwärtsschnitt berechnet werden, da  $O'$ ,  $O''$  und  $P$  ein räumliches Dreieck bilden.

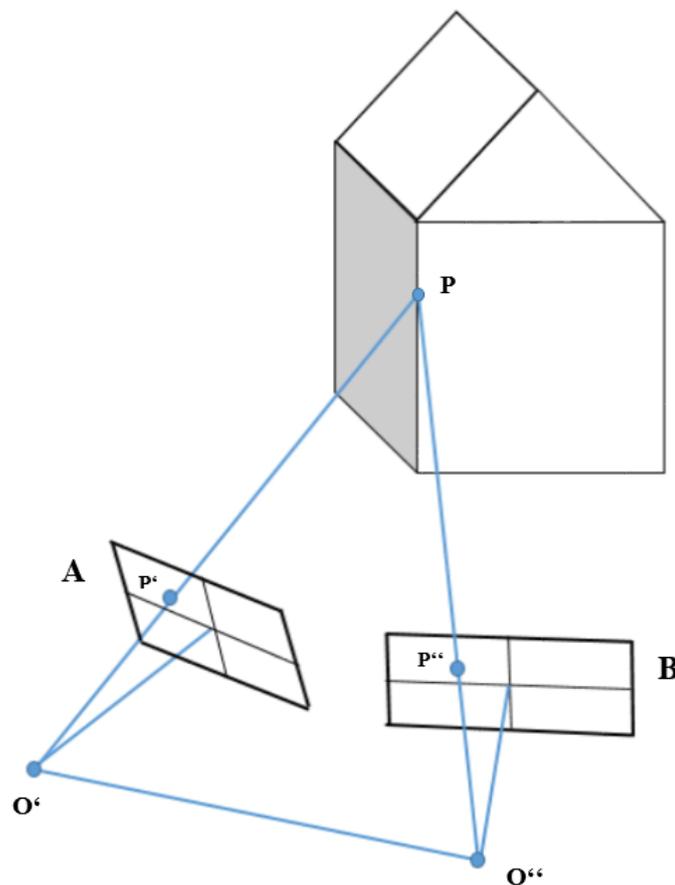


Abbildung 32: 3D-Triangulation (Quelle: Vgl. Witte und Sparla (2015))

Um die Genauigkeit von Punkt P zu steigern, können die Standorte der Aufnahmen so gewählt werden, dass sie in einem rechten Winkel zueinander stehen. Dies hat jedoch eine Verdeckung einiger Objektpunkte zur Folge. Um möglichst wenig Verdeckung im Bildverband zu haben, wird deshalb die Anzahl der Bilder erhöht, was wiederum zu einem höheren Arbeitsaufwand führt.

Auch der Maßstab spielt eine Rolle im Hinblick auf den Aufwand. Je kleiner die Maßstabszahl gewählt wird, desto weniger Bilder werden benötigt, da eine große Fläche aufgenommen wird. Gleichzeitig sinkt damit jedoch auch die Detailgenauigkeit, da die Kamera weiter vom Objekt entfernt ist. Umgekehrt verhält es sich bei Vergrößerung des Bildmaßstabs. Denn ein großer Maßstab bedeutet, dass die Aufnahmen nah am Aufnahmeobjekt getätigt werden. So steigt die Auflösung deutlich, jedoch werden auch viel mehr Bilder benötigt. Dies führt zu dem erwähnten Mehraufwand in der Bearbeitung.<sup>45</sup>

---

<sup>45</sup> Vgl. [Witte und Sparla (2015)]

## 8 Photogrammetrische Auswertung

Die photogrammetrische Auswertung des Drohnenflugs findet in dem Programm „Agisoft Metashape“ statt. Dieses Programm wird unter anderem in dem Modul „Photogrammetrische Datenerfassung“ an der Hochschule angewendet. Agisoft Metashape ermöglicht das Erstellen von 3D-Inhalten aus aufgenommenen Bildern.<sup>46</sup> Aufgrund der Corona-Pandemie wurde die Auswertung auf privaten Rechnern vorgenommen. Da der Rechenaufwand mit der Zeit jedoch zu groß wurde, konnte der Remote-Zugriff auf einen Rechner der Hochschule genutzt werden.

### 8.1 Vor der Auswertung

Da die Bilder des Bildfluges nicht im JPG-Format, sondern im ARW-Format vorlagen, mussten diese zunächst nach JPG konvertiert werden. Das ARW-Format ist ein Format von Sony, bei dem es sich um ein Rohdatenformat handelt.<sup>47</sup> Um die Bilder zu konvertieren, wurde das Programm „Imaging Edge Desktop“ von Sony genutzt.

Nach erfolgter Konvertierung der Bilder mussten Testaufnahmen aussortiert werden, da diese für die Auswertung nicht nutzbar sind. Von den ursprünglich 640 aufgenommenen Bildern wurden 56 aussortiert, sodass 584 Aufnahmen für die Auswertung genutzt wurden.

### 8.2 Auswertung

Im gesamten Kapitel Auswertung wird das Benutzerhandbuch von Agisoft Metashape [Agisoft Metashape (2019)] als Quelle verwendet.

---

<sup>46</sup> Vgl. [Dateiendung (2020)]

### 8.2.1 Fotos einlesen

Im Anschluss konnten die Bilder in Agisoft Metashape per Drag-and-Drop eingelesen werden. Eine Mitarbeiterin des i3mainz hat empfohlen, die Bilder, die mit jeweils einem anderen Akku der Kamera aufgenommen wurden, in einen eigenen Chunk zu legen. Da dies jedoch zu Problemen beim Alignen der Fotos führte, wurde nur ein Chunk erstellt. Ein Chunk in Metashape dient dazu, Bilder mit unterschiedlichen Kamerakalibrierungen getrennt voneinander auszuwerten. Hätte man mehrere Chunks angelegt, hätte man diese im Nachgang zusammenfügen können. Um die Kamerakalibrierungen dennoch zu berücksichtigen, wurde unter Tools, im Menüpunkt „Camera Calibration“, jeder Bildflug in eine eigene Gruppe gelegt (siehe Abb. 33).

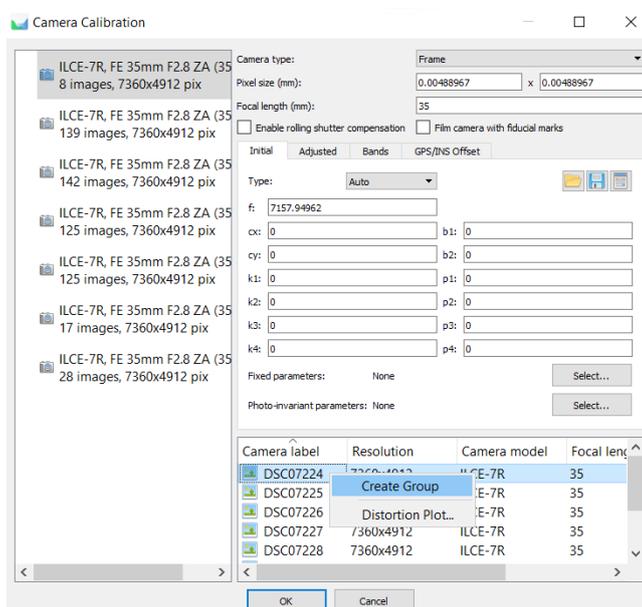


Abbildung 33: Camera Calibration

Außerdem wurde zu Beginn über den Reiter „Reference“ und den Button „Settings“ das Koordinatensystem festgelegt. Es ist darauf zu achten, dass sich die Positionen der aufgenommenen Fotos in dem gleichen Koordinatensystem wie die Passpunkte befinden müssen. Hierbei wurde der EPSG-Code 25832, welcher dem Koordinatensystem ETRS89/UTM mit der Zone 32N entspricht, verwendet. Nach der Bestätigung mit „OK“ wurden die Bilderpositionen in das Koordinatensystem überführt.

## 8.2.2 Align Photos

Um später ein 3D-Modell erstellen zu können, mussten die Fotos aligned, also ausgerichtet werden. Agisoft Metashape berechnet beim Alignen für jedes Bild die Position und Ausrichtung und erstellt daraus die dünne Punktwolke. Bei den ersten Versuchen wurden nicht alle Fotos in das Modell der dünnen Punktwolke mit einberechnet.

Es wurden diverse Einstellungen getestet, bis schließlich die beste Einstellung gefunden wurde (siehe Abbildung 34).

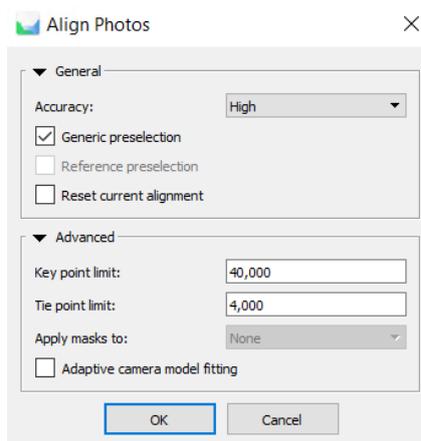


Abbildung 34: Align Photos

Bei „Accuracy“ kann man in Metashape „Highest“, „High“, „Medium“, „Low“ oder „Lowest“ auswählen. Mit der Einstellung „Highest“ werden die Bilder mit dem Faktor 4 vergrößert. Unter „High“ arbeitet das Programm mit der Originalgröße der aufgenommenen Bilder und mit der Einstellung „Medium“ wird die Aufnahme um den Faktor 4 verkleinert. Mit der Einstellung „Low“ wird das Bild mit dem Faktor 16 verkleinert und „Lowest“ führt zu einer weiteren Verkleinerung um das Vierfache. In Abbildung 34 ist ersichtlich, dass die Einstellung „High“ ausgewählt wurde. Der Haken bei „Generic preselection“ bedeutet, dass bei der Bildpaarsuche Bildpyramiden genutzt wurden. Das „Key point limit“ wurde auf „40.000“ gesetzt. Es beschreibt die Obergrenze der Merkmalspunkte, die das Programm in jedem Bild findet. Das „Tie point limit“ gibt die Obergrenze für die Verknüpfungspunkte in den einzelnen Aufnahmen an und wurde auf „4.000“ gesetzt. Nach ca. 4 ½ Stunden konnte Agisoft Metashape aus 571 Fotos 1.318.412 „Tie Points“ erstellen. In Abbildung 35 ist die errechnete Punktwolke aus den Verknüpfungspunkten dargestellt.

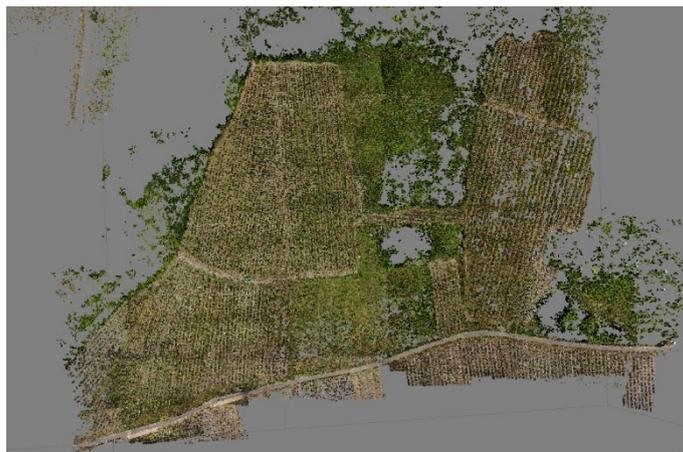


Abbildung 35: Punktwolke aus den Verknüpfungspunkten

### 8.2.3 Georeferenzierung

Nach dem „Alignen“ mussten die aufgenommenen Koordinaten der Passpunkte eingelesen werden. Die Messungen befanden sich in einer txt-Datei. Darin befanden sich neben den aufgenommenen Passpunkten auch fehlerhafte Punkte sowie die Koordinaten der virtuellen Referenzstation. Diese mussten vor Beginn des Einleseprozesses gelöscht werden. Danach konnten die Punkte über den Reiter „Reference“ und den Button „Import“ eingelesen werden. Nachdem die Passpunkte eingelesen wurden, mussten diese jeweils in zwei Bildern subpixelgenau ausgewählt werden. Dies erfolgt über Rechtsklick in dem jeweiligen Bild, „Set Marker“ und dann wird der entsprechende Passpunkt ausgewählt. Daraufhin errechnet Agisoft Metashape die ungefähre Position der Punkte in allen anderen Bildern, in denen der Passpunkt sichtbar sein könnte. Dabei werden die Punkte, die noch nicht händisch bearbeitet wurden, mit einer grauen Fahne dargestellt. Die Passpunkte, deren Mittelpunkte bereits markiert wurden, werden mit einer grünen Fahne dargestellt (siehe Abbildung 36).



Abbildung 36: Markieren der Passpunkte

In Abbildung 37 ist deutlich zu erkennen, dass sich die Passpunktsignalisierungen, die durch das i3mainz angebracht wurden, sehr gut zur subpixelgenauen Messung eignen. In manchen Bildern, mit den Signalisierungsplatten der Flurbereinigungsbehörde, ließ sich der mit einem Loch markierte Mittelpunkt nur schwer oder gar nicht erkennen und musste deshalb geschätzt werden.

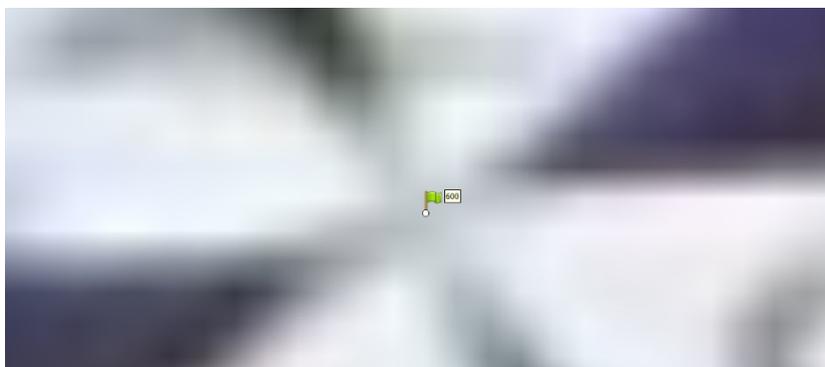


Abbildung 37: Markierter Passpunkt der Hochschule Mainz

Nachdem alle Punkte in den entsprechenden Bildern subpixelgenau gemessen wurden, können über den Button „View Errors“ die Differenzen zwischen den ausgeglichenen und importierten Koordinaten angezeigt werden. Da diese eine zu große Abweichung darstellten, konnten über das Fenster „Optimize Cameras“ die inneren und äußeren Orientierungsparameter optimiert und somit die Bildpositionen angepasst werden. Dies führt zu den in Abbildung 38 aufgeführten Abweichungen und den entsprechenden Bildpositionen. Der auftretende Gesamtfehler der Lage beträgt 0,0108 m.

Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
1	362334.588800	5531270.103600	235.391300	0.005000	0.008412	11	0.908
2	362277.135500	5531245.477800	231.096200	0.005000	0.008987	10	0.562
3	362142.229000	5531181.660800	214.063200	0.005000	0.024447	9	5.369
4	362169.437000	5531274.360700	249.125400	0.005000	0.004229	21	0.744
5	362218.935100	5531277.956900	250.546100	0.005000	0.007177	19	0.713
6	362250.611500	5531286.871700	250.864200	0.005000	0.008046	20	0.717
7	362220.386000	5531393.073600	285.282300	0.005000	0.004732	16	0.739
8	362187.168100	5531386.880800	284.793600	0.005000	0.014159	9	0.921
9	362302.682100	5531385.843000	277.196500	0.005000	0.008745	9	0.723
10	362353.377300	5531381.384700	279.088100	0.005000	0.006741	5	0.211
11	362348.695000	5531328.056300	261.642600	0.005000	0.006570	8	0.508
12	362227.425100	5531220.198500	226.525700	0.005000	0.019691	4	0.723
502	362279.625400	5531248.641400	232.414000	0.005000	0.019030	9	0.551
503	362145.643100	5531176.767700	213.194000	0.005000	0.018697	8	4.093
504	362166.755400	5531272.596000	248.871200	0.005000	0.009394	12	1.203
505	362221.911000	5531276.960800	250.405000	0.005000	0.003213	15	0.594
506	362249.626900	5531285.432800	250.749800	0.005000	0.007039	20	0.695
507	362217.563500	5531392.692500	285.326900	0.005000	0.008355	16	0.787
508	362185.062400	5531387.028500	284.711200	0.005000	0.013493	19	0.697
509	362304.378300	5531386.739500	277.302500	0.005000	0.004659	9	0.518
510	362352.478400	5531381.111700	278.996600	0.005000	0.003076	5	0.229
511	362350.844200	5531328.351000	261.903800	0.005000	0.002779	8	0.687
513	362340.278100	5531422.500400	289.803300	0.005000	0.008832	8	0.343
600	362336.335000	5531269.531600	235.573100	0.005000	0.012933	10	0.790
<b>Total Error</b>							
Control points					0.010788		1.377
Check points							

Abbildung 38: Abweichungen und Bildpositionen

Im Anschluss wurde die Bounding Box des Gebietes angepasst, um eine unnötige Erstellung der dichten Punktwolke in nicht gewünschten Bereichen zu vermeiden. Über den Button „Resize Region“ kann eine rechteckige Box passend über das gewünschte Gebiet gelegt werden.

#### 8.2.4 Dense Cloud

Im nächsten Schritt konnte das 3D-Modell der dichten Punktwolke, der „Dense Cloud“, erstellt werden. Anhand der geschätzten Kamerapositionen wurden Tiefeninformationen für jedes Bild berechnet. In Kombination aus Kameraposition und Tiefeninformation konnte so die dichte Punktwolke erstellt werden.

Die Einstellungen zum Bilden der dichten Punktwolke können über „Workflow“ - „Build Dense Cloud...“ angesteuert werden. Die Qualität gibt hierbei die gewünschte Rekonstruktionsqualität an. Je höher diese eingestellt wird, desto detailliertere Informationen können erhalten werden, was allerdings zu wesentlich längeren

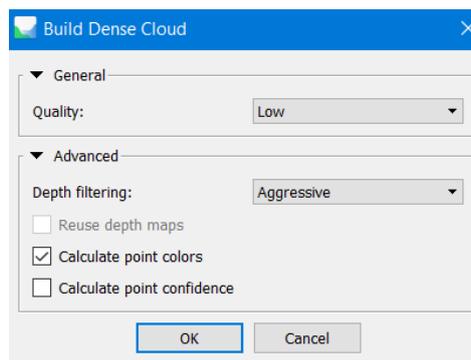


Abbildung 39: Einstellungen Dense Cloud

Bearbeitungsdauern führt. Die Parameter sind ähnlich zu denen von „Align Photos“. Hierbei gibt es mit „Ultra High“ jedoch noch eine weitere Auswahlmöglichkeit. Aufgrund der Rechenzeit wurde in diesem Bereich, wie in Abbildung 39 zu sehen, „Low“ ausgewählt. Bei der Tiefenfilterung, „Depth filtering“, können drei verschiedene Modi eingestellt werden. „Mild“ wird ausgewählt, wenn wichtige kleine Details dargestellt werden sollen. Die Einstellung „Moderate“ erzeugt ein Ergebnis zwischen dem Modus „Mild“ und „Agressiv“. Es wurde die Einstellung „Agressiv“ verwendet, welche zum Einsatz kommt, wenn es keine wichtigen kleineren Details gibt. Dieser Modus wird im Handbuch auch zur Auswertung von Luftbilddaten empfohlen. Durch das Setzen des Hakens bei „Calculate point colors“, wurde für jeden Punkt der dichten Punktwolke ein Farbwert bestimmt.

Nach einer Rechenzeit von rund 1 ½ Stunden hat Metashape knapp 63.000.000 Punkte als dichte Punktwolke erstellt. Wie in Abbildung 40 deutlich zu sehen ist, enthält diese nur noch wenige Lücken.



Abbildung 40: Dichte Punktwolke

### 8.2.5 Mesh

Das Mesh ist eine Dreiecksvermaschung, die aus der dichten Punktwolke, der dünnen Punktwolke oder den Tiefenkarten berechnet werden kann.

Die dünne Punktwolke („Sparse cloud“) wird verwendet, um ein schnelles Ergebnis eines Dreiecksnetzes zu erzeugen. Da es sich hierbei um eine wesentlich geringere Anzahl der Punkte handelt, wird das Produkt dementsprechend qualitativ nicht sehr hochwertig. Die Erzeugung des Modells aus der dichten Punktwolke führt zu einer längeren Rechenzeit und zu einem qualitativ hochwertigeren Ergebnis. In diesem Schritt wurde die Erzeugung aus der dichten Punktwolke, also „Dense Cloud“, ausgewählt (Siehe Abb. 41).

Bei „Surface Type“ kann zwischen „Arbitrary“ und „Height field“ ausgewählt werden. „Arbitrary“ kann zur Modellierung jeder Art von Objekten genutzt werden. Mit der Einstellung „Height field“ können ebene Flächen oder Gelände modelliert werden. Da dies jedoch zu einer verzerrten Darstellung führte, wurde „Arbitrary“ ausgewählt.

Unter „Face count“ wird die maximale Anzahl an Polygonen im endgültigen Netz festgelegt. Hierbei kann „High“, „Medium“ oder „Low“ eingestellt werden. Die Zahlenwerte, die in Klammern hinter dem Modus stehen, werden anhand der entsprechenden Punktwolke

erstellt. Dies entspricht bei „High“ 1/5 der Punkte der dichten Punktwolke. Bei „Medium“ sind es 1/15 und bei „Low“ 1/45 der Punkte der dichten Punktwolke. Hierbei muss beachtet werden, dass eine zu kleine Anzahl an Polygonen zu einem rauen Netz führt. Eine zu große Anzahl an Polygonen kann zu Problemen bei der Modellvisualisierung in einer externen Software führen. Aufgrund von langen Rechenzeiten wurde bei „Face count“ die Einstellung „Low“ ausgewählt.

In Agisoft Metashape kann die Interpolation ausgeschaltet werden. Das führt jedoch zu Löchern in der Modellbildung, welche in der Nachbearbeitung gefüllt werden müssen. Ist unter der Funktion „Interpolation“ „Enabled“ eingeschaltet, wird innerhalb eines Kreises mit einem bestimmten Radius um jeden Punkt der dichten Punktwolke interpoliert. Durch diese

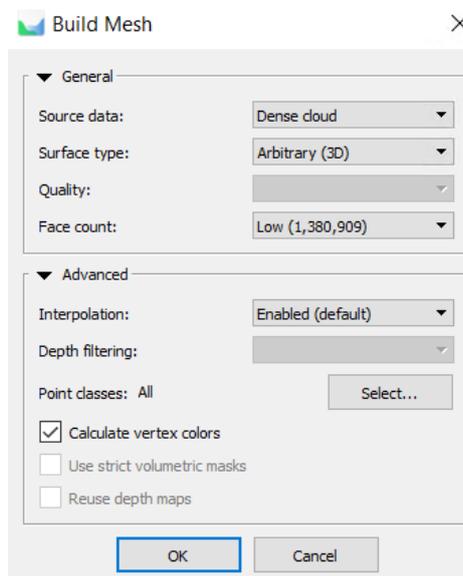


Abbildung 41: Einstellungen Mesh

Einstellung können Löcher im Modell automatisch geschlossen werden. Bei der Auswertung wurde somit „Enabled“ ausgewählt.

Nach einer Rechenzeit von knapp 3 Stunden hat Agisoft Metashape das Dreiecksnetz erstellt. Im Modellfenster erscheint nun das grob gefärbte Dreiecksnetz (siehe Abb. 42), beim Reinzoomen erkannte man bereits nach geringer Vergrößerung Fehler in der Darstellung. Aus diesem Grund musste noch eine Textur für das Modell angefertigt werden.

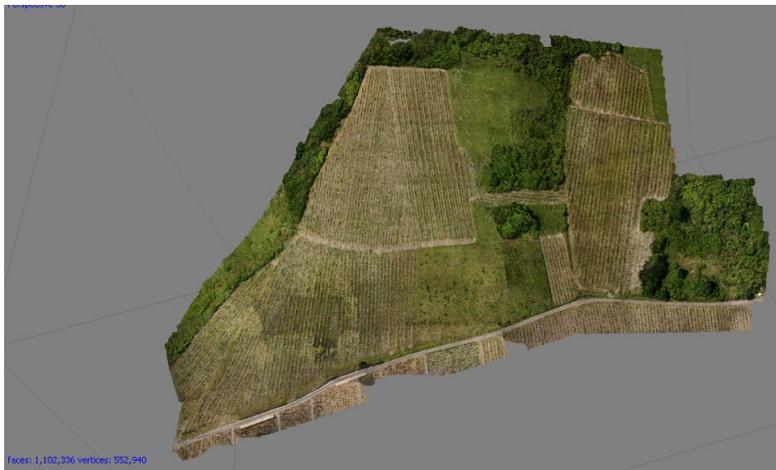


Abbildung 42: Mesh mit groben Farbwerten

### 8.2.6 Texture

Der Texturabbildungsmodus bestimmt, wie die Objekttextur in den Texturatlas geschrieben wird. Beim „Mapping mode“ wird in „Generic“, „Adaptive Orthophoto“, „Orthophoto“, „Spherical“, „Single photo“ und „Keep uv“ unterschieden.

Im voreingestellten Modus „Generic“ wird die Parametrisierung des Texturatlas für beliebige Geometrien vorgenommen. Hierbei werden keine Annahmen zum Typ der Objektoberfläche getroffen. Agisoft Metashape versucht dabei eine möglichst einheitliche Textur zu erzeugen.

Im Modus „Adaptive Orthophoto“ wird die Objektoberfläche in flache Teile und den vertikalen Bereich aufgeteilt. Der flache Teil wird dabei unter der Orthogonalprojektion texturiert, während die vertikalen Bereiche separat texturiert werden, um eine Genauigkeit in diesen Abschnitten zu ermöglichen. Hierbei werden kompaktere Texturen erzeugt, die für nahezu ebene Flächen oder vertikale Oberflächen genutzt werden.

Mit der Einstellung „Orthophoto“ wird die gesamte Objektoberfläche in der Orthogonalprojektion texturiert. Dieser Mapping-Modus bietet eine noch kompaktere Texturdarstellung als der adaptive Orthophotomodus. Jedoch wird unter diesem Modus die Texturqualität in den vertikalen Bereichen vernachlässigt.

Der Mapping-Modus „Spherical“ ist nur für Objektoberflächen gedacht, die eine kugelähnliche Form besitzen.

„Single photo“ ermöglicht das Generieren von Texturen aus einem einzelnen Foto. „Keep uv“ generiert einen Texturatlas unter Verwendung der aktuellen Texturparametrisierung.

Wie aus Abbildung 43 zu entnehmen ist, wurde der Mapping-Mode „Generic“ verwendet.

Über den „Blending mode“ wird eine Einstellung getroffen, wie Pixelwerte aus den verschiedenen Fotos zu einer endgültigen Textur kombiniert werden. Hierbei wurde „Mosaic“ als Blending-Mode ausgewählt, da dieser einen zweistufigen Ansatz verfolgt. Er nutzt die Niederfrequenzkomponente in den Überlappungsbereichen und die Hochfrequenzkomponente für die Bilddetails aus jedem einzelnen Bild, um somit eine gute Auflösung für den Bereich zu erreichen.

Die Einstellung „Texture Size“ gibt die Größe des Texturatlasses in Pixel an und bestimmt die Anzahl der Dateien der zu exportierenden Textur. Bei einer hochauflösenden Textur kann die Erzeugung aufgrund eines zu geringen Arbeitsspeichers fehlschlagen. Ein Testlauf mit der Einstellung „4.096“ erzielte eine nicht ausreichende Textur. Im Anschluss wurde iterativ die „Texture Size“ erhöht, bis schließlich „12.000“ als beste Einstellung festgelegt wurde.

Der gesetzte Haken bei „Enable ghosting filter“ (siehe Abb. 43) führt dazu, dass bewegte Objekte, die nicht rekonstruiert werden können, in der Textur als Ghosting-Effekt vermieden werden.

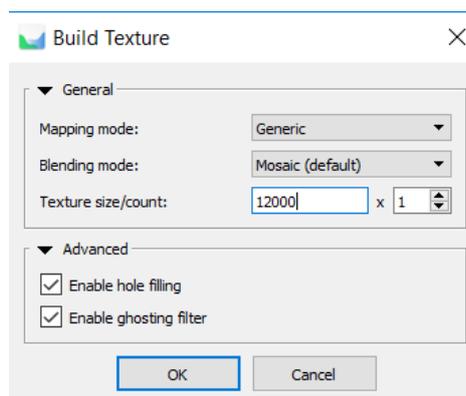


Abbildung 43: Einstellungen Texture

Die Einstellung „Enable hole filling“ vermeidet Abschattungen von Teilen des Modells.

Nach einer Rechenzeit von 1 ¼ Stunden wurde die Textur, wie sie in Abbildung 44 zu sehen ist, erstellt. Die gute Auflösung ist besonders im unteren Bereich des Gebietes an den Mauern zu erkennen (Siehe Abb. 45).



Abbildung 44: Erstellte Textur



Abbildung 45: Nahaufnahme der Textur

### 8.2.7 Digital elevation model

Mit Agisoft Metashape kann ein digitales Höhenmodell (DHM, eng. Digital elevation model - DEM) erstellt werden. Dieses DEM stellt das Oberflächenmodell als Höhenmodell mit den entsprechenden Farbwerten dar. Das Höhenmodell kann aus der dichten Punktwolke, der dünnen Punktwolke oder dem Mesh gebildet werden. Dabei werden die besten Ergebnisse unter Verwendung der dichten Punktwolke erzielt. Auf Grundlage des DEM können

Punkt-, Entfernungs-, Flächen- und Volumenmessungen erfolgen und Querschnitte generiert werden.

Wie in Abbildung 46 zu sehen ist, wurde als Projektionstyp „Geographic“ ausgewählt, da dies die Auswahl eines Koordinatensystems aus einer Dropdown-Liste ermöglicht. Das voreingestellte Koordinatensystem blieb hier mit „ETRS89/UTM Zone 32N“ unverändert.

Als „Source data“ wurde, aufgrund der wie oben beschrieben hohen Qualität, das Modell der dichten Punktwolke gewählt. Ebenfalls wird dies im Benutzerhandbuch zu Agisoft Metashape als Grundlage empfohlen.

Die „Interpolation“ wurde aktiviert, also auf „Enabled“ gestellt. Somit rechnet Agisoft Metashape das DEM für jeden Bereich des Gebietes, welches auf mindestens einem Bild zu sehen ist. Diese Einstellung wird ebenfalls im Benutzerhandbuch empfohlen.

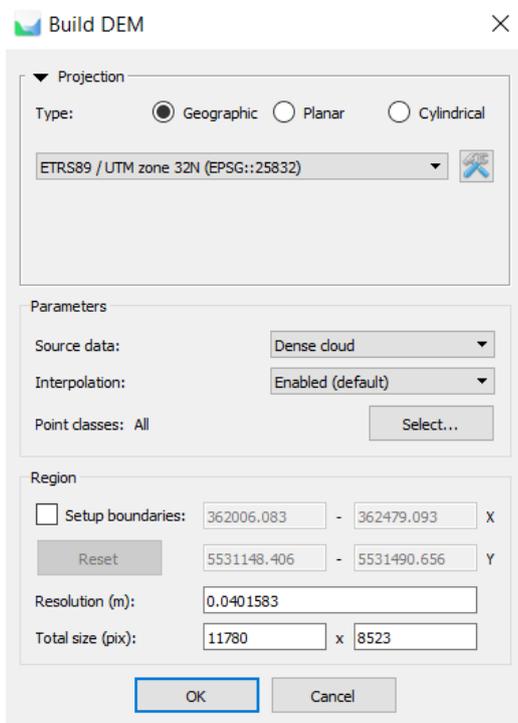


Abbildung 46: Einstellungen DEM

Nach einer Bearbeitungsdauer von knapp 2 Minuten hatte Metashape das DEM erstellt. Hierbei werden die Höhen von 198 m (in Blau) zu 319 m (in Rot) dargestellt (siehe Abb. 47)

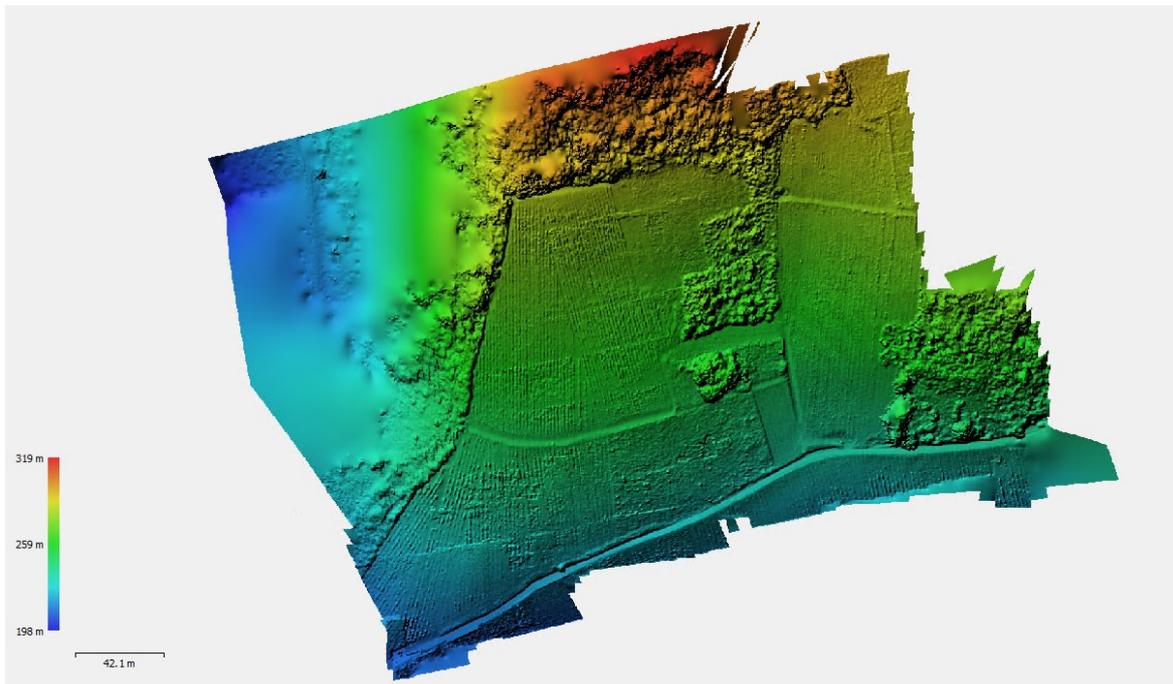


Abbildung 47: Erstelltes DEM

### 8.2.8 Orthomosaic

Auf Grundlage des DEM konnte im Anschluss die Erstellung des Orthophotomosaiks erfolgen. Ein Orthophotomosaik ist ein „[...] durch geometrisches Zusammenfügen und radiometrisches Angleichen benachbarter digitaler Orthophotos gewonnenes blattschnittfreies Orthophoto [...]“ [Spektrum (2020)].<sup>48</sup>

In den Einstellungen zum Bilden des Orthophotomosaiks kann bei der Projektion, beim „Projection type“, zwischen „Geographic“, „Planar“ und „Cylindrical“ ausgewählt werden. Hierbei wurde, wie auch beim DEM, „Geographic“ und das Koordinatensystem „ETRS89/UTM Zone 32N“ ausgewählt (Abb. 48).

Als „Surface“ wurde „DEM“ ausgewählt. Die Erstellung der Orthophotomosaik auf Grundlage des DEM ist besonders effizient für die Verarbeitung von Luftbildaufnahmen. Alternativ könnte das Orthophotomosaik über das Mesh erstellt werden.

---

<sup>48</sup> [Spektrum (2020)]

Der „Blending mode“ wurde auf „Mosaic“ belassen. Dies führt dazu, dass die Daten in mehrere Frequenzbereiche aufgeteilt werden, welche unabhängig voneinander gemischt werden können. Die Komponente mit der höchsten Frequenz wird entlang der Randlinie gemischt. Je weiter die Randlinie entfernt ist, desto weniger Daten werden gemischt.

Durch den Haken bei „Enable hole filling“ wird, wie bei der Textur bereits erwähnt, eine Abschattung von anderen Teilen des Modells vermieden.

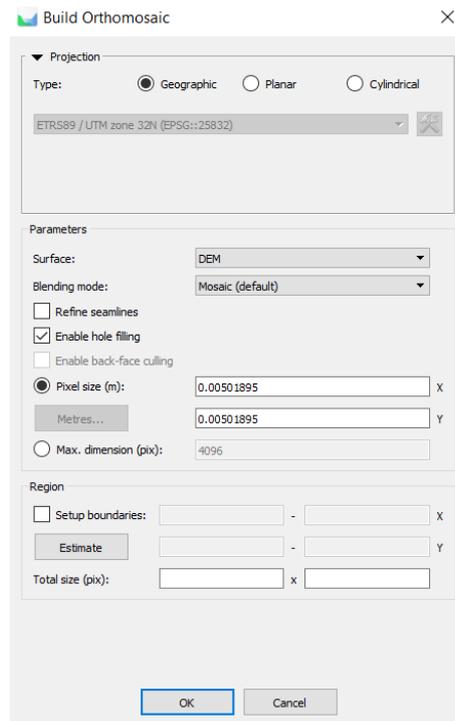


Abbildung 48: Einstellungen Orthomosaic

Nach einer Rechenzeit von ca. 2 Stunden hat Metashape das Orthophotomosaik erstellt, welches aus der Entfernung wellig wirkt (Abb. 49). Wie in Abbildung 50 zu sehen, löst sich dies jedoch beim Hereinzoomen auf. Es wurde eine Genauigkeit von 5,02 mm/px erreicht.



Abbildung 49: Erstelltes Orthophotomosaik



Abbildung 50: Nahaufnahme des Orthophotomosaiks

## **8.3 Ableitung von Planungsgrundlagen**

### **3D-Modell**

Das 3D-Modell ist das in Agisoft Metashape erstellte und exportierte Mesh. Es könnte in einer geeigneten Software genutzt werden, um eine Auswertung des PuDig-Verfahrens im Stereomodell zu umgehen. Mit Hilfe des 3D-Modells könnten so dreidimensionale Koordinaten am Computer des zuständigen Sachgebietsleiters erstellt werden. Durch die Digitalisierung in der 3D-Ansicht lassen sich so schleifende Schnitte verhindern.

Des Weiteren kann das 3D-Modell als dxf-Datei ausgegeben werden. Somit könnte in einem handelsüblichen CAD-Programm eine Massenberechnung anhand des Modells erfolgen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass das 3D-Modell die Oberfläche beschreibt und nicht das Gelände. Bei der Massenberechnung könnte es zu Unterschieden im Vergleich zu einer Berechnung aus den Massepunkten des digitalen Geländemodells kommen. In geologisch bewegten Regionen könnte dies zu einer wichtigen Unterstützung des digitalen Geländemodells führen, da diese in einem neunjährigen Rhythmus erneuert werden. Mit der Drohne könnte so eine Möglichkeit geschaffen werden, hier schnell aktuelle Daten zu liefern.

### **Orthophotomosaik**

Das Orthophotomosaik liefert, wie in Kapitel 8.2.8 bereits beschrieben, eine Bodenpixelauflösung von 5 mm. Dies ermöglicht eine wesentlich bessere Bodensicht als das Bildmaterial der TZ. Für die Digitalisierung im PuDig-Verfahren würde dies jedoch kaum eine Verbesserung der Genauigkeit bringen.

## Schummerung und Höhenlinien

Anhand des digitalen Höhenmodells kann in der freien Geoinformationssystemsoftware QGIS eine Schummerung abgeleitet werden. Nachdem das Höhenmodell in QGIS per Drag-and-Drop in das Fenster Layer eingefügt ist, kann über den Pfad „Raster“, „Analyse“, die „Schummerung“ angesteuert werden. Danach öffnet sich das Fenster „Schummerung“, in welchem die Überhöhung oder der Winkel des Lichteinfalls eingestellt werden. Nachdem die Schummerung berechnet ist, erscheint sie im Fenster „Layer“ und wird gleichzeitig in der Kartenansicht dargestellt.

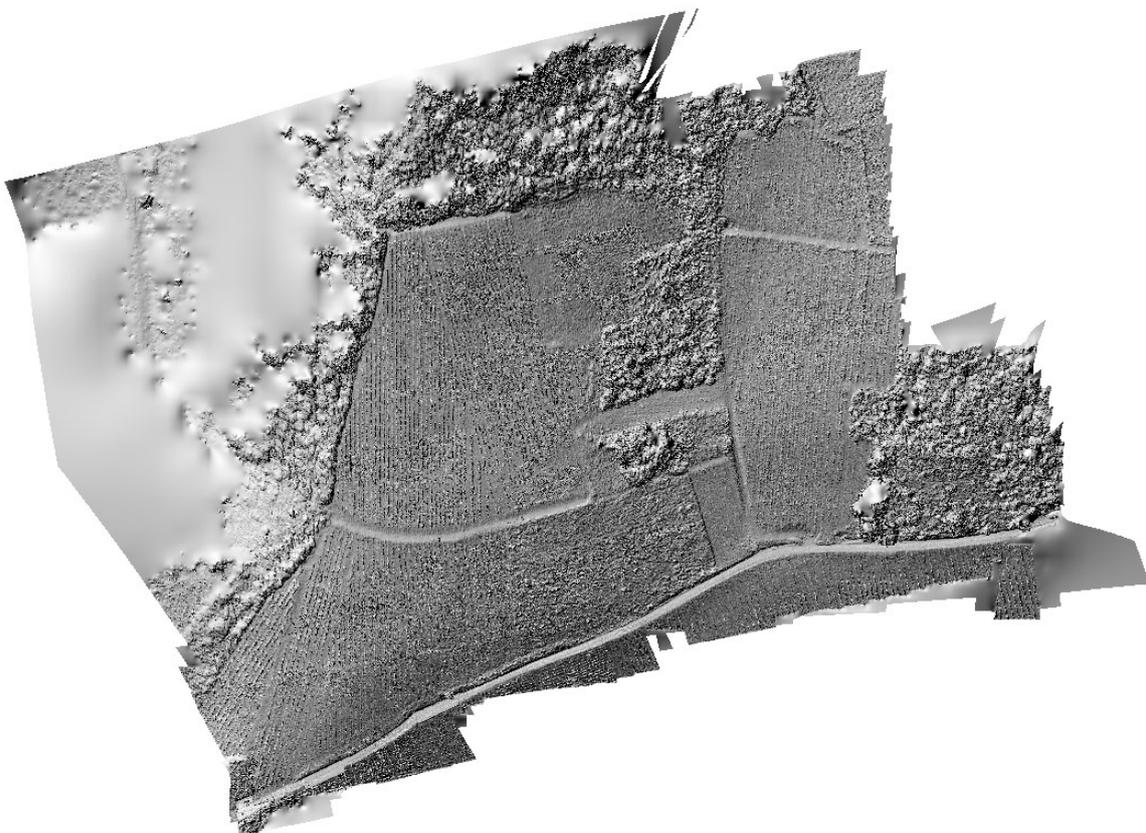


Abbildung 51: Schummerungskarte des Befliegungsgebiets

In Abbildung 51 ist die so erstellte Schummerung zu sehen. In dieser lassen sich die einzelnen Rebzeilen und Höhenunterschiede gut erkennen.

Neben der Schummerung lassen sich aus dem Höhenmodell auch Höhenlinien ableiten. Dazu muss das Höhenmodell als Layer aktiviert werden. Über „Raster“, „Extraktion“ kann „Kontur...“ ausgewählt werden. In den Einstellungsparametern muss dann bei „Eingabelayer“ das DEM ausgewählt werden. Über „Intervall zwischen Konturlinien“ wird

der Höhenmäßige Abstand zwischen den Höhenlinien eingestellt. Die weiteren Parameter können vernachlässigt werden. Nach der Erzeugung fällt ein deutlicher Höhenunterschied an jeder einzelnen Rebzeile auf, da das Höhenmodell auf dem Oberflächenmodell beruht. In Abbildung 52 sind diese Höhenunterschiede zu erkennen. Außerdem ist in Bereichen mit höherem Bewuchs die Höhenlinie ebenfalls deutlich verschoben. Um dies zu ändern wird über „Vektor“, „Geometrie-Werkzeuge“, „Vereinfachen...“ ausgewählt. Hier können die Höhenunterschiede an den einzelnen Reihen bereits weitestgehend ausgebessert werden. Um die Linien gänzlich auszubessern, können über den Bearbeitungsmodus einzelne Punkte entfernt oder verschoben werden.



Abbildung 52: Ungeglättete Höhenlinien

In Abbildung 53 sind die Höhenlinien in grün mit einem 10 m Abstand aus dem Bildflug dargestellt. Darüber wurden in rot die Höhenlinien des WMS-Dienstes der Vermessungs- und Katasterverwaltung gelegt. Der Abstand von 10 m wurde gewählt, um einen Vergleich zu den amtlichen Höhenlinien zu bekommen. Die Unterschiede der Linien an den Randbereichen lassen sich über die dortige geringere Datenmenge erklären.



Abbildung 53: Vergleich der Höhenlinien

## 9 Webvisualisierung

Um das 3D-Modell auch ohne spezielle Software, wie zum Beispiel Agisoft Metashape, nutzen zu können, wurde im Rahmen der Bachelorarbeit eine Webbasierte Visualisierung eingerichtet. So kann das Modell in einem normalen Webbrowser geöffnet und interaktiv betrachtet werden. Für die Umsetzung wurde die Open-Source-Software 3D Heritage Online Presenter (3DHOP) verwendet. Da die Webvisualisierung einfach umzusetzen ist und zudem individuell an die Bedürfnisse des Nutzers angepasst werden kann, wurde eine solche für das vorliegende 3D-Modell durchgeführt.

Als Grundlage für dieses Kapitel dient die Internetseite [www.3dhop.net](http://www.3dhop.net) [3DHOP (2020)].

### 9.1 Über 3DHOP

Der 3D Heritage Online Presenter ist eine Open-Source-Software des italienischen Grafiklabors des ISTI-CNR (Istituto di Scienza e Tecnologie Dell'Informazione – Consiglio Nazionale delle Ricerche). Er wurde vorrangig im Interesse des Kulturerbes entwickelt und findet deshalb vor allem Anwendung in der Archäologie. 3DHOP besitzt eine Vielzahl an Funktionen. Neben der Möglichkeit, die Software als Viewer zu nutzen, bei dem sich die Kameraansicht verändern lässt, kann auch eine künstliche Beleuchtungsquelle das Modell beleuchten. Weiterhin kann in den 3D Heritage Online Presenter eine Funktion implementiert werden, mit der Strecken auf dem 3D-Modell gemessen werden können. Bei der Umsetzung der Webvisualisierung wurde sich auf die Basisfunktionen beschränkt.<sup>49</sup>

3DHOP ist in JavaScript geschrieben und basiert auf der SpiderGL-Bibliothek. Dadurch muss der Benutzer lediglich einige HTML- und JavaScript-Komponenten zum Quellcode der Webseite hinzufügen. Die Software benötigt weder einen speziellen Server, noch eine serverseitige Berechnung. Plug-Ins oder zusätzliche Komponenten sind nicht erforderlich. Grundsätzlich kann jeder Webbrowser auf allen üblichen Betriebssystemen 3DHOP nutzen.

---

<sup>49</sup> Vgl. [ISTI CNR] (2020)]

Da das 3D-Modell große Mengen an Speicher benötigt, wurde für die Umsetzung das von 3DHOP empfohlene kostenlose Tool „Nexus“ genutzt, welches dabei hilft, große 3D-Modelle zu visualisieren. Mit Nexus wurden die Dateien komprimiert und die Datenstruktur in eine ansichtsabhängige Auflösung umgewandelt. Dafür wurden aus dem Modell multiple Instanzen erstellt. „nxsbuild.exe“, „nxscompress.exe“, „nxsedit.exe“ und „nxsview.exe“ bilden die vier Komponenten, aus denen Nexus hauptsächlich besteht. Es wird empfohlen, das 3D-Modell vor der Bearbeitung als PLY- oder OBJ-Datei auszugeben. Danach kann es mit dem Tool „nxsbuild.exe“ in ein NXS-Format konvertiert werden und anschließend mit „nxscompress.exe“ zu einer NXZ-Datei komprimiert werden. Mit dem Tool „nxsedit.exe“ kann daraufhin die Hierarchieebene bearbeitet werden. Das Ergebnis kann mit „nxsview.exe“ betrachtet werden.<sup>50</sup>

## 9.2 Umsetzung von 3DHOP

Um die Software nutzen zu können, müssen sowohl 3DHOP als auch Nexus (Version 4.2.2) heruntergeladen werden. Außerdem sind noch weitere vorbereitende Maßnahmen durchzuführen, bevor es an den Aufbau der HTML-Seite geht.

Als erstes muss die PLY-Datei und die entsprechende Signatur im JPG-Format des 3D-Modells in den Ordner des Nexus-Tools kopiert werden. Danach wird die Datei per Drag and Drop auf das Tool „nxsbuild.exe“ gezogen. Daraufhin öffnet sich die in Abbildung 54 dargestellte Windows Eingabeaufforderung, in der die einzelnen ansichtsabhängigen Auflösungen erstellt werden. Wenn sich das Fenster wieder automatisch schließt, ist der Vorgang beendet und das Modell wurde in ein NXS-Format konvertiert.

```
Reading C:\Users\retterath_m\Desktop\Nexus_4.2.2\Model3D.ply
Components: mesh textures
Normals enabled
Textures enabled
Creating level 0
Creating level 1
Creating level 2
Creating level 3
Creating level 4
```

Abbildung 54: Erstellung der ansichtsabhängigen Auflösungen

---

<sup>50</sup> Vgl. [ISTI CNR]

Sollte dies nicht funktionieren, kann alternativ die Datei „Build\_Nexus.bat“ über einen Texteditor geöffnet werden. Im Inhalt muss der Name der Ein- und Ausgangsdatei entsprechend des 3D-Modells geändert werden (Abb. 55). Anschließend wird die Datei ausgeführt und die nxs-Datei wird mit dem eingegebenen Namen erstellt. Für die Datei „Pallert“ würde die Eingabe wie folgt aussehen:



Abbildung 55: Konvertierung mit BAT-Datei

Dabei beschreibt „nxsbuild“ das auszuführende Programm. „Pallert.ply“ ist der Name der Input-Datei und „Pallert.nxs“ stellt folglich die Output-Datei dar. Die Eingabe „-o“ besagt dass ihr die Output-Datei folgt.

Weil das Modell noch zu viel Datenvolumen aufweist, muss es noch komprimiert werden. Das Vorgehen ist identisch zu dem der Konvertierung, nur dass diesmal das Tool „nxscompress.exe“ verwendet wird. Die neu erstellte Datei liegt nun im NXZ-Format vor und hat nur noch 148 MB, anstatt den ursprünglichen 189 MB. Auch hier kann alternativ das Tool „Compress\_Nexus.bat“ verwendet werden. Um zu kontrollieren, ob die Umwandlung und Komprimierung erfolgreich waren, kann nun die NXZ-Datei per Drag and



Abbildung 56: Ansicht im Viewer

Drop auf das Tool „nxyzview.exe“ gezogen werden. Daraufhin öffnet sich das in Abbildung 56 dargestellte Fenster und das Modell kann begutachtet werden.

Nachdem die Vorbereitungen abgeschlossen sind, kann in die vorbereitete HTML-Seite der 3DHOP-Viewer als unabhängiges HTML-Element eingebunden werden. Weiterhin werden einige JavaScript-Files eingebunden, die es ermöglichen, externe Bibliotheken einzubeziehen und den Viewer zu initialisieren. Für das Aussehen des HTML-Dokumentes wird eine CSS-Datei erstellt und implementiert.

Die Hauptkomponente von 3DHOP ist in einem einzigen div-Bereich mit der ID „3dhop“ definiert (Abbildung 57). Darauf folgt ein div-Bereich, indem die Toolbar definiert ist. Dazu zählen ein Home-Button, zwei Zoom-Buttons, zwei Buttons zur Helligkeitseinstellung und ein Button, der den Vollbildmodus aktiviert. Außerdem wurde ein Mess-Tool eingebettet,

```
<div id="3dhop" class="tdhop" onmousedown="if (event.preventDefault()) event.preventDefault()"><div id="tdhlg"></div>
<div id="toolbar">
  <br/>
  <br/>
  <br/>
  
  <br/>
  
  <br/>
  
  
</div>
<div id="measure-box" class="output-box">
  Measured length<br/> <span id="measure-output" class="output-text" onmousedown="event.stopPropagation()">0.0</span>
</div>
<canvas id="draw-canvas" style="background-color: #F3E2A9"/>
</div>
```

Abbildung 57: Definition der Toolbar

mit dem die Strecke zwischen zwei Punkten gemessen werden kann. Es können auch weitere Tools eingebunden werden, um die Webanwendung jedoch übersichtlich zu gestalten, wurden nur die wichtigsten verwendet. Unter der Definition der Toolbar ist die „measure-box“ eingefügt. Dieser div-Bereich öffnet bei Aktivierung des Mess-Tools ein kleines Fenster, in dem die Distanz zwischen den Punkten sowie deren Höhen ausgegeben wird. Im unteren Bereich ist ein Canvas-Element definiert, welches die Darstellung von Graphiken oder Animationen in JavaScript ermöglicht. Außerdem wird darüber die Hintergrundfarbe festgelegt.

Anschließend müssen in einem Script-Element JavaScript-Methoden eingefügt werden, um das 3DHOP-Tool einzurichten. In Abbildung 58 ist die Funktion „setup3dhop“ zu sehen.

```
<script type="text/javascript">
var presenter = null;

function setup3dhop() {
  presenter = new Presenter("draw-canvas");
  presenter._onEndMeasurement = onEndMeasure;
  presenter.setScene({
    meshes: {
      "Pallert3D" : { url: "models/Pallert.nxz" }
    },
    modelInstances : {
      "model" : { mesh : "Pallert3D" }
    },
    trackball: {
      type : PanTiltTrackball,
      trackOptions : {
        startPanX: 0.0,
        startPanY: 0.2,
        startAngleX: 0.0,
        startAngleY: -60.0,
        startDistance: 1.3,
        minMaxPanX: [-0.7, 0.7],
        minMaxPanY: [-0.7, 0.7],
        minMaxAngleX: [-90.0, 80.0],
        minMaxAngleY: [-100.0, 70.0],
        minMaxDist: [0.1, 2.0]
      }
    }
  });
}
```

Abbildung 58: JavaScript Funktion "setup3dhop"

Diese ist eine elementare Funktion, welche für die Einbindung des Canvas-Elements und für das Setup der 3D-Szene verantwortlich ist. Im ersten Schritt wird hierzu ein „presenter“-Objekt erstellt, welches die ID „draw-canvas“ des Canvas-Elements erhält. Daraufhin wird die Funktion „setScene“ eingebunden, die es ermöglicht, ein 3D-Modell zu laden und zu visualisieren. Dabei wird unter „meshes“ das Modell eingelesen und erzeugt. Folglich muss in diesem Abschnitt auch der richtige Dateipfad zu dem 3D-Modell angegeben werden, in diesem Fall lautet dieser: „models/Pallert.nxz“. Das neue mesh-Objekt erhält den Namen „Pallert3D“. Unter „modelInstances“ wird die Instanz „model“ erstellt, welche sich auf das zuvor deklarierte Modell „Pallert3D“ bezieht. Dadurch weiß der Viewer, welches Modell gerendert werden soll. Als nächstes wird der „trackball“ in der Funktion definiert. Darin wird beschrieben, in welcher Ansicht das 3D-Modell geladen wird, wenn der Nutzer die Seite aufruft. Außerdem wird hier mit „minMaxAngleX“ und „minMaxAngleY“ eingestellt, wie weit der Benutzer das Modell in welche Richtung drehen kann. Mit „minMaxDist“ legt das Programm fest, wie weit rein- beziehungsweise rausgezoomt werden kann.

In Abbildung 59 ist als erstes die Definition der Funktion „actionsToolbar(action)“ zu sehen. Darin ist die Umsetzung der eingebundenen Funktionen der Toolbar realisiert. Darauf folgt die JavaScript-Funktion „onEndMeasure“, welche die Ausgabe der Ergebnisse des Messtools definiert.

```
function actionsToolbar(action) {
  if(action=='home')
    presenter.resetTrackball();
  else if(action=='zoomin')
    presenter.zoomIn();
  else if(action=='zoomout')
    presenter.zoomOut();
  else if(action=='light' || action=='light_on') {
    presenter.enableLightTrackball(!presenter.isLightTrackballEnabled()); lightSwitch(); }
  else if(action=='measure' || action=='measure_on') {
    presenter.enableMeasurementTool(!presenter.isMeasurementToolEnabled()); measureSwitch(); }
  else if(action=='full' || action=='full_on')
    fullscreenSwitch();
}

function onEndMeasure(measure, p1, p2) {
  $('#measure-output').html(measure.toFixed(2) + " m");
  $('#measure-output').append("<hr>"+"Höhe P1: [ "+p1[2].toFixed(2)+" ]");
  $('#measure-output').append("<br>"+"Höhe P2: [ "+p2[2].toFixed(2)+" ]");
}
$(document).ready(function(){
  init3dhop();

  setup3dhop();

  resizeCanvas(1000,800);
});
</script>
</html>
```

Abbildung 59: JavaScript Funktion "actionsToolbar(action)“

Am Ende wird der Viewer mit der Funktion „init3dhop()“ initialisiert und durch „setup3dhop()“ mit den zuvor übergebenen Werten die Canvas-Szene dargestellt. Dabei definiert „resizeCanvas“ die Größe des Canvas-Elements.

### 9.3 Ergebnis

Als Ergebnis erhält man eine übersichtliche Ansicht des Weinberges aus dem Verfahren Bernkastel-Pallert (Abbildung 60). Der Nutzer kann das mit Hilfe von 3DHOP initialisierte 3D-Modell über einen Webbrowser aufrufen und interaktiv betrachten.



Abbildung 60: Darstellung des Modells mit 3DHOP

Weiterhin kann er über das Messtool Strecken direkt aus dem Modell abgreifen und bekommt gleichzeitig die Höhen der beiden ausgewählten Punkte angezeigt (Abbildung 61).

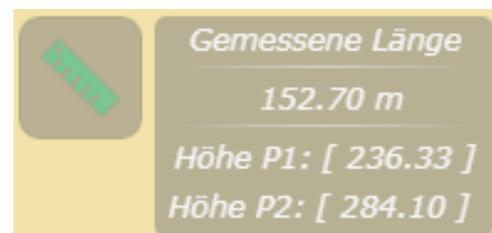


Abbildung 61: Messtool

## 10 3D-Druck

Der 3D-Druck erhält schon seit einigen Jahren Einzug in Bereiche der privaten und industriellen Nutzung. Bei einem 3D-Druck, der auch als additive Fertigung bezeichnet wird, wird ein Objekt Schicht für Schicht aufgebaut und fertiggestellt. Dazu nutzen 3D-Drucker verschiedene Techniken, bei denen unterschiedliche Materialien zum Einsatz kommen. Es können sowohl feste Substanzen, als auch flüssige Photopolymere oder Pulver genutzt werden.<sup>51</sup>

Für das in Kapitel 8.2.5 erstellte Modell wird ein 3D-Druck angefertigt und dessen Nutzwert für die Neuplanung von Steillagengebieten des Weinbaus diskutiert.

### 10.1 Verwendeter Drucker

Für den Druck des 3D-Modells wird der DIY-Drucker (Do-it-yourself-Drucker) „Ender-3 Pro“ von Creality 3D verwendet (Abbildung 62). Er ist gut für Anfänger geeignet und bringt dennoch gute Ergebnisse. Mit rund 250 € ist der Ender-3 Pro im unteren Preissegment von 3D-Druckern angesiedelt. Er besitzt Außenmaße von 440 x 410 x 465 mm und kann Objekte mit einer Größe von 220 x 220 x 250 mm formen.



Abbildung 62: 3D-Drucker Ender-3 Pro

(Quelle: [https://cdn.shopify.com/s/files/1/0064/6486/4303/products/1\\_c94387ed-60a8-4878-965f-4f8e868f29c7\\_1024x1024@2x.jpg?v=1550823213](https://cdn.shopify.com/s/files/1/0064/6486/4303/products/1_c94387ed-60a8-4878-965f-4f8e868f29c7_1024x1024@2x.jpg?v=1550823213))

---

<sup>51</sup> Vgl. [3faktor (2020)]

Er verwendet die Modellierungstechnologie „Fused Deposition Modeling“, was auch als Schmelzschichtungsverfahren bezeichnet wird. Dabei wird das zu druckende dreidimensionale Objekt schichtweise aus einem schmelzfähigen Kunststoff „gedruckt“.<sup>52</sup> Die 0,4 mm dicke Düse kann bis maximal 255 °C aufgeheizt werden und bringt das Material in einer Stärke von 0,1 bis 0,4 mm auf das Druckbett auf. Der DIY-Drucker weist eine Fahrgeschwindigkeit von bis zu 180 mm/s auf und erreicht eine Genauigkeit von +/- 0,1 mm. Die Software des Gerätes unterstützt die Formate STL, OBJ und G-Code, die über ein USB-Kabel oder eine Micro-SD-Karte übertragen werden können.

Der Ender-3 Pro wird mit einem zertifizierten Netzteil der Marke Mean Well betrieben, welches das Heizbett in nur fünf Minuten auf 110 °C aufheizen kann und den Drucker zusätzlich vor unerwarteten Stromstößen schützt. Die magnetische Bauflächenplatte sorgt für eine gleichmäßige Verteilung der Temperatur auf der Druckplatte und sorgt gleichzeitig dafür, dass die Modelle nach dem Abkühlen einfach entfernt werden können. Sollte die Stromzufuhr des DIY-Druckers während einer Sitzung unerwartet unterbrochen werden, wird der Druck an der zuletzt aufgezeichneten Position des Extruders fortgesetzt.<sup>53</sup>

In Tabelle 6 werden die wichtigsten Merkmale des Creality3D Ender-3 Pro aufgeführt:

Modellierungstechnologie:	Fused Deposition Modeling
Druckformat:	220 x 220 x 250 mm
Maschinengröße:	440 x 410 x 465 mm
Maximale Fahrgeschwindigkeit:	180 mm/s
Filament:	1,75 mm ABS/PLA, Kohlefaser, Holz, PA
Strom Input:	100 – 265 V
Strom Output:	24 V 360 W
Schichtdicke:	0,1 - 0,4 mm
Düsendurchmesser:	0,4 mm
Genauigkeit:	+/- 0,1 mm
Dateiformat:	OBJ, G-Code, STL
Maximale Düsentemperatur:	255 °C
Maximale Heizbetttemperatur:	110 °C

Tabelle 6: Druckerparameter [Vgl. Creality 3D (2020)]

<sup>52</sup> Vgl. [medfab.de (2020)]

<sup>53</sup> Vgl. [Creality 3D (2020)]

## 10.2 Vorbereitung

Bevor mit dem Druck begonnen werden kann, müssen noch einige Vorbereitungen getroffen werden. Als erstes muss das 3D-Modell in das richtige Format gebracht werden, dazu wird es über Agisoft Metashape als STL-Datei exportiert.

Nachdem die Datei in die Drucksoftware „Ultimaker Cura“ (Version 4.6.1) geladen wurde, fiel auf, dass das Programm das Objekt nicht richtig darstellt. Aus diesem Grund wurde die STL-Datei in der Open-Source-Software „FreeCAD“ (Version 0.18.4) bearbeitet. Dabei mussten Löcher geschlossen und die Datenmenge um 98 % reduziert werden. Anschließend konnte die Druckvorschau in Ultimaker Cura richtig präsentiert werden. In Abbildung 63 ist der virtuelle Vorgang des Druckes dargestellt.

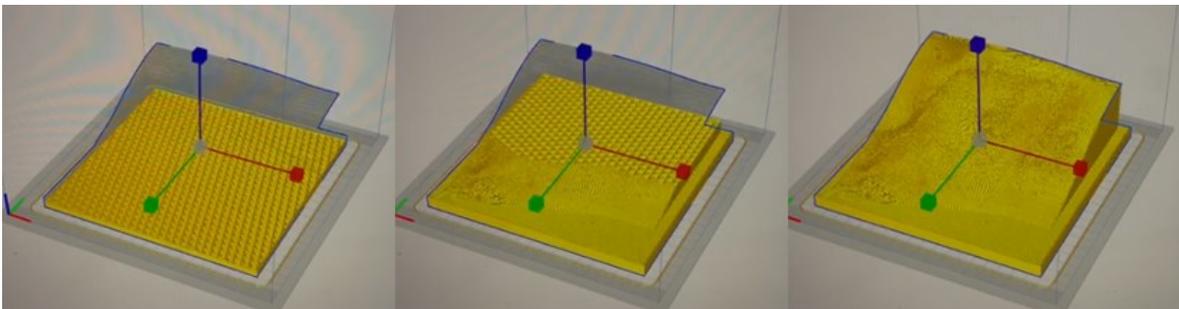


Abbildung 63: Druckvorschau

Weiterhin muss das Filament, also der Kunststoff, mit dem gedruckt wird, gekauft werden. Dazu wurde der biologisch abbaubare Kunststoff PLA (Polymilchsäure) der Marke Maertz gekauft. Das weiße Kabel hat einen Durchmesser von 1,75 mm und weist einen Schmelzpunkt zwischen 195 bis 215 °C auf. Die 750 Gramm schwere Rolle kostet 19,95 €. <sup>54</sup>

Bevor der Druck im größtmöglichen Format durchgeführt wird, ist es sinnvoll, einen Probedruck in kleinerem Maßstab durchzuführen. Dabei fiel auf, dass durch die Höhe des Objektes größere Spannungen im unteren Bereich auftraten, welche zu Deformationen führten. Infolgedessen wurde der Sockel vergrößert, damit sich die Kräfte besser verteilen und nicht auf das Modell auswirken.

Anschließend war das 3D-Modell zum Drucken bereit.

---

<sup>54</sup> [IGO3D (2020)]

### 10.3 Der Druckvorgang

Nachdem die vorbereitenden Maßnahmen abgeschlossen sind, kann mit dem Druckvorgang begonnen werden. Dazu wird der 3D-Drucker über ein USB-Kabel mit dem Computer verbunden. Anschließend kann die Software Ultimaker Cura gestartet werden. In dem Programm wird das Modell geladen und der Druck gestartet.

Der 3D-Drucker beginnt sofort mit dem Aufheizen der Druckplatte und der Druckdüse. Nach knapp fünf Minuten ist das Vorlaufprogramm abgeschlossen und die Druckbereitschaft wird angezeigt. Anschließend beginnt der Drucker, die erste Schicht des Sockels zu drucken. Dabei fährt der Druckkopf nur nach rechts und links. Damit nicht nur auf einer Linie gedruckt wird, bewegt sich zusätzlich die Druckplatte vor und zurück.

In Abbildung 64 sind der Druckkopf und die Druckplatte des Ender-3 Pro während des Druckvorgangs zu sehen.



Abbildung 64: Druckvorgang

Grundsätzlich arbeitet der 3D-Drucker ohne weitere Eingriffe des Benutzers, sofern genug Nachschub an Filamenten eingespeist werden kann. Weiterhin ist es möglich, den Druck an einer definierten Stelle zu unterbrechen, sodass mit einer anderen Farbe weiter gedruckt werden kann.

Nach knapp 20 Stunden war der Druckvorgang abgeschlossen. In Abbildung 65 ist das fertige 3D-Modell abgebildet, welches eine Größe von 16 cm x 16 cm mit einer maximalen Höhe von 5 cm aufweist. Das Ergebnis hat ein Gewicht von 209 Gramm, sodass folglich ca. 3,5 Modelle aus den verwendeten Filamenten erzeugt werden können. Ohne den Probedruck belaufen sich die Materialkosten auf 5,70 € pro Stück.

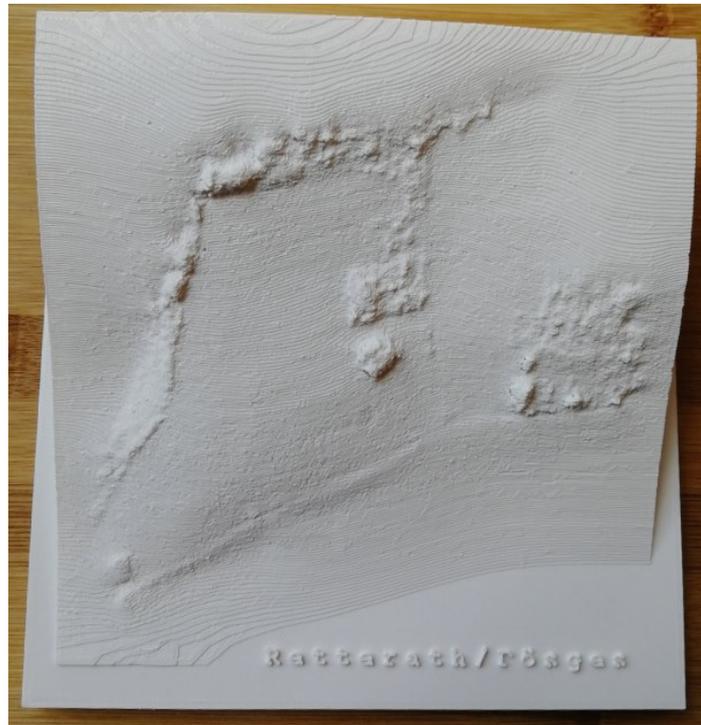


Abbildung 65: Fertiger 3D-Druck

#### 10.4 Sinn und Zweck des Druckes

In diesem Unterkapitel wird der Mehrwert für die Planung durch das gedruckte 3D-Modell untersucht und diskutiert. Dabei wird vorweg angenommen, dass dies für die Planung von Stellengebieten sinnvoll sein könnte, jedoch nicht für die Flachlage.

Es stellt sich die Frage, ob der Druck dabei hilft, kritische Planungen genauer zu analysieren und zu erkennen. Theoretisch ist es denkbar, dass zum Beispiel Mauern durch das Modell besser wahrgenommen werden als am Bildschirm. Möglicherweise würde der Sachgebietsleiter dadurch einen Weg oder eine Mauer anders planen.

Aufgrund der sehr starken Datenreduzierung von 98 % ist der Druck nicht detailgetreu. Die vorhandenen Mauern sowie die Straße sind nur ansatzweise zu erkennen. Folglich macht ein 3D-Druck in dieser Qualität für die Planung keinen Sinn. Es kann angenommen werden, dass auch eine deutlich bessere Qualität keinen Mehrwert für die Planung bringt, zumal die Kosten für die Anschaffung des Druckers und der personelle Aufwand zu hoch sind.

Zusammengefasst führt das zu dem Ergebnis, dass der Druck eines 3D-Modells für die Planung von Weinbergungsverfahren keinen Mehrwert bringt und ein Einsatz im Rahmen einer Flurbereinigung nicht zu empfehlen ist.

## 11 Vergleich der Planungsgrundlagen

Die Daten der Technischen Zentralstelle bilden die wesentlichen Planungsgrundlagen, die in den Flurbereinigungsverfahren genutzt werden. Die Orthophotos werden als Grundlage während des gesamten Verfahrens genutzt, sodass Punkte digitalisiert werden können, die der Katastergenauigkeit entsprechen. Eine Bodenauflösung von 5 bis 7 cm reicht aus, um im PuDig-Verfahren Sollpunkte zu erstellen.<sup>55</sup> Die Orthophotos der Vermessungs- und Katasterverwaltung mit einer Auflösung von 20 cm können dabei lediglich als Unterstützung genutzt werden, um beispielsweise eine andere Ansicht von einem bestimmten Bereich zu erhalten. Neben den eigens erstellten Orthophotos übergibt die Technische Zentralstelle das überarbeitete DGM 5 den Dienstleistungszentren, welches als wesentliche Berechnungsgrundlage der Massenermittlungen dient.

Die Daten der Vermessungs- und Katasterverwaltung bilden für Flurbereinigungsverfahren ebenfalls eine wichtige Grundlage. Neben dem DGM werden auch die Daten von ALKIS als Basis verwendet. Die Open-Data Produkte können als Unterstützung genutzt werden. Meist sind diese jedoch in der Qualität nicht so hochwertig wie die Daten, die nicht frei zur Verfügung stehen. So wird die Schummerungskarte beispielsweise nur bis zu einer Bodenpixelgröße von 10 m frei zur Verfügung gestellt, während die 1 m-Schummerungskarte kommerziell ist, den Dienstleistungszentren aber übermittelt wird. In der Schummerungskarte der VermKV mit einem Meter Bodenpixelauflösung lassen sich, trotz der wesentlich höheren Auflösung, Mauern oder ähnliches nur grob erkennen. In

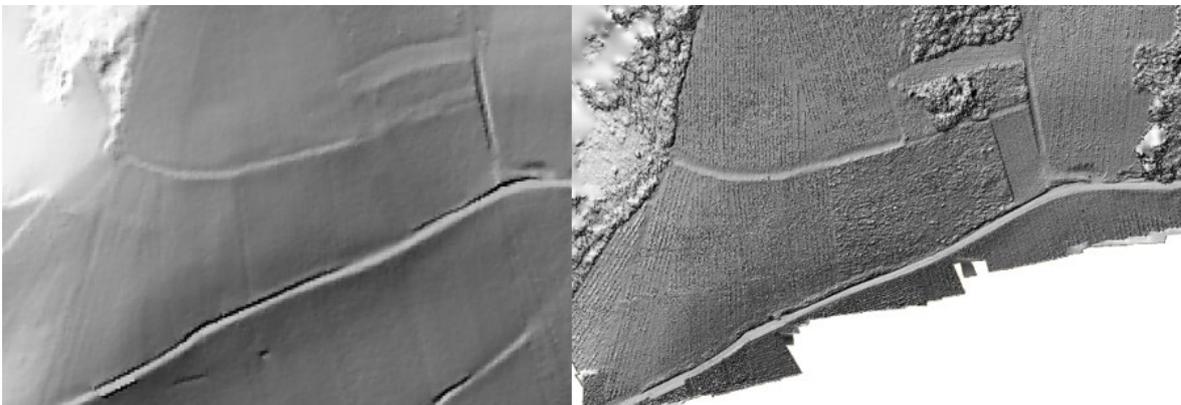


Abbildung 66: Vergleich der Schummerungen

---

<sup>55</sup> Vgl. [Theisen (2020b)]

Abbildung 66 ist die kommerzielle 1 m-Schummerung als auch die Schummerung des Oberflächenmodells aus dem Drohnenflug in dem Maßstab 1:1000 zu sehen.

Für eine detaillierte Ansicht reicht die Schummerung aus dem DGM 1 nicht aus, da hier auch die Rasterdaten, ab einem Maßstab von 1:1000, zu verpixelt dargestellt werden. Anhand der Schummerung aus der Befliegung mit einer Auflösung von 4 cm lassen sich auch kleinere Details erkennen. Das Problem ist jedoch, dass es sich hierbei nicht um ein DGM, sondern um ein DOM handelt. Das bedeutet, dass bewachsene Bruchkanten oder Wege häufig nicht ersichtlich sind.

Aus der Drohnenbefliegung werden ein 3D-Modell, ein Höhenmodell und ein Orthophoto generiert. Dadurch können in kurzer Zeit aktuelle Daten erhoben werden, die besonders in geologisch bewegten Gebieten einen Vorteil für die Flurbereinigung bringen können.



Abbildung 67: Vergleich der Orthophotos im Maßstab 1:100

In Abbildung 67 ist der direkte Vergleich der Orthophotos der TZ und des Drohnenflugs im Maßstab 1:100 zu sehen. Dabei sind die Unterschiede der Auflösung deutlich zu erkennen. In den aus der UAV-Befliegung erzeugten Orthophotos sind einzelne Fugen zwischen den

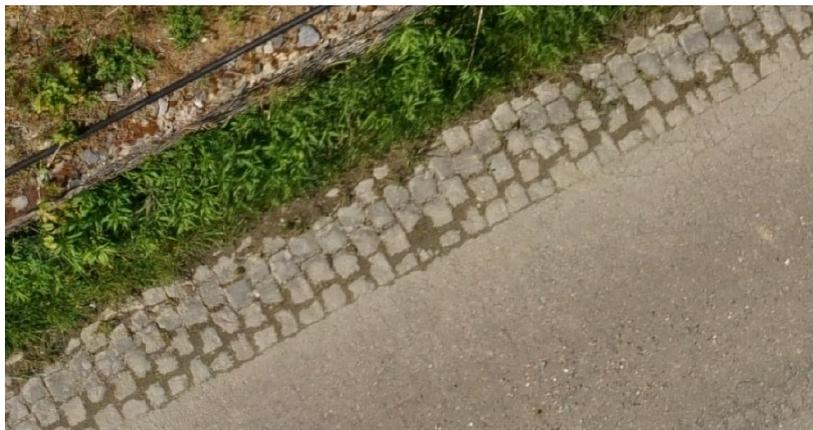


Abbildung 68: Orthophoto des Drohnenflugs im Maßstab 1:12

Pflastersteinen zu erkennen (Abb. 68), was bei dem Datensatz der TZ aufgrund der geringeren Auflösung nicht möglich ist.

Beim weiteren Betrachten der Daten des Drohnenflugs fällt auf, dass aufgrund der Berechnung des Orthophotos aus dem Oberflächenmodell Fehler in einigen Bildbereichen vorhanden sind. Im südwestlichen Bereich wird so zum Beispiel eine Mauerkante verzerrt dargestellt oder einzelne Rebstöcke werden mehrfach abgebildet. Hier müsste alternativ geprüft werden, ob das Orthophoto fehlerfrei erstellt werden kann, wenn es auf Grundlage des DGM berechnet wird. Des Weiteren gibt es Abweichungen zwischen den Sollkoordinaten und den abgegriffenen Koordinaten aus dem Orthophoto, welche ungefähr 4 cm betragen. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass mit Drohnenflügen nie ganze Verfahren, sondern immer nur Teilbereiche befliegen werden können. Das Teilstück des Verfahrens Bernkastel-Pallert ist nach Angaben der Mitarbeiter des i3mainz mit circa 5 Hektar eine der flächenmäßig größten Befliegungen, die sie jemals durchgeführt haben. Der Flug beanspruchte sieben Akkus beziehungsweise Akkuladungen.

Alternativ könnte eine Drohne mit integriertem Laserscanner einen Mehrwert bringen, so könnte ein aktuelles DGM erzeugt werden, welches in Rutschbereichen, das im neunjährigen Turnus erneuerte DGM der Vermessungs- und Katasterverwaltung ersetzen kann. Hierfür eignen sich beispielsweise Laserscanner, die an jede handelsübliche Drohne angebracht werden können.

## 11.1 Vergleich mit dem Wege- und Gewässerplan

In diesem Kapitel wird das 3D-Modell mit dem bestehenden Entwurf des Wege- und Gewässerplanes verglichen und anhand dieses Vergleiches die Zweckmäßigkeit des Modells diskutiert.

In Abbildung 69 ist mit blauer Umrandung der Teilausschnitt des Entwurfs des Wege- und Gewässerplanes zu sehen, der bei der Drohnenbefliegung erfasst wurde. Die Schraffur bedeutet, dass dieser Bereich geplant wird. Gleichzeitig wird mit den roten Dreiecken im nördlichen Bereich kenntlich gemacht, dass hier eine Aufschüttung erfolgen soll. Im nördlichen Teil soll ebenfalls ein Erdweg (gelb), an den bereits existierenden Fahrspuren gebaut werden. Im mittleren Bereich ist ein neu geplanter Weg zu erkennen, der in verschiedenen Befestigungsarten gebaut werden soll. Ab circa der Hälfte der Ausbaulänge

soll dieser über den bereits existierenden Raupenweg weitergeführt werden und in einem Wendehammer enden.

Die Mauern im südlichen Bereich sollen entfernt und neu gebaut werden. Der daran angrenzende, bituminös befestigte Weg soll überarbeitet werden und eine Ausweichstelle erhalten.

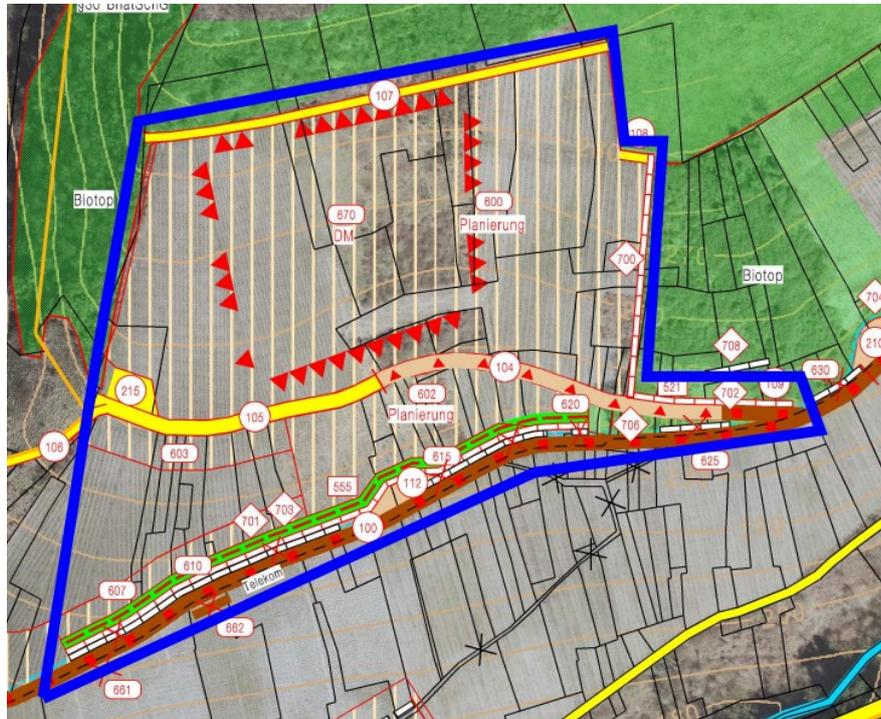


Abbildung 69: Teilausschnitt des Wege- und Gewässerplans Bernkastel-Pallert  
(Quelle: DLR Mosel)

Bei der Erstellung des Wege- und Gewässerplanes wird im Wesentlichen auf die Orthophotos und die Höhenlinien zurückgegriffen. Eine Drohnenbefliegung kann daher in Steillagenverfahren aufgrund der steilen Hänge und der generellen Komplexität der Verfahren einen geringen Mehrwert bei der Planung bringen.

Als zusätzliche Planungsinformation hätte das 3D-Modell hier zur Planung beitragen können, da man darin die vorhandenen Mauern gut erkennen kann. Hätte die Befliegung vor Laubausbruch stattfinden können, wäre es aufgrund der hohen Auflösung möglich gewesen, Objekte auch unter dem Bewuchs zu erkennen. Dadurch kann der Außendienst eingespart werden, durch den in komplexen, unübersichtlichen Verfahren die Mauern kartiert werden.

Außerdem sind im Modell Hoch- und Tiefpunkte im Gelände zu erkennen, die mittels Planierungsarbeiten angeglichen werden sollen. Diese Flächen sind im Wege- und Gewässerplan bereits als Planierungsflächen gekennzeichnet, sodass sich keine Änderungen

durch die Zusatzinformationen ergeben. Als problematisch erweist sich hierbei jedoch, dass das Modell ein Oberflächenmodell ist, welches das Gelände mit Bewuchs beschreibt. Dadurch werden Geländehöhen im Vergleich zu denen des DGMs verfälscht. Außerdem ist ab einer gewissen Bewuchshöhe die Geländeform nicht mehr ersichtlich.

Anhand der generierten Schummerung lassen sich die Wege zwar besser erkennen als in der Schummerungskarte aus dem DGM 1, dies bringt jedoch weder einen Mehrwert bei der Bestandserhebung, noch bei der Planung des Wege- und Gewässerplans.

Durch die dreidimensionale Ansicht des Verfahrensgebietes entsteht ein anderer Eindruck des Gebiets als durch die normalen Orthophotos. So kann das Gelände im Innendienst besser interpretiert werden.

Abschließend kann gesagt werden, dass anhand des 3D-Modells und den weiter abgeleiteten Daten, keine abweichende Planung des Wege- und Gewässerplans erfolgt wäre.

## 11.2 Vergleich der Modellierung mit und ohne Schrägbildaufnahmen

Neben den Senkrechtbildern wurden ebenfalls Schrägbildaufnahmen erzeugt, die entgegengesetzt des Hanggefälles aufgenommen wurden. Dabei wurde gezielt der untere Bereich der Straße mit den vorhandenen Mauern erfasst. Bei der Berechnung der dichten und dünnen Punktwolke sowie des Meshs und dessen Textur führen diese zu einer verbesserten Verarbeitung. In Abbildung 70 ist das aufgenommene Schrägbild zu sehen, aus



Abbildung 70: Schrägbildaufnahme

dem das texturierte 3D-Modell, wie in Abbildung 71 dargestellt, entsteht. Dabei ist deutlich zu erkennen, dass die Textur im Bereich der Mauern durch die Schrägbildaufnahmen mit einer hohen Auflösung generiert werden kann. So können beispielsweise, je nach Mauerart, die verschiedenen Steine oder Risse erkannt werden.

Im Vergleich dazu, ist in Abbildung 72, das texturierte 3D-Modell ohne die Einzbeziehung der Schrägaufnahmen zu sehen. Darin sind sowohl deutliche Verzerrungen an den Mauern, als auch die fehlerhafte Berechnung der Farbwerte für die Textur zu erkennen. Durch die Schrägbildaufnahmen kann die dreidimensionale Auswertung wesentlich besser erfolgen, da die Geländeform aus anderen Winkeln beschrieben wird und somit die Dreidimensionalität besser ausgewertet werden kann. Bereits bei einem Vergleich der dünnen und der dichten Punktwolke wird ein Informationsverlust deutlich.



Abbildung 71: 3D-Modell mit Schrägbildaufnahme



Abbildung 72: 3D-Modell ohne Schrägbildaufnahme

Anhand dieser Modelle kann daher gesagt werden, dass eine Aufnahme von Weinbergsflurbereinigungen nur mit zusätzlich aufgenommenen Schrägbildaufnahmen zu einem zufriedenstellenden Ergebnis führt.

### 11.3 Wirtschaftlichkeit

In der Anschaffung hat die verwendete Octocopter Drohne RKM 8X von RotorKonzept 32.000 € gekostet. In dem Preis sind Kopter, Fernsteuerung, Ladegerät „mobil“, Live-Monitor, Propellersatz, GNSS-Modul, Laserentfernungsmesser, Vollformatkamera Sony Alpha 7 R, 10 Lithium Polymer-Akkus (ca. 180 €/Stück), Ladegerät „professionell“ und eine Grundlagenschulung für eine Person enthalten<sup>56</sup>. Anstatt eine Drohne zu kaufen, könnte über eine Ausschreibung ein Büro mit der Befliegung beauftragt werden.

Bei einer Gegenüberstellung der Kaufoption und einer Beauftragung eines Büros wird mit einer Abschreibungsdauer von fünf Jahren für die Drohne gerechnet. In der folgenden Tabelle 7 werden die einzelnen Kosten für die Befliegung mit eigener Drohne mit den Kosten eines beauftragten Unternehmens verglichen.

Kosten Befliegung mit eigener Drohne			Kosten Befliegung durch Unternehmen		
	5 Jahre	pro Einsatztag		5 Jahre	pro Einsatztag
Drohne	32000 €	320,00 €	Drohne	32000 €	128,00 €
Versicherung	375 €	3,75 €	Versicherung	375	1,50 €
Verschleiß		5,00 €	Verschleiß		5,00 €
			Zwischensumme		134,50 €
Personalkosten		444,96 €	multipliziert mit 4 (sonstige Kosten + Gewinn)		538,00 €
			Personalkosten		480,00 €
Kosten Flug		<u>773,71 €</u>	Kosten Befliegung		<u>1018,00 €</u>
Kosten Auswertung			Kosten Auswertung		
	5 Jahre	pro Einsatztag		5 Jahre	pro Einsatztag
Software	6645 €	66,45 €	Software	6645 €	26,58 €
Personalkosten		444,96 €	Pauschalbetrag (sonstige Kosten + Gewinn)		200,00 €
			Personalkosten		480,00 €
Kosten Auswertung		<u>511,41 €</u>	Kosten Auswertung		<u>680,00 €</u>
Gesamtkosten: <u>1285,12 €</u>			Gesamtkosten: <u>1698,00 €</u>		

Tabelle 7: Kostenermittlung UAV-Befliegung mit eigener Drohne/Beauftragung

Bei einem Kauf des UAV für die Flurbereinigungsverwaltung wird mit einer Auslastung von 20 Tagen pro Jahr gerechnet, da hier berücksichtigt werden muss, dass eine Drohnenbefliegung nur für Weinbergverfahren sinnvoll ist und im Idealfall vor Laubausbruch befliegen wird. Dabei können am Tag ca. 13 ha befliegen werden, sodass das UAV bei größeren Verfahren mehrere Tage im Einsatz ist. Mit der Abschreibungsdauer von

<sup>56</sup> Vgl. [Klonowski (2020)]

5 Jahren und den angenommenen Einsatztagen, müsste für die Drohne mit Kosten von 320 €/Einsatztag gerechnet werden. Dazu kommen noch die Versicherung und der Verschleiß. Bei Versicherungskosten von 75 €/Jahr ergeben sich so 3,75 € pro Einsatztag. Der Verschleiß wird mit 5 €/Einsatztag angenommen. Zusätzlich dazu kommen die Personalkosten, die sich aus einem Rundschreiben des Finanzministeriums im zweiten Einstiegsamt auf 55,62 €/Std. belaufen<sup>57</sup>. Das ergibt pro Arbeitstag Personalkosten in Höhe von 444,96 €. Somit ist lediglich für den Flug mit Kosten von 773,71 €/Einsatztag zu rechnen.

Für die Auswertung werden die entsprechende Software, Agisoft Metashape, als Netzwerkvollversion mit PhotoScan Grundlagen Training mit Kosten von 6.645 € benötigt<sup>58</sup>. Auf einen Arbeitstag berechnet ergibt dies 66,45 €. Erneut kommen Personalkosten von 444,96 € hinzu, was zu Kosten in der Auswertung von 511,41 €/Einsatztag führt. Für einen Tag Befliegung mit einem Arbeitstag Auswertung entstehen so Kosten in Höhe von 1.285,12 €.

Bei einer Beauftragung eines Büros zur Befliegung kann von einer höheren Zahl an Einsatztagen pro Jahr ausgegangen werden, da die Drohne auch für andere Ingenieurvermessungen eingesetzt werden kann. In der Rechnung werden somit 50 Arbeitstage pro Jahr angenommen. Entsprechend den Arbeitstagen und einer Abschreibungsdauer von 5 Jahren ergeben sich 128,00 €/Einsatztag.

Hinzu kommen pro Einsatztag Versicherungskosten von 1,50 € und ein pauschaler Betrag von 5,00 € für den Verschleiß. In der Zwischensumme ergibt dies Kosten in Höhe von 134,50 € pro Tag, den die Drohne im Einsatz ist. Unter Berücksichtigung der Gewinnerzielung, wird die Zwischensumme mit dem Faktor vier multipliziert. Zuzüglich der Personalkosten belaufen sich die Gesamtkosten der Befliegung auf 1.018 €/Einsatztag. Dabei wird ein Stundenlohn für einen Vermessungstechniker von 60 € angenommen.

Bei der Auswertung ergeben sich Kosten für die Software von 26,58 €/Einsatztag. Um sonstige Kosten abzudecken und um Gewinn zu erzielen, wird ein Pauschalbetrag von 200,00 € angenommen. Zuzüglich der Personalkosten ergeben sich für die Auswertung

---

<sup>57</sup> Vgl. [Rundschreiben des Ministeriums der Finanzen (2017)]

<sup>58</sup> Vgl. [Software3D (2020)]

Kosten in Höhe von 680,00 € pro Einsatztag. Folglich ergeben sich bei Beauftragung für einen Tag Befliegung und einen Tag Auswertung Kosten von 1.698,00 €.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde das 5 ha große Gebiet in drei Stunden befliegen. Somit werden im Schnitt 36 Minuten für einen Hektar benötigt. Für den gesamten 16 ha großen Steillagenbereich des Verfahrens Bernkastel-Pallert hätte die Befliegung folglich neun Stunden und 36 Minuten gedauert. Daraus ergeben sich für die Durchführung mit

Gesamtkosten Bernkastel-Pallert		
	eigene Durchführung	Beauftragung
Befliegung	930,00 €	1220,00 €
Auswertung	1023,00 €	1360,00 €
Gesamtkosten	<u>1953,00 €</u>	<u>2580,00 €</u>

Tabelle 8: Gesamtkosten der Befliegung & Auswertung für die Weinlage des Verfahrens Bernkastel-Pallert

eigener Drohne Kosten in Höhe von ca. 930,00 € und bei Beauftragung einer Firma würde die Befliegung mindesten 1.220,00 € kosten. Im Vergleich dazu, war die Befliegung im Auftrag der TZ mit ungefähr 80 € für 16 ha um das 11- beziehungsweise 15-fache günstiger.

Die photogrammetrische Auswertung hat für 5 ha, ohne die Rechenzeit des Programms, acht Arbeitsstunden in Anspruch genommen, deshalb ist bei 16 ha mit einer Arbeitszeit von ca. 16 Stunden zu rechnen. Die daraus resultierenden Kosten liegen bei der Auswertung bei 1.023,00 beziehungsweise 1.360,00 €. Wie in Tabelle 8 dargestellt, belaufen sich die Gesamtkosten bei eigener Durchführung auf 1.953,00 € und bei einer Beauftragung auf mindestens 2.580,00 €.

Vergleichsweise wurde ein Angebot der Firma LOXGON GmbH & Co. KG eingeholt, bei dem sich die Kosten für 16 ha auf 2.080,00 € belaufen. Dabei werden jedoch nur eine georeferenzierte Punktwolke und ein georeferenziertes Orthophoto geliefert. Zusätzlich können gegen einen Aufpreis verschiedene Modelle wie beispielsweise ein DGM oder ein DOM generiert werden.<sup>59</sup>

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass eine Durchführung der UAV-Befliegung mit eigener Drohne deutlich günstiger ist, dafür muss die Drohne allerdings an mindestens 20 Tagen pro Jahr im Einsatz sein. Aufgrund des geringen Mehrwerts, den die Drohnenbefliegung bringt, ist diese im Hinblick auf die hohen Kosten jedoch nicht wirtschaftlich sinnvoll einsetzbar.

<sup>59</sup> Vgl. [LOGXON (2020)]

## 12 Fazit

Die im Rahmen dieser Bachelorarbeit durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass der Einsatz modernster Drohnentechnologie, in bestimmten Bereichen von Flurbereinigungsverfahren in den Steillagen einen geringen Mehrwert bringen kann, aber die Kosten nicht im Verhältnis zum Nutzen stehen.

In der Anschaffung kostet die verwendete Drohne mit Equipment 32.000 €, darin sind jedoch weder die Software- noch die Personalkosten eingerechnet. Unter Berücksichtigung der Personalkosten wäre der Kauf einer Drohne im Vergleich zu einer Beauftragung eines Unternehmens rentabler, dabei muss die Drohne jedoch 20 Einsatztage pro Jahr haben. Gleichzeitig können große Flurbereinigungsverfahren nicht an einem Tag befliegen werden, da die Drohne eine niedrige Flughöhe aufweist und somit nur maximal 13 ha pro Tag erfassen kann.

Im Hinblick auf Kosten und Nutzen bringt der Einsatz moderner Drohnentechnologie keinen Mehrwert, da die Kosten der UAV-Befliegung im Vergleich zur Befliegung durch die Technische Zentralstelle um das 11- beziehungsweise 15-fache übertroffen werden und außerdem die UAV-Befliegung nur einen geringen Zusatznutzen bringt. Aus diesen Gründen ist der Einsatz von Drohnen für die Steillagenflurbereinigungen an der Mosel nicht geeignet.

Durch moderne Gerätegarnituren, wie die Drohne, können ein 3D-Modell, ein Oberflächenmodell, ein Höhenmodell sowie eine Schummerungskarte und ein Orthophotomosaik als ergänzende Planungsinformationen generiert werden. Die Schrägbildaufnahmen tragen dabei wesentlich zur detaillierteren Darstellung der verschiedenen Ergebnisse bei. Die daraus abgeleiteten ergänzenden Planungsinformationen sind für die Flurbereinigung jedoch nur begrenzt zweckerfüllend. So kann zum Beispiel über das 3D-Modell das PuDig-Verfahren optimiert werden, da durch die dreidimensionale Ansicht schleifende Schnitte verhindert werden. Weiterhin weist das aus der Befliegung generierte Orthophotomosaik eine deutlich höhere Genauigkeit auf als das der TZ.

In den verschiedenen Planungsstufen eines Flurbereinigungsverfahrens werden unterschiedliche Genauigkeiten der Planungsunterlagen benötigt, um eine gute Planung sicherstellen zu können.

Dabei sind die von der Drohne erreichten Genauigkeiten von bis zu 5 mm/px im Orthophotomosaik nicht notwendig. Um im PuDig-Verfahren Grenzen festzulegen, reichen die Orthophotos der Technischen Zentralstelle mit einer Auflösung von 5 bis 7 cm pro Pixel aus, da hierbei selten bei einer sehr kleinen Maßstabszahl digitalisiert wird. Die Genauigkeit des überarbeiteten DGM 5 ist für eine grobe Massenermittlung ausreichend, für die genauere Planung werden jedoch detailliertere Daten benötigt. Grundsätzlich könnte dafür das DGM 1 genutzt werden, welches aufgrund der hohen Datenmenge jedoch kaum zu überarbeiten ist und somit keine Planungsgrundlage in Flurbereinigungsverfahren bildet.

Aus den Daten der Vermessungs- und Katasterverwaltung werden für Planungen vor allem das erwähnte DGM 5 und die Höhenlinien genutzt. Dabei müssen jedoch im DGM 5 von der TZ immer Bruchkanten eingezeichnet, fehlerhafte Punkte gelöscht und Massepunkte erzeugt werden, damit sie als Planungsgrundlage geeignet sind. Die Höhenlinien, die aus dem DGM der VermKV erzeugt werden, bilden bereits ohne Nachbearbeitung eine wichtige Grundlage um das Gefälle des Geländes zu interpretieren. Weitere Daten der Vermessungs- und Katasterverwaltung können lediglich als unterstützende Planungsgrundlagen genutzt werden. So kann beispielsweise das Orthophoto dazu dienen, eine andere Ansicht eines Bereichs zu erhalten.

Die aus den Daten der VermKV abgeleiteten Planungsdaten bilden somit für die Planung eine wichtige Grundlage, müssen jedoch teilweise überarbeitet werden und reichen somit im Rohformat als Grundlage für ein Flurbereinigungsverfahren nicht aus. Um eine gute Planung sicherzustellen, müssen demnach weitere Planungsgrundlagen von der Flurbereinigungsbehörde geschaffen werden.

## 13 Literaturverzeichnis

- 3D-Gebäudemodelle (2018). 3D-Gebäudemodelle – Produktbeschreibung LVermGeo (Stand 08/2018)
- 3DHOP (2020). 3DHOP. <http://www.3dhop.net/index.php> (Datum des Zugriffs 02.07.2020)
- 3faktor (2020). Was ist 3D-Druck?. <https://3faktor.com/was-ist-3d-druck/> (Datum des Zugriffs 07.07.2020)
- Agisoft Metashape (2019). Agisoft LLC Metashape User Manual – Professional Edition, Version 1.5
- ALKIS (2020). Amtliches Liegenschaftskataster Informationssystem ALKIS. <https://lvermgeo.rlp.de/de/aufgaben/liegenschaftskataster/alkis/> (Datum des Zugriffs 30.06.2020)
- Amtliche Hauskoordinaten (2016). Liegenschaftskataster – Amtliche Hauskoordinaten - Produktbeschreibung LVermGeo (Stand 12/2016)
- Anleitung Mission Planner (2020). i3mainz, Anleitung zur Flugplanung in der Software Mission Planner (Version 1.3.68). Erste Fassung: 19.03.2020
- Basis DLM (2018). Basis-DLM (WFS) - Produktbeschreibung LVermGeo (Stand 03/2018)
- bDOM (2020). Digitales Oberflächenmodell, bildbasiert (bDOM) – Produktbeschreibung LVermGeo (Stand 03/2020)
- Bedienungsanleitung Leica CS20-GS16 (2017). Leica CS20-GS16-GNSS-Ausrüstung: Präzise RTK-Messungen mit dem Sapos Heps-Dienst via NTRIP (Internet). (Stand: 12/2017 – Maggi)
- Biotopvernetzung in der Landentwicklung (1990). Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten, Flyer Biotopvernetzung in der Landentwicklung.
- Brüderle, R (1997). WeinKulturLandschaft Mosel.
- Creality 3D (2020). Creality3D Ender-3 professionelle hochpräzise 3D-Drucker. [https://www.crealty3dshop.de/collections/3d-printer/products/creality3d-ender-3-pro-high-precision-3d-printer?gclid=EAIaIQobChMIyq6s3-q16gIVb4BQBh0pug2NEAAYAAEgIE7fD\\_BwE](https://www.crealty3dshop.de/collections/3d-printer/products/creality3d-ender-3-pro-high-precision-3d-printer?gclid=EAIaIQobChMIyq6s3-q16gIVb4BQBh0pug2NEAAYAAEgIE7fD_BwE) (Datum des Zugriffs 07.07.2020)
- Dateiendung (2020). .arw Dateiendung. <https://www.dateiendung.com/format/arw> (Datum des Zugriffs 02.06.2020)

- Digitalkamera-Magazin (2020). Sony Alpha 7R.  
<https://www.dkamera.de/datenblatt/sony-alpha-7r/> (Datum des Zugriffs 12.06.2020)
- DLR RNH (2020). Wir über uns. [https://www.dlr-rnh.rlp.de/Internet/global/inetcntr.nsf/dlr\\_web\\_full.xsp?src=4F2TE4E12E&p1=title%3DDie+Technische+Zentralstelle+-+%C3%9Cber+uns++%7E%7Eurl%3D%2FInternet%2Fglobal%2Fthemen.nsf%2F%28Web\\_DLR\\_RNH\\_Nullwert\\_WirUeberUnsBox%29%2F0CE52E1B3CB717FC1257CDF002FADD8%3FOpenDocument&p3=3VP S09OYDB&p4=QAAS868ZU6](https://www.dlr-rnh.rlp.de/Internet/global/inetcntr.nsf/dlr_web_full.xsp?src=4F2TE4E12E&p1=title%3DDie+Technische+Zentralstelle+-+%C3%9Cber+uns++%7E%7Eurl%3D%2FInternet%2Fglobal%2Fthemen.nsf%2F%28Web_DLR_RNH_Nullwert_WirUeberUnsBox%29%2F0CE52E1B3CB717FC1257CDF002FADD8%3FOpenDocument&p3=3VP S09OYDB&p4=QAAS868ZU6) (Datum des Zugriffs 08.06.2020)
- DLR-Mosel (2017). Projektbezogene Untersuchung Bernkastel Pallert.
- DOP (2016). Digitale Orthophotos (DOP) - Produktbeschreibung LVermGeo (Stand 12/2016)
- Drohnenverordnung (2020). Drohnen – die wichtigsten Regeln im Überblick  
[https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/LF/flyer-die-neue-drohnen-verordnung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/LF/flyer-die-neue-drohnen-verordnung.pdf?__blob=publicationFile) (Datum des Zugriffs 25.06.2020)
- DTK 100 (2017). Digitale Topografische Karte 1:100000 (DTK 100) - Produktbeschreibung LVermGeo (Stand 06/2017)
- DTK 25 (2017). Digitale Topografische Karte 1:25000 (DTK 25) - Produktbeschreibung LVermGeo (Stand 06/2017)
- DTK 5 (2017). Digitale Topografische Karte 1:5000 (DTK 5) - Produktbeschreibung LVermGeo (Stand 06/2017)
- DTK 50 (2017). Digitale Topografische Karte 1:50000 (DTK 50) - Produktbeschreibung LVermGeo (Stand 06/2017)
- Ergebnisniederschrift Ortstermin LGB (2017). Ergebnisniederschrift mit Ortstermin LGB und DLR. (23.01.2017)
- Geländemodelle (2018). Geländemodelle - Produktbeschreibung LVermGeo (Stand 08/2018)
- Geoplana (2020). Photogrammetrie. <https://www.geoplana.de/photogrammetrie.php> (Datum des Zugriffs 08.06.2020)
- IGO3D (2020). Maertz PLA Matt Filament. <https://www.igo3d.com/maertz-pla-filament-matt> (Datum des Zugriffs 07.07.2020)
- ISTI CNR (2020). <https://www.isti.cnr.it> (Datum des Zugriffs 04.07.2020)
- Klonowski, J. (2020). E-Mail-Auskunft zu Kosten Drohne. (02.07.2020)
- Kurz, K. (2017). Bericht zur geologischen Baubegleitung. (27.08.2017)

- Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung (2020). Messverfahren.  
<http://www.sapos-bw.de/messverfahren.php> (Datum des Zugriffs 27.05.2020)
- Landespflege (2020). Landespflege.  
<https://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/41aed7d5bdef0360c1256f5c0038c818/92c77297f763e4cdc1256f0a00478450?OpenDocument>  
(Datum des Zugriffs 27.05.2020)
- LANIS (2020) Landschaftsinformationssystem der Naturschutzverwaltung.  
[https://geodaten.naturschutz.rlp.de/kartendienste\\_naturschutz/index.php](https://geodaten.naturschutz.rlp.de/kartendienste_naturschutz/index.php)  
(Datum des Zugriffs: 17.06.2020)
- LOGXON (2020). E-Mail-Auskunft zu Kostenanfrage Drohnenbefliegung. (23.07.2020)
- LVerGeo (2020 a). Organisation.  
<https://lvermgeo.rlp.de/de/ueber-uns/organisation/> (Datum des Zugriffs 29.06.2020)
- LVerGeo (2020 b). SAPOS in Rheinland-Pfalz.  
<https://lvermgeo.rlp.de/de/aufgaben/vermessungstechnischer-raumbezug/saposr/saposr-in-rheinland-pfalz/> (Datum des Zugriffs 26.05.2020)
- MagicMaps (2020). Präzise Positionsbestimmung mit Hilfe von GPS / GNSS.  
<https://www.magicmaps.de/gnss-wissen/praezise-gps-messungen-mit-hilfe-von-dgps-und-rtk/> (Datum des Zugriffs 26.05.2020)
- medfab.de (2020). Fused Deposition Modeling (FDM). <http://medfab.de/3d-druck-verfahren/fused-deposition-modeling-fdm/> (Datum des Zugriffs 07.07.2020)
- Mission Planner (2020). Mission Planner Overview.  
<https://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-overview.html> (Datum des Zugriffs 20.05.2020)
- Pompe, J. (2020). PowerPoint Präsentation. Ausbildung der kombiniert Studierenden, Einsatz der Luftbildmessung in der ländlichen Bodenordnung.
- Produktbeschreibung DGM (2018). Geländemodelle – Produktbeschreibung LVerGeo (Stand 08/2018)
- Rogall, M. (2017). Geotechnische Stellungnahme Wolf zum Ortstermin am 02.03.2017. (23.03.2017)
- Rotor Konzept (2020). Octocopter Drohne RKM 8X.  
<https://www.rotorkonzept.de/octocopter-drohne-rkm-8x/> (Datum des Zugriffs 09.06.2020)

- Rundschreiben des Ministeriums der Finanzen (2017). Richtwerte für die Berücksichtigung des Verwaltungsaufwands bei der Festsetzung der nach dem Landesgebührengesetz zu erhebenden Verwaltungs- und Benutzungsgebühren. (22.08.2017)
- Sapos (2019). SAPOS-Dienste im Überblick. <https://www.sapos.de/dienste-im-ueberblick.html> (Datum des Zugriffs 26.05.2020)
- Schlüter, M. (2018a). Photogrammetrische Datenerfassung – Digitales Orthofoto
- Schlüter, M. (2018b). Photogrammetrische Datenerfassung - Stereonormalfall und Bildflugplanung
- Software3D (2020). Metashape Professional. <https://www.software3d.de/agisoft-metashape-pro.html?number=> (Datum des Zugriffs 09.07.2020)
- Spektrum (2020). Orthophotomosaik – Lexikon der Kartographie und Geomatik. <https://www.spektrum.de/lexikon/kartographie-geomatik/orthophotomosaik/3778> (Datum des Zugriffs 04.06.2020)
- Spektrum (2020). Orthophotomosaik. <https://www.spektrum.de/lexikon/kartographie-geomatik/orthophotomosaik/3778> (Datum des Zugriffs 15.06.2020)
- Statistisches Landesamt (2015). Statistisches Landesamt Rheinland - Pfalz. Statistische Monatshefte Rheinland-Pfalz. Heft 5. Fast ein Prozent der weltweiten Rebfläche liegt in Rheinland-Pfalz – Der Weinbau aus statistischer Sicht
- Theisen, M. (2020a). PowerPoint Präsentation. Ausbildung der kombiniert Studierenden, Einsatz der Luftbildmessung in der ländlichen Bodenordnung.
- Theisen, M. (2020b). Persönliches Telefonat. (10.06.2020)
- UAV Forecast (2020). <https://www.uavforecast.com/> (Datum des Zugriffs 12.05.2020)
- Vereinbarung Übermittlung Geobasisinformationen (2011). Vereinbarung zwischen der VermKV und dem MWVLW zur Übermittlung und Nutzung von Geobasisinformationen der Vermessungs- und Katasterverwaltung
- Wetterdienst (2020). Klima Bernkastel-Kues – Station Blankenrath. <https://www.wetterdienst.de/Deutschlandwetter/Bernkastel-Kues/Klima> (Datum des Zugriffs 27.05.2020)
- Witte und Schmidt (2006). Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen. 6. Auflage 2006
- Witte, B., & Sparla, P. (2015). Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen. Wichmann-Verlag

## 14 Anhang

### 14.1 Verfahrensgebiet Flurbereinigung Bernkastel-Pallert



## 14.2 Verzeichnisstruktur der digitalen Daten

Verzeichnis	Inhalt
\01_Messergebnisse	3D-Modell.jpg 3D-Modell.pdf 3D-Modell.ply DEM.pdf Orthophotomosaik.pdf Passpunkte.txt Schummerung.pdf
\02_Verwendete_Programme_Tools	\3DHOP_4.2 \Nexus_4.2.2
\03_Bachelorarbeit	\Abbildungen Aufgabenstellung_Fösge_Retterath.pdf Bachelorarbeit_Fösge_Retterath.docx Bachelorarbeit_Fösge_Retterath.pdf
\04_Website	\bilder \js \models \skins \stylesheet 3D-Modell.html Anleitung_zur_Nutzung_der_Website.pdf aufgabenstellung.html durchfuehrung.html ergebnis.html
\05_Poster	\Abbildungen Poster_Fösge_Retterath.pdf Poster_Fösge_Retterath.pptx
\06_Erfassungsbogen	Erfassungsbogen_Fösge.pdf Erfassungsbogen_Retterath.pdf
\Inhaltsverzeichnis.txt	

## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, Lukas Fösges, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit

„Vergleich moderner Technologien zur Unterstützung der Planung komplexer  
Weinbergsflurbereinigungen in den Steillagen der Mosel“

selbständig ohne fremde Hilfe angefertigt habe. Ich habe nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, Marc Retterath, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit

„Vergleich moderner Technologien zur Unterstützung der Planung komplexer  
Weinbergsflurbereinigungen in den Steillagen der Mosel“

selbständig ohne fremde Hilfe angefertigt habe. Ich habe nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift