

Image-Matching von Luftbildern mit Hilfe von Graphikprozessoren zur Erstellung von aktuellen Oberflächenmodellen

Image matching of aerial imagery using graphics processors to create
up-to-date surface models

Tie Points

Point Cloud

Wireframe Mesh

Solid 3D-Mesh

Textured 3D-Mesh

Impressum

BAB Abschlussbericht zu Projekt BAB 048/21

Projekt im Auftrag des BMLUK, durchgeführt in Kooperation
mit dem Land-, forst- und wasserwirtschaftlichen Rechenzentrum GmbH,
in freundlicher Zusammenarbeit mit Klaus Paccagnel und Oliver Bednarski

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

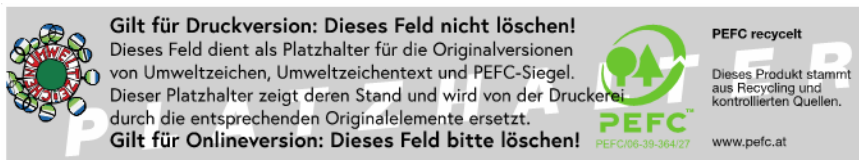
Bundesanstalt für Agrarwirtschaft und Bergbauernfragen,
Dietrichgasse 27, 1030 Wien

www.bab.gv.at

Autorinnen und Autoren: Schroll, Karin; Zeglovits, Gabriel; Neissl, Roland

Gesamtumsetzung: Schroll, Karin; Zeglovits, Gabriel

Fotonachweis Deckblatt: Übersicht der Image-Matching Verarbeitungsschritte von Tie
Points bis zum 3D-Mesh aus eigenen Berechnungen, Gabriel Zeglovits, BAB 2026



Wien, 2026. Stand: 26.02.2026

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundesministeriums und der Autorin / des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin / des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an office@bab.gv.at.

Zusammenfassung

Schlagworte: Digitalisierung, Innovation, Datenmanagement

Jährlich wird ein Drittel des österreichischen Bundesgebietes im Rahmen von Luftbildbefliegungen für die Erstellung aktueller Orthofotos erfasst. Die dabei entstehenden Aufnahmen weisen eine Quer- und Längsüberlappung auf, die es ermöglicht, mittels Bildabgleich (Image-Matching) hoch-aufgelöste, dreidimensionale Daten der Erdoberfläche zu berechnen. Aus diesen Befliegsdaten lassen sich zentrale räumliche Informationen wie Vegetationsstrukturen, Vegetationshöhen, Geländeänderungen und Gebäudehöhen ableiten – eine wertvolle Grundlage für zahlreiche Anwendungs- und Forschungsvorhaben. Die Prozessierung dieser Daten erforderte bisher etwa ein Jahr. Die Höhenmodelle wurden zudem noch nicht auf ihre Eignung für landwirtschaftliche Fragestellungen untersucht, und ein Konzept zur langfristigen Sicherung der originalen Luftbilddaten fehlte.

Ziel des Projektes war daher die Beschleunigung des Verfahrens zur Erstellung von Digitalen Oberflächenmodellen (DOM) mittels einer auf Grafikprozessoren im Clusterbetrieb basierenden Server-architektur. Darüber hinaus sollten die Ergebnisse für Anwendungen im Bereich der Land- und Forstwirtschaft optimiert werden. Für eine effiziente und erweiterte Nutzung bestehender Basisgeodaten wurden weitere höhenbasierte Folgeprodukte mit Zukunftspotenzial – darunter 3D-Meshes, True-Orthofotos und Punktwolken – testweise erstellt und auf ihre Nutzbarkeit analysiert. Ein besonderer Fokus lag auf dem Ausbau der methodischen Kompetenz zur Nutzung neuer Geodatenquellen im Ressort – im Sinne der Handlungsempfehlungen des Digitalisierungsberichtes des BMNT (2018).

Durch den Einsatz einer GPU-gestützten Serverarchitektur und skalierbarer Software konnten die Berechnungszeiten erheblich reduziert und großflächige Daten effizient verarbeitet werden. Gezielte Tests und Parameteroptimierungen ermöglichten die Erstellung qualitativ hochwertiger DOM im automatisierten Workflow ohne manuelle Nachbearbeitung. Die Methode des Image-Matching wurde umfassend untersucht und die daraus abgeleiteten Folgeprodukte explorativ getestet; Punktwolken, Meshes und True-Orthofotos konnten erfolgreich berechnet werden. Besonders Punktwolken und Meshes stellen hohe Anforderungen an Rechen- und Speicherkapazitäten, bieten jedoch großes Potenzial. Der Fokus lag dabei auf Open-Source-Lösungen. Qualitative Einschränkungen bestehen vor allem in Schattenbereichen und bei Höhenverzerrungen im Hochgebirge; True-Orthofotos erfordern für hohe Qualität eine größere Bildüberlappung. Die Produkte sind interdisziplinär nutzbar, wobei das jeweilige Anwendungsziel die optimalen Parametereinstellungen bestimmt – wie die unterschiedlichen Modelle von BEV und BFW zeigen.

Höhenbasierte Produkte aus Luftbildern unterstützen vielfältige Anwendungen in Landwirtschaft, Raumplanung, Katastrophenschutz und Forstwirtschaft sowie beim Monitoring von Landschafts-, Habitat- und Gewässerveränderungen. In der Landwirtschaft ermöglichen sie beispielsweise die Analyse von Dauervegetation wie Dauerkulturen oder Landschaftselementen, die Erkennung von Veränderungen innerhalb von Schlägen sowie die Nutzung des Infrarotkanals für Vegetationsindikatoren. Die hohe räumliche Auflösung im Vergleich zu Satellitendaten, die hohe zeitliche Auflösung im Vergleich zu ALS-Daten sowie die enthaltenen Spektralinformationen eröffnen großes Potenzial für weitere Anwendungen. Die besondere Stärke dieser Produkte liegt in der Kombination aus hoher Auflösung mit Spektral- und Höheninformationen. Im Projektverlauf fand ein intensiver Austausch statt, vorwiegend mit Akteuren aus der Verwaltung. Die vergleichsweise wenigen Anwender*innen der Methode stehen vor ähnlichen Herausforderungen hinsichtlich des erforderlichen Know-hows, der Infrastruktur und der dynamischen Weiterentwicklung der technischen Methoden. Durch technische, methodische und anwendungsbezogene Kooperationen in der Verwaltung können Workflows und Produkte weiter verbessert und langfristig nachhaltige Synergien geschaffen werden.

Ergänzend wurde ein österreichweites Langzeitarchivierungskonzept entwickelt, um die etwa 4 Petabyte umfassenden originalen Luftbilddaten aus der Orthofotokooperation von Bund und Ländern nachhaltig zu sichern. Diese wurden bislang lediglich auf externen Festplatten gespeichert – ein Ansatz, der angesichts der begrenzten Lebensdauer von Festplatten erhebliche Risiken birgt. Das entwickelte Konzept basiert auf der 3-2-1-1-0-Regel zur Datensicherung und sieht das Vorhalten mehrerer Datenkopien auf unterschiedlichen Speichermedien an verschiedenen Standorten vor. Als Technologie wurde das LTO-Bandformat mit dem plattformunabhängigen Dateisystem LTFS gewählt, das durch Langlebigkeit, Kosteneffizienz und ISO-Standardisierung eine zukunftssichere Lösung bietet. Für die Umsetzung wurde an der BAB die notwendige IT-Infrastruktur aufgebaut sowie strukturierte Prozesse für Datenaufnahme, Archivierung und Bereitstellung etabliert. Bis Februar 2026 wurden zehn Flugjahre in die BAB-Bibliothek aufgenommen; für sechs davon ist die Bandarchivierung abgeschlossen. Damit steht erstmals ein österreichweites Langzeitarchivierungskonzept für unkomprimierte Luftbilddaten zur Verfügung, dies bildet eine solide Grundlage für zukünftige Analysen und Forschungsarbeiten.

Executive Summary

Key words: Digitalization, Innovation, Data Management

Each year, aerial imagery is captured for one third of Austria's territory to produce up-to-date orthophotos. The cross-track and along-track overlap of these images enables the computation of high-resolution, three-dimensional surface data through image matching. From this data, key spatial information such as vegetation structures, vegetation heights, terrain changes, and building heights can be derived – providing a valuable basis for numerous applications and research projects. Previously, data processing required approximately one year. Furthermore, the suitability of the derived elevation models for agricultural applications had not yet been assessed, and no concept for the long-term preservation of the original aerial imagery existed.

The project therefore aimed to accelerate the generation of Digital Surface Models (DSM) using a GPU-based cluster server architecture. Additionally, the results were to be optimized for applications in agriculture and forestry. To enable efficient and extended use of existing base geodata, further elevation-based products with future potential – including 3D meshes, true orthophotos, and point clouds – were generated on a test basis and evaluated for their usability. A particular focus was placed on building methodological expertise for utilizing new geodata sources within the ministry, in line with the recommendations of the BMNT Digitalization Report (2018).

Through the deployment of GPU-supported server architecture and scalable software, processing times were significantly reduced and large-scale data could be processed efficiently. Targeted testing and parameter optimization enabled the creation of high-quality DSMs within an automated workflow without manual post-processing. The image matching method was comprehensively analyzed and derived products were tested exploratively; point clouds, meshes, and true orthophotos were successfully computed. Point clouds and meshes in particular place high demands on computing and storage capacities but offer considerable potential. The focus was on open-source solutions. Qualitative limitations exist primarily in shadow areas and with elevation distortions in high mountain terrain; true orthophotos require greater image overlap for high quality. The products are suitable for interdisciplinary use, with optimal parameter settings determined by the specific application – as demonstrated by the different models produced by BEV and BFW.

Elevation-based products derived from aerial imagery support a wide range of applications in agriculture, spatial planning, disaster management, and forestry, as well as in monitoring landscape, habitat, and watercourse changes. In agriculture, they enable the analysis of permanent vegetation such as permanent crops or landscape elements, the detection of changes within field parcels, and the use of the infrared channel for vegetation indicators. The high spatial resolution compared to satellite data, the high temporal resolution compared to ALS data, and the spectral information contained in the imagery open up significant potential for further applications. The particular strength of these products lies in the combination of high resolution with spectral and elevation information. Throughout the project, intensive exchange took place, primarily with stakeholders from public administration. The comparatively few users of the method face similar challenges regarding the required expertise, infrastructure, and the rapid evolution of technical methods. Through technical, methodological, and application-oriented cooperation within public administration, workflows and products can be further improved and long-term sustainable synergies created.

In addition, a nationwide long-term archiving concept was developed to sustainably preserve the approximately 4 petabytes of original aerial imagery from the Federal-State Orthophoto Cooperation. Previously, this data was stored solely on external hard drives – an approach that poses considerable risks given the limited lifespan of such devices. The developed concept is based on the 3-2-1-1-0 backup rule, which requires maintaining multiple data copies on different storage media at various locations. LTO tape format with the platform-independent LTFS file system was selected as the storage technology, offering a future-proof solution through its longevity, cost-efficiency, and ISO standardization. For implementation, the necessary IT infrastructure was established at BAB, along with structured processes for data ingestion, archiving, and provision. By February 2026, ten flight years had been incorporated into the BAB library, with tape archiving completed for six of them. This marks the first nationwide long-term archiving concept for uncompressed aerial imagery in Austria, providing a solid foundation for future analyses and research.

Inhalt

Zusammenfassung	3
Executive Summary.....	5
1 Einleitung / Ausgangssituation.....	8
2 Zielsetzung	9
3 Teil A: Image-Matching.....	12
3.1 Theoretischer Hintergrund	12
3.2 Methodik.....	20
3.3 Ergebnisse	25
3.4 Schlussfolgerungen Image-Matching	57
3.5 Fazit und Ausblick	62
4 Teil B: Luftbildbereitstellung & Langzeitarchivierung.....	63
4.1 Ausgangssituation.....	63
4.2 Zielsetzung	65
4.3 Methode	66
4.4 Umsetzung	70
4.5 Fazit.....	77
4.6 Ausblick	78
Tabellenverzeichnis.....	80
Abbildungsverzeichnis.....	81
Literaturverzeichnis	83
Abkürzungen.....	86
A Technischer Anhang	87
A.1 Parametertests 1-20	87
A.2 Parametertests A-L	89
A.3 Detaillierter Image-Matching Workflow.....	92
A.4 BAB Präsentation Vernetzungstreffen 08.05.2025	124

1 Einleitung / Ausgangssituation

Die Luftbilder für das gesamte österreichische Bundesgebiet werden in einem Dreijahreszyklus aktualisiert, wobei jährlich rund ein Drittel der Staatsfläche neu befliegen wird. Diese Luftbildbefliegungen werden im Rahmen einer Bund-Länder-Kooperation beauftragt und die Luftbilder vorrangig dazu genutzt, zweidimensionale Orthofotos (entzerrte, maßstabsgenaue Luftbilder) für eine Vielzahl an Anwendungen zu erstellen. Die originalen Luftbilder werden mit einer Quer- und Längsüberlappung aufgenommen, die es ermöglicht, mit Hilfe der Methode des Image-Matching hochaufgelöste, dreidimensionale Datenprodukte (Punktwolken, Meshes, Oberflächenmodelle) der Erdoberfläche zu generieren. Davon lassen sich zentrale räumliche Informationen – wie Vegetationshöhen, Vegetationsstrukturen, Geländeveränderungen und Gebäudehöhen – ableiten. Dies bietet wertvolle Grundlage für zahlreiche Anwendungs- und Forschungsvorhaben. Flächendeckendes Image-Matching wird zurzeit vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) – optimiert für urbane Räume – und am Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) – optimiert für Waldflächen (Waldinventur) – durchgeführt. Die Höhenmodelle wurden bisher noch nicht auf die Eignung für landwirtschaftliche Fragestellungen untersucht. Image-Matching ist sehr rechenintensiv und wird derzeit auf Einzelplatzrechnern durchgeführt, weshalb die Ergebnisse der neu befliegenen Gebiete erst mit zeitlich großer Verzögerung zur Verfügung stehen. Die Anwendung auf großer Fläche benötigt sehr große Speicher- und Rechenkapazitäten, die daraus abgeleiteten Ergebnisdaten haben jedoch erhebliches Potenzial, insbesondere im Hinblick auf künftige Entwicklungen in Speichertechnologie und Rechenleistung. Da viele Anwender:innen bei der Umsetzung ähnlichen Herausforderungen gegenüberstehen, erschien der Bedarf einer stärkeren Vernetzung und Zusammenarbeit – sowohl mit technischen Expert:innen im Bereich Image-Matching als auch mit Nutzer:innen der erzeugten Geodaten. Neben den durch Image-Matching erstellten Produkten stellen auch die originalen Luftbilder selbst eine langfristig wertvolle Datengrundlage dar. Die beauftragten Flugfirmen liefern diese Luftbilddaten auf Festplatten, wobei jährlich etwa 150 Terabyte an Datenmengen generiert werden. Die Lebensdauer dieser Festplatten ist begrenzt und es fehlt bisher eine koordinierte langfristige Sicherung dieser aufwändig generierten Daten.

2 Zielsetzung

Das Projekt wird im Rahmen einer technischen Kooperation mit dem Land- forst- und wasserwirtschaftliches Rechenzentrum (LFRZ) – im direkten Auftrag der Abteilung II / 1 Agrarpolitik, Datenmanagement und Evaluierung des Bundesministeriums Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Klima- und Umweltschutz, Regionen und Wasserwirtschaft (BMLUK) bearbeitet und hat sich folgende Ziele gesetzt:

Ziel 1: Beschleunigung des Verfahrens zur Erstellung von hochaufgelösten Digitalen Oberflächenmodellen (DOM) mittels Image-Matching aus den Luftbildern der österreichischen Orthofotokooperation. Diese Beschleunigung soll mit Hilfe einer auf Graphikprozessoren im Clusterbetrieb basierenden Serverarchitektur erreicht werden.

Hauptziel im Zuge dieses Projektes ist die Beschleunigung des Verfahrens zur Erstellung von hoch-aufgelösten Digitalen Oberflächenmodellen (DOM) mittels Image-Matching. Diese Beschleunigung soll mit Hilfe einer auf Graphikprozessoren im Clusterbetrieb basierenden Serverarchitektur erreicht werden. Während mit den aktuell üblichen Verfahren etwa ein Jahr für die Berechnung aller Flugblöcke notwendig ist, soll diese auf wenige Monate verkürzt werden, um berechnete Oberflächenmodelle schon im Folgejahr der Befliegung verwenden zu können. Gesucht ist dabei das bestmögliche DOM, das methodisch erreicht werden kann, ohne händische Nachbearbeitungsschritte. Ein weiteres Ziel ist das Eruiere von Einsparungsmöglichkeiten beim Aufbau der Verarbeitungsinfrastruktur (Hard- und Software). Messbares Ziel ist ein in weniger als 2 Wochen fertig berechnetes produktiv nutzbares Digitales Oberflächenmodell (DOM) von den Luftbildern eines gesamten Flugblockes.

Ziel 2: Optimierung der Prozessparameter und Ergebnisse der Oberflächenmodelle für den Einsatz im Bereich der Land- und Forstwirtschaft - Eruiere der Nutzbarkeit der Ergebnisse für die landwirtschaftliche Förderabwicklung sowie für weitere mögliche Anwendungen und Forschungsvorhaben.

Zentral ist neben der Beschleunigung des Verfahrens auch die Optimierung der Prozessparameter und Ergebnisse für den Einsatz für die Land- und Forstwirtschaft, das Eruiere der Nutzbarkeit der Ergebnisse für die landwirtschaftliche Förderabwicklung sowie weiterer Anwendungen und Forschungsvorhaben. Zudem soll die Eignung der bestehenden flächendeckenden Oberflächenmodelle von BEV und BFW für landwirtschaftliche Fragestellungen eruiert werden.

Ziel 3: Berechnungs-Tests zur Erstellung und Auswertung von weiteren höhenbasierten Folgeprodukten mit Zukunftspotenzial (3D-Mesh, True-Orthofoto, Punktwolken) für eine effiziente und erweiterte Nutzung bestehender Basisgeodaten.

Beim Image-Matching können weitere Produkte abgeleitet werden, wie Mesh-Modelle oder Punktwolken, die sehr speicherintensiv sind, aber zukünftig eine immer wichtigere Datenquelle für 3D-Informationen darstellen werden (Kodde, 2016). Basierend auf der geschaffenen Infrastruktur und dem aufgebauten Know-How werden Berechnungs-Tests zur Erstellung und Auswertung dieser Folgeprodukte durchgeführt.

Ziel 4: Ausbau der methodischen Kompetenz zur Nutzung neuer Geodatenquellen im Ressort – im Sinne der Handlungsempfehlungen des Digitalisierungsberichtes des BMNT (2018).

Es ist nicht das Ziel des Projektes, aus den entwickelten bzw. getesteten Produkten und Verfahren einen Regelbetrieb bzw. Service bereitzustellen. Im Sinne der Handlungsempfehlungen des Digitalisierungsberichtes des BMNT (2018), soll die methodische Kompetenz zur Nutzung neuer Geo-datenquellen ausgebaut werden. Zudem wurde ersucht, die im Zuge des Projekts entstandene Test-Infrastruktur vorerst in Betrieb zu belassen und weiter zu warten.

Ziel 5: Konzeptionierung der technischen Umsetzung einer Langzeitsicherung der Luftbilddaten auf Magnetspeichermedien basierend auf LTFS-Technologie, um die langfristige Verfügbarkeit der wertvollen Basisdaten für zukünftige Berechnungen und Forschungsarbeiten zu sichern.

Die bis dato vorliegenden Luftbilder haben eine Datenmenge von 4 Petabyte und werden auf 700 externen Festplatten aufbewahrt. Seitens des BMLUK erging 2022 im Rahmen des Projektes der zusätzliche Auftrag, einen einfachen Zugriff auf die Luftbilder zu gewährleisten sowie für eine langfristige Nutzbarkeit der Rohdaten zu sorgen – dafür werden die Luftbilder in Originalformat und -auflösung mittels Magnetbänder für zukünftige Berechnungen und Forschungen langzeitarchiviert.

Ziel 6: Kommunikation und Diskussion der Ergebnisse im Ressort zum Eruiereu weiterer Anwendungsmöglichkeiten.

Ein strukturierter Wissensaustausch im Projekt unterstützt einerseits den methodischen Kompetenzaufbau, insbesondere im Hinblick auf Workflow-Gestaltung und Ergebnisverifikation. Andererseits soll durch die Vernetzung der in diesem Bereich tätigen Fachstellen sowie durch die gemeinsame Diskussion von Ergebnissen ein aktiver Wissenstransfer angestoßen werden – mit dem Ziel, Synergien zu fördern und neue Anwendungsmöglichkeiten zu erschließen. Das dabei aufgebaute Know-how wird dem gesamten Ressort, der GIS-Koordination des BMLUK sowie weiteren Partnerinstitutionen zur Verfügung gestellt und im Rahmen von Präsentationen, Vernetzungstreffen sowie dem vorliegenden Endbericht weitergegeben.

3 Teil A: Image-Matching

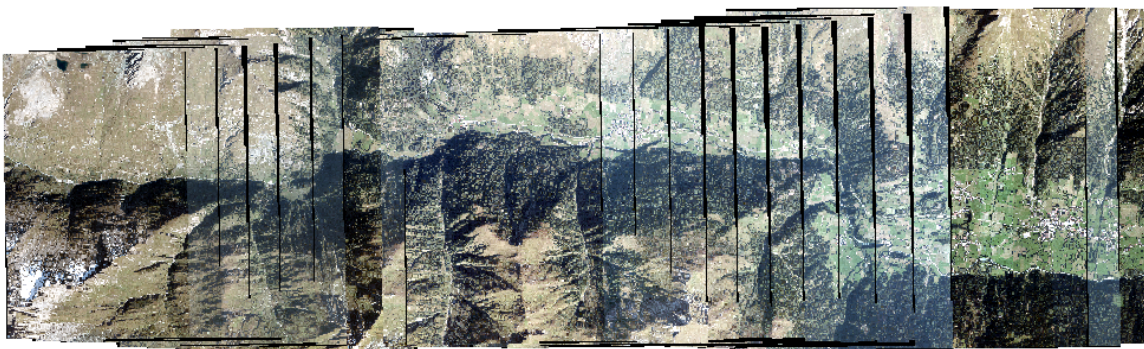
3.1 Theoretischer Hintergrund

Im gegenständlichen Kapitel wird der theoretische Hintergrund zur Methode des Bildabgleiches (Image-Matching) und der damit erstellbaren Produkte erläutert. Um einen Kontext herzustellen, wird eine grobe Abgrenzung und Vergleich zu ähnlichen Produkten anderer Herkunft vorgenommen.

3.1.1 Beschreibung der Methode Image-Matching

Image-Matching ist ein Verfahren der Photogrammetrie (Bildmessung), das für die Erstellung von 3D Punktwolken und digitalen Oberflächenmodellen (DOM) verwendet wird. Ausgangsdaten dafür sind mindestens zwei Luftbilder, deren Abbildungen sich überlappen, die aber von unterschiedlichen Positionen aus aufgenommen wurden. Wie auch beim menschlichen Sehen, die leicht versetzten Bilder der beiden Augen führen zu einer dreidimensionalen Raumwahrnehmung, kann durch den Abgleich von Objekten, die auf mehreren Luftbildern zu sehen sind, Höheninformation abgeleitet werden. So lassen sich durch den Bildabgleich (Image-Matching) aus 2D Luftbildern dreidimensionale Informationen generieren. Diese Methode ist schon mehrere Jahrzehnte bekannt, hat sich durch die inzwischen digitalen Möglichkeiten der Bildverarbeitung jedoch stark weiterentwickelt und ist zu einer der wichtigsten Schritte bei der 3D-Modellierung und Kartierung geworden. (Kodde, 2016; Remondino et al., 2014)

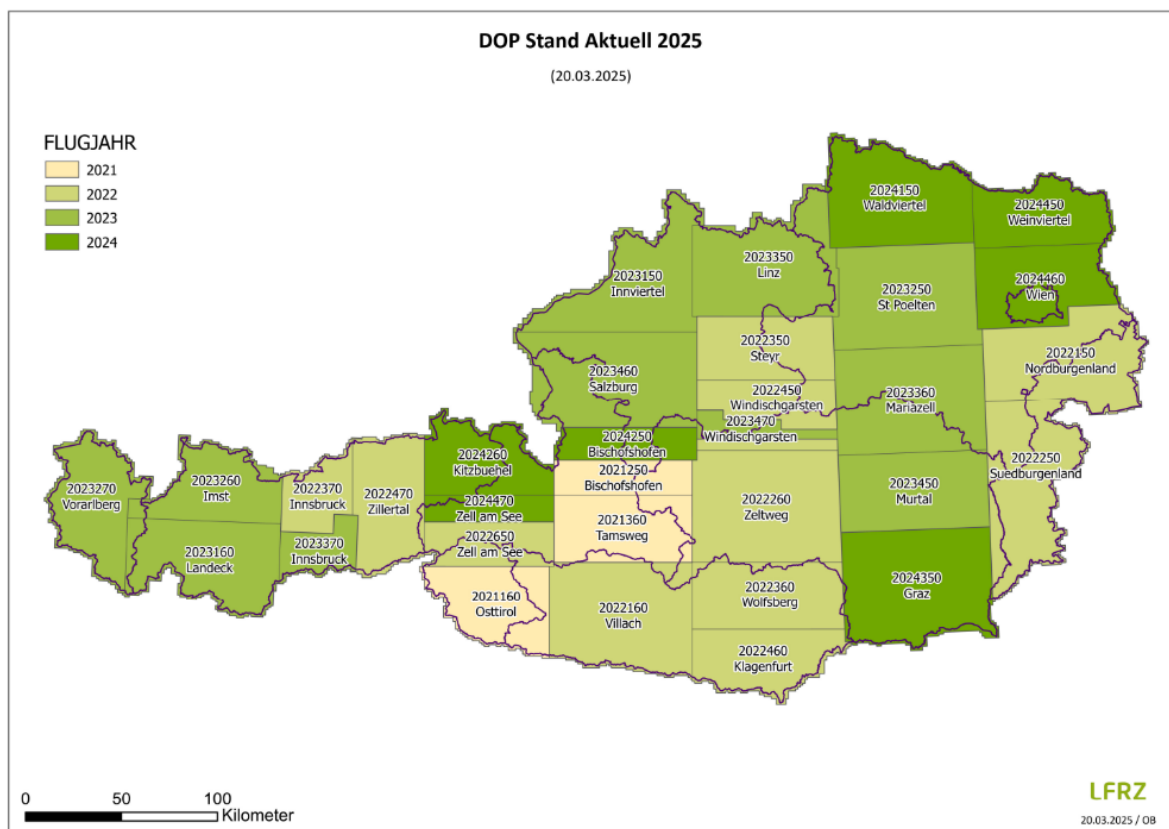
Abbildung 1: öst. Luftbilder werden mit mind. 80% Längs- und 40% Quer-Überlappung aufgenommen (BEV, 2021)



Quelle: Eigene Darstellung, Karin Schroll, BAB 2022

In Österreich werden flächendeckende Luftbildbefliegungen im Rahmen der Orthofotokooperation von Bund und Ländern beauftragt. Das Staatsgebiet wird dabei in etwa 30 so genannte Flugblöcke bzw. Operate unterteilt. Jährlich wird ca. ein Drittel des Staatsgebiets, während der Vegetationsperiode, neu befliegen. Somit wird im 3-Jahres-Zyklus die gesamte Staatsfläche abgebildet. Das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) koordiniert den Befliegungsbedarf zwischen den Kooperationspartnern und verantwortet die Ausschreibung der Fluglose, die Abnahme und Qualitätskontrolle der gelieferten Luftbilddaten und Orthofotos sowie die Weiterverteilung an die Kooperationspartner. Das Land-, forst- und wasserwirtschaftliche Rechenzentrum (LFRZ) berechnet aus den vom BEV bereitgestellten Orthofotos, ein österreichweites Mosaik, welches eine Basis für die Geodatensammlung des Bundes dient und eine wichtige Datengrundlage für die Agrarmarkt Austria (AMA) bei der Abwicklung der Flächenförderung stellt. Abbildung 2 zeigt die Abgrenzung der Flugblöcke sowie das Jahr ihrer letzten Befliegung mit dem Stand von März 2025.

Abbildung 2: Flugblöcke der Orthofotokooperation mit letztem Befliegungsdatum (LFRZ, 2025)



Quelle: LFRZ, 2025

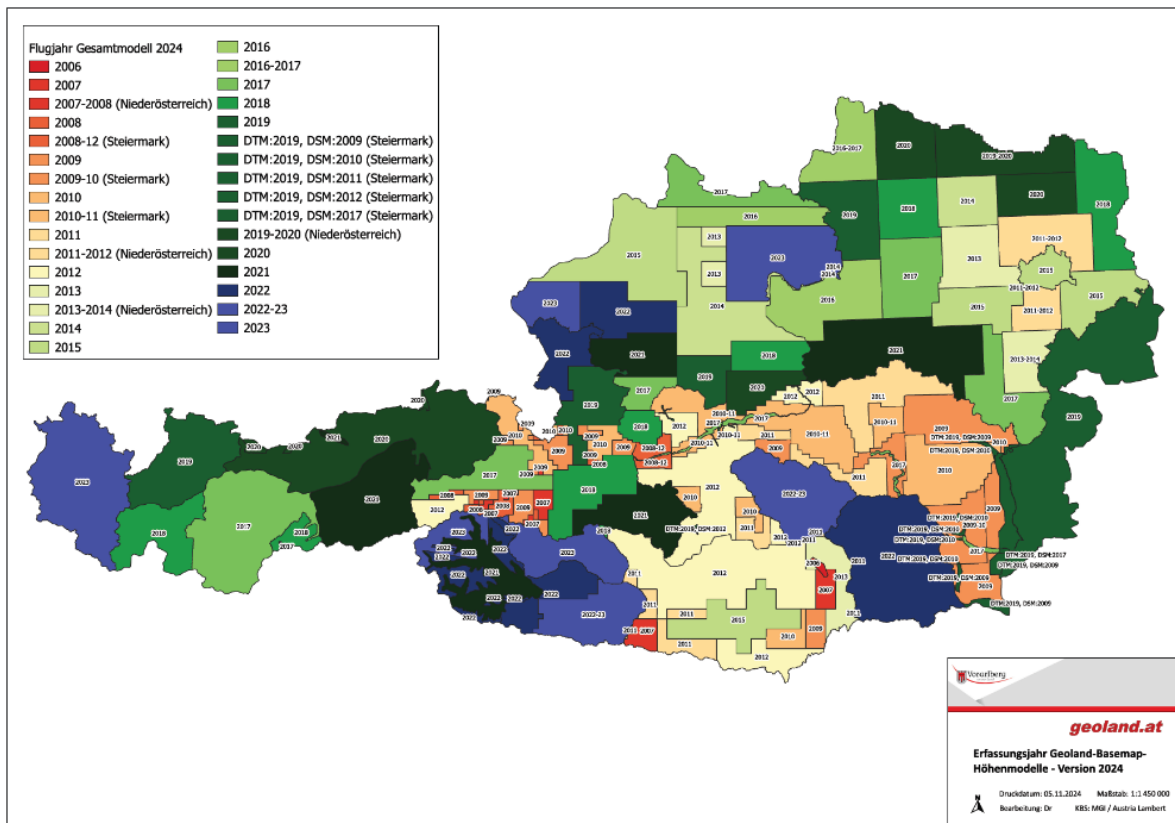
Die Luftbilder werden in Flugblöcken geflogen und von unterschiedlichen Befliegungsfirmen geliefert mit zugehörigen Metadaten, die sich nach Befliegung unterscheiden. Zu diesen Metadaten gehören unter anderem die Koordinaten des Kamerastandortes, die Parameter der Kameraausrichtung, der exakte Aufnahmezeitpunkt der Bilder, unterschiedliche Befliegungstreifen (Längs- und Querstreifen) sowie vorhandene eingemessene Bodenkontrollpunkte mit exakt terrestrisch vermessenen Koordinaten. Neben panchromatischen und RGB-Aufnahmen werden die Luftbilder seit Mitte der 2010er Jahre zusätzlich mit einem Infrarotkanal (RGBI) aufgenommen (O -Tabelle 3: Dokumentation des Wissensaustausches, S. 47).

3.1.2 Abgrenzung zu weiteren fernerkundlichen (3D-) Daten und Produkten

Daten aus Airborne Laser Scanning (ALS)

Während beim Image-Matching von Luftbildern erst durch die photogrammetrische Verarbeitung dreidimensionale Daten generiert werden, wird beim Airborne Laserscanning (ALS) die Erdoberfläche aktiv mittels Laserstrahlen abgetastet, die dreidimensionale Information also bereits bei der Aufnahme erhoben. Aufgrund der hohen Kosten von ALS-Befliegungen bietet das Image-Matching durch die Verwendung bestehender Luftbilddaten in manchen Bereichen eine günstigere bzw. in kleineren Zeitintervallen zur Verfügung stehende Alternative bzw. Ergänzung zu ALS-Daten (Ali-Sisto & Packalen, 2017; Navarro et al., 2018; Ragg et al., 2011; Zhang et al., 2018). In Österreich werden ALS-Befliegungen in unterschiedlichen Intervallen (häufig >10 Jahre), welche von Bundesland zu Bundesland abweichen, durchgeführt (siehe Abbildung 3, S.15), während Luftbilder/Orthofotos alle drei Jahre die Gesamtfläche von Österreich abdecken. Die Auflösung von ALS-Daten in Österreich liegt bei 1m, die Höhengenaugkeit (z-Genauigkeit ist +/- 15 cm), die Lagegenauigkeit (x/y-Genauigkeit bei +/- 40 cm) (S -Tabelle 3: Dokumentation des Wissensaustausches, S. 47). Im Unterschied zu einer dreidimensionalen Abtastung der Erdoberfläche mittels LiDAR, wie es beim Airborne Laser Scanning (ALS) angewandt wird, stehen bei Luftbildaufnahmen und auch den Folgeprodukten des Image-Matching (wie z.B. Mesh-Modell und Punktwolken) spektrale Farbinformationen zur Verfügung.

Abbildung 3: Gebiete der ALS Befliegungen mit Angabe der Flugjahre



Quelle: GIS Vorarlberg – Peter Drexel für geoland.at, 2024

Spektralinformationen der Luftbilder

Die Luftbilder der österreichischen Orthofotokooperation werden mit einer Bodenauflösung von max. 20 cm in den Farbkanälen Rot, Grün, Blau und Infrarot (RGBI) aufgenommen. Das bedeutet, dass in den Produkten des Image-Matching spektrale Farbinformationen enthalten sind, die für das Erkennen von Objekten sowie Vegetation hilfreich sind. Vor allem der Infrarotkanal liefert wertvolle Information über die Vegetation und deren Zustand. Die Spektralinformation in colorierten Punktwolken in Kombination mit der 3D-Information eröffnet Potenziale zur zukünftigen Objekterkennung. Grüne Vegetation reflektiert grünes und infrarotes Licht, weshalb sich für die Analyse von Vegetation und ihrem Zustand der infrarote Spektralbereich sehr gut eignet. Aus den spektralen Eigenschaften der Oberfläche können Indizes berechnet werden, die Rückschlüsse auf den Bewuchs sowie den Zustand der Vegetation ermöglichen. Ein dafür sehr gebräuchlicher Index ist der NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Dieser setzt die spektralen Reflektionen von Rot und Nahem Infrarot in Beziehung. Je höher der NDVI, desto höher ist der Anteil an vitaler Vegetation (Pettorelli et al., 2005). Damit können aus dem NDVI Rückschlüsse auf Vegetationsdichte- und Produktivität gezogen werden (Tucker & Sellers, 1986). Die Aussagekraft der Vegetationsänderung hängt auch vom Aufnahme-Zeitpunkt und Aufnahme-Intervall ab.

Satellitenbilder mit vergleichsweise hoher zeitlicher und geringerer räumlicher Auflösung

Satellitenbilder werden zunehmend für Landschafts- und Vegetationsanalysen verwendet. Aufgrund der häufigen Überflüge können sie auch unterjährige Vegetationsunterschiede abbilden. Aufnahmen der Sentinel 2 Satelliten der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) sind zum Beispiel in einem Intervall von wenigen Tagen verfügbar, auch hier werden (unter anderen) die Kanäle RGBI aufgenommen. Je nach Satelliten bzw. der konkreten Mission stehen andere räumliche, zeitliche und spektrale Auflösungen zur Verfügung. In der zeitlichen Auflösung sind Satellitenbilder dem ALS und Luftbildbefliegungen zwar wesentlich überlegen, Nachteile sind jedoch, dass die Erdoberfläche häufig von Wolken verdeckt ist sowie eine meist geringere räumliche Auflösung. Sentinel2-Bilder sind zum Beispiel in einer räumlichen Auflösung von 10 Metern verfügbar. Landsat-Bilder der NASA im RGBI-Bereich in 30 m. Die österreichischen Luftbilder werden in einer Bodenauflösung von mindestens 20 cm aufgenommen und sind damit sehr detailreich, wodurch kleinteilige Strukturen wie niedrige Vegetation, freistehende Sträucher und Einzelbäume überhaupt erst sichtbar werden. Satellitenbilder können unter bestimmten Bedingungen für Image-Matching verwendet werden. Für eine präzise 3D-Rekonstruktion ist ein ausreichender Schnittwinkel zwischen den Bildern entscheidend – welcher bei reinen Nadiraufnahmen – wie z.B. bei Sentinel 2 Satellitendaten – nicht gegeben ist (Qin, 2019). Die räumliche Auflösung von Satellitenbildmissionen erhöht sich laufend. Pleiades neo Daten weisen eine Auflösung von 0,3 m (panchromatisch) bzw. 1,2 m auf (Cantrell et al., 2024) und sind für die 3D Rekonstruktion geeignet (Chouteau et al., 2022). Pleiades und auch WorldView-Daten sind geeignet, weil sie explizit stereotaugliche Daten mit variablem Blickwinkel liefern. Diese höher aufgelösten Satellitenbilder sind im Gegensatz zu Sentinel-Aufnahmen kostenpflichtig.

Rechenintensives Image-Matching – hohe Auflösung und große Fläche

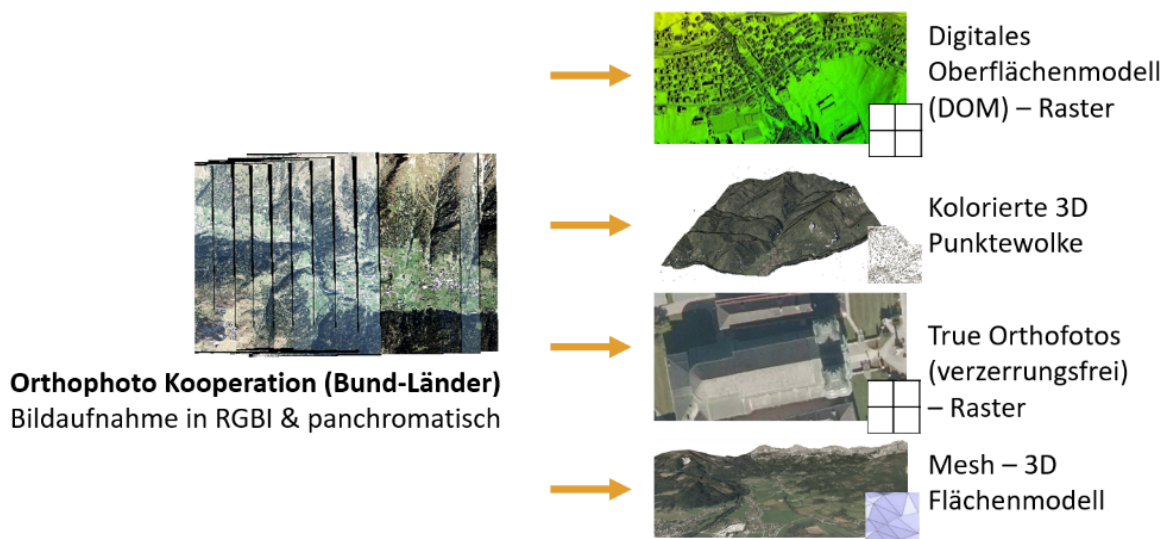
Während kleine Gebiete auf Einzelplatzrechnern berechnet werden können, stellt das Verarbeiten hoch aufgelöster Luftbilder über das gesamte Staatsgebiet eine Herausforderung für die technische Infrastruktur dar. Für das Image-Matching mit Luftbildern über die gesamte Staatsfläche Österreichs benötigt man eine entsprechende Verarbeitungs- und Speicherkapazität. Durch die derzeitige Berechnungsdauer von etwa einem Jahr stehen die Ergebnisse erst mit starker Verzögerung zur Verfügung. Die Auswahl der Software, die für das Image-Matching verwendet wird bestimmt zudem mit, ob und inwieweit die Rechenkapazität nach oben skaliert werden kann. Zum Beispiel beschränkt die für flächendeckendes Image-Matching aktuell vermehrt eingesetzte Software Trimble Match-T die Performance durch ihre Lizenzierungsstrategie, indem sie die Anzahl von CPU-Kernen limitiert.

3.1.3 Folgeprodukte aus dem Image-Matching

Aus dem Bildabgleich sich überlappender Luftbilder lassen sich unterschiedliche Folgeprodukte generieren, die sich in Speicherbedarf, Informationsgehalt und Datenstruktur unterscheiden und damit auch unterschiedliche Möglichkeiten der weiteren Nutzung und Auswertung ermöglichen (siehe vAbbildung 4).

Primäres und meistgenutztes Ergebnisprodukt aus dem Image-Matching sind **Digitale Oberflächenmodelle** (DOM), also Rasterdaten, in denen jedes Bildpixel den Höhenwert des aufgenommenen Objektes an der Objektoberfläche aufweist, also die Höhe eines Hausdaches bzw. die Höhe der Baumkrone.

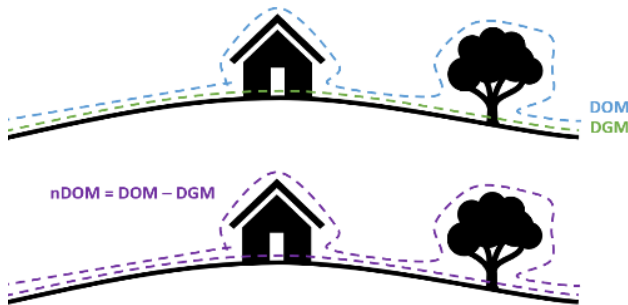
vAbbildung 4: Übersicht ableitbarer Produkte aus Image-Matching von überlappenden Luftbildern



Quelle: eigene Darstellung, Karin Schroll, BAB 2025

Im Gegensatz dazu zeigt ein **Digitales Geländemodell** (DGM) die Oberfläche des Geländes selbst, ohne die darauf liegenden Objekte. Mittels Image-Matching ist die Berechnung eines DGM möglich, qualitativ aber LiDAR-Daten des Airborne Laser Scanning unterlegen – welche für die Geländeabbildung vorrangig herangezogen werden. Zur Analyse der Vegetation wird häufig ein **Differenzhöhenmodell** (nDOM) verwendet, wo durch die Differenzbildung von DOM und DGM die Objekthöhen ermittelt werden (siehe Abbildung 5, S.18).

Abbildung 5: Vegetationshöhenmodell nDOM



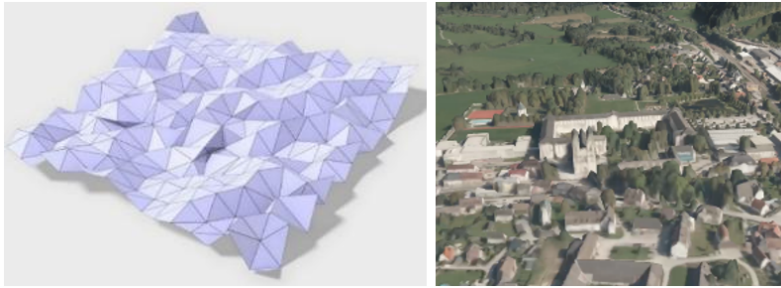
Quelle: eigene Darstellung, Karin Schroll, BAB 2022

Punktwolken sind Sammlungen von Punkten im dreidimensionalen Raum, die die Oberflächenstruktur von Objekten oder Landschaften repräsentieren. Jeder Punkt in der Punktwolke enthält Koordinaten (x, y, z) und kann zusätzliche Attribute wie Farbe oder Intensität besitzen (colorierte Punktwolken).

Aus dem Image-Matching lassen sich zudem **True-Orthofotos** ableiten, die eine maßstabsgetreue und lagegenaue Repräsentation der Erdoberfläche ermöglichen. Durch die dreidimensionale Auswertung können perspektivische Verzerrungen, wie sie bei herkömmlichen Orthofotos insbesondere in Bereichen mit hohen Objekten – etwa Gebäuden, Wäldern oder Kirchtürmen – auftreten, vollständig korrigiert werden. Dadurch werden auch Grenzen entlang hoher Objekte lagegerecht abgebildet und eine präzise geometrische Auswertung ermöglicht (Ostrowski et al., 2020).

Ein **3D-Mesh** ist eine Form der dreidimensionalen Oberflächendarstellung mittels miteinander verbundener Polygone, meist Dreiecken. Diese Polygone bilden das Netz (Mesh), das die Geometrie einer Objektoberfläche beschreibt. Zusätzlich können Textur- oder Farbinformationen auf die Polygone angewendet werden, um die visuelle Darstellung zu verfeinern und eine realistische Oberfläche zu erzeugen. Abbildung 6 (S.19) zeigt beispielhaft die Oberflächenstruktur eines Mesh sowie ein texturiertes Mesh aus dem Image-Matching von Luftbildern.

Abbildung 6: Darstellung von Objekt-Oberflächen als Mesh



Quelle: publicdomain, eigene Darstellung, Karin Schroll, BAB 2025

Bei colorierten Punktwolken und texturierten Meshes sind die Objektstruktur, Form und spektralen Informationen (RGBI) verfügbar, wodurch sich Möglichkeiten in der Klassifizierung und Objekterkennung ergeben.

Wofür werden Ergebnisse des Image-Matching verwendet?

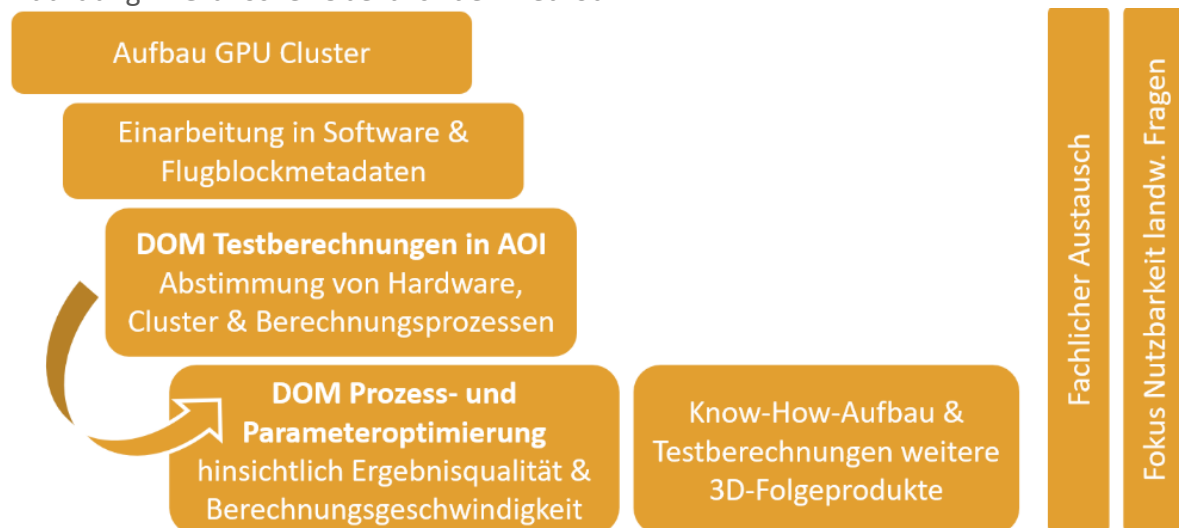
Oberflächenmodelle und Punktwolken werden in vielen Disziplinen bei Langzeitbeobachtung von Veränderungen an erkennbaren Strukturen an der Erdoberfläche (Change Detection) verwendet (Ali-Sisto & Packalen, 2017; Dandois & Ellis, 2010; Nebiker et al., 2014; Politz et al., 2021). (Ragg et al., 2011) sehen das Potential von photogrammetrisch erzeugten Punktwolken und Oberflächenmodellen noch lange nicht ausgeschöpft, besprechen Oberflächenmodelle neben der Nutzung für die Change Detection auch noch als Grundlage für numerische Simulationsmodelle und zeigen Anwendungsmöglichkeiten in der historischen Luftbilddauswertung sowie in den Bereichen Forstwirtschaft und Siedlungsentwicklung.

Produkte des Image-Matchings bieten präzise und hochauflösende Daten für die Analyse von Landschaften, die sowohl zur wissenschaftlichen Forschung als auch zur praktischen Anwendung in der Umweltplanung, dem Naturschutz, der Infrastrukturentwicklung und dem Klimaschutz eingesetzt werden können. Die Möglichkeit, räumliche und zeitliche Veränderungen zu überwachen, macht sie zu einem wichtigen Werkzeug in der modernen Landschaftsanalyse. Beispiele sind die Dokumentation und Visualisierung von Veränderungen der Landschaft für unterschiedlichste Themenbereiche wie Klimawandel (z.B. Gletscherschmelze, Vegetationsveränderungen), Zuwachs von Vegetation, Landnutzungsveränderungen (Bebauungen, Rodungen) und Analyse von Geländestrukturen (Hügel, Täler, Flüsse – Veränderungen der Topographie).

3.2 Methodik

Die Methodik wird – entsprechend der Struktur des folgenden grafischen Überblicks in Abbildung 7 – in thematische Unterpunkte gegliedert und beschrieben.

Abbildung 7: Grafischer Überblick der Methodik



Quelle: Eigene Darstellung, Karin Schroll, BAB 2025

Aufbau der technischen Infrastruktur – GPU Cluster

Basierend auf Gesprächen mit Anwender:innen des Luftbild-Image-Matching wurden bestehende Prozesse analysiert, um Optimierungspotenziale zu identifizieren. Zentral war die Auswahl eines Software-Produktes, welches im Cluster-Verbund funktioniert und keine Hardware-Limitierung aufweist. Um potentielle Einsparungsmöglichkeiten zu eruieren, wurden alternative Lizenzmodelle und der Einsatz von Open-Source Alternativen untersucht. Es wurde ein skalierbarer GPU-Cluster für die Berechnungen mit zentralem Storage aufgebaut. Auf den Clusterverbund wurde die für die Anwendung als am besten geeignet identifizierte Image-Matching Software Agisoft Metashape installiert.

Einarbeitung Software & Metadaten aus den Luftbildbefliegungen

Im Vorfeld erfolgt die Einarbeitung in die Software Agisoft Metashape mittels Benutzerhandbuch, Softwaredokumentation, Online-Foren und Video-Tutorials, um relevante benutzerdefinierte Parameter für die Berechnung von DOM zu ermitteln. Ebenso erfolgt ein Austausch mit erfahrenen Anwender:innen und dem Agisoft-Support. Ebenso erfolgte eine erste Einarbeitung in die Metadatenparameter der Luftbildbefliegungen, um die Aufnahmen in der eingesetzten Software präzise ausrichten zu können und eine hohe Höhen- sowie Lagegenauigkeit der Modellergebnisse zu erreichen.

Dazu zählten das Aufbereiten und Einlesen der Metadaten, die Eingabe der Kameraparameter (Position und Orientierung), die Auswahl geeigneter Befliegungstreifen, die Definition des Koordinatensystems sowie das Setzen von Bodenkontrollpunkten. Diese Schritte bilden die Grundlage für eine exakte Bildorientierung und stellen eine zentrale Voraussetzung dar, um in der anschließenden Phase mittels Image-Matching verlässliche dreidimensionale Geodaten abzuleiten.

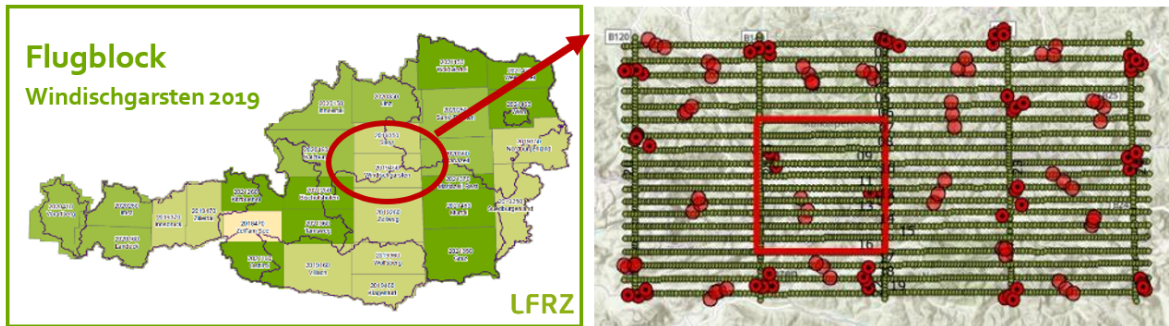
DOM Testberechnungen in kleiner Area of Interest (AOI) – Abstimmung von Hardware, Cluster & Berechnungsprozessen

Im ersten Schritt wurden Berechnungen in einem kleinen AOI unter Verwendung von Standardsettings durchgeführt, um die Hardware-Architektur, Clusterverbund und Berechnungsprozesse aufeinander abzustimmen und um den Cluster hinsichtlich der Performance zu optimieren. Die Voruntersuchungen dienten der Feinabstimmung der technischen Infrastruktur und der Vorbereitung auf großflächigere Rechenvorgänge.

Prozess- und Parameteroptimierung hinsichtlich Qualität und Berechnungsgeschwindigkeit

Nachdem im Vorfeld der Verarbeitungs-Cluster mit der Software im Rahmen von kleinräumigen Proberechnungen mit Standardparametern abgestimmt wurde, lag der Schwerpunkt folgend auf der Produkt- und Verarbeitungsanalyse & Optimierung der Berechnungsparameter für qualitativ hochwertige Ergebnisse in einer optimierten Berechnungszeit. Die definierbaren Parameter in der Image-Matching Software Agisoft Metashape ermöglichen eine genaue Anpassung an die Bedürfnisse der Anwender:innen. Je nach der Art an Ausgangsbildern, Größe des Verarbeitungsbereiches, thematischem Anwendungsgebiet und konkreter Fragestellung unterscheiden sich die optimalen Einstellungen in der Software. Vor allem bei der Berechnung von großen Flächen in hoher Auflösung ist eine feine Abstimmung zwischen Genauigkeit und Performanz relevant. Manche Parametereinstellungen erhöhen die Rechenzeit oder Rechenkapazität massiv, andere verbessern das Ergebnis durch eine kleine Anpassung sehr. Im Rahmen von standardisierten Parametertests wurde der Einfluss einzelner Parameter auf das Berechnungsergebnis (zeitlich, betreffend Qualität) untersucht. Im Rahmen dieser Tests werden die relevanten Prozessparameter und ihr Einfluss auf Performance und Ergebnisqualität der DOM spezifisch für die Nutzung der österreichischen Luftbilder eruiert. Als Testflugblock wurde Windischgarsten 2019 ausgewählt (siehe Abbildung 8, S.22), da für den gewählten Teilbereich (AOI mit 20x20km) im selben Jahr eine Befliegung mit ALS vorliegt sowie mittels Image-Matching berechnete Oberflächenmodelle von BFW und BEV zur Verfügung standen, was die Vergleichbarkeit der Modelle verbessert und die Qualitätsprüfung erleichtert.

Abbildung 8: 20x20 km Area of Interest (AOI) im Flugblock Windischgarsten 2019



Quelle: LFRZ, Eigene Darstellung, Karin Schroll, BAB 2025

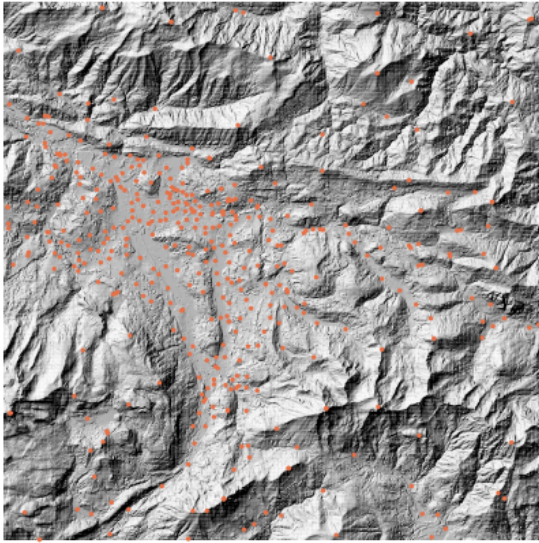
Die Parametertests wurden in 3 Durchgängen durchgeführt, wobei die Unterschiede in Einstellungen und Qualitätsunterschieden immer feiner wurden. Dazwischen wurden die Ergebnisse ausführlich hinsichtlich Ergebnisqualität und Performanz analysiert – und mit Kooperationspartnern diskutiert.

- Tests 1-20: zur groben Annäherung an optimale Prozess- und Parametersettings des DOM
 - Tests A-L: für die Feinabstimmung optimaler Prozess- und Parametersettings des DOM
- Nach erfolgreicher Prozess- und Parameteroptimierung im AOI wurde ein DOM für den gesamten Flugblock Windischgarsten berechnet.

Qualitätsbeurteilung der Berechnungsergebnisse des DOM

Die Qualitätsbeurteilung der Testergebnisse wird durch den systematischen Vergleich mit bestehenden Daten von vergleichbaren Aufnahme-Zeitpunkten umgesetzt – mit den Höhen des ALS sowie der berechneten DOM des Image-Matching von BEV und BFW. Erste Vergleiche wurden optisch anhand von Schummerungsdarstellungen bewertet. Folgend wurden auch flächige Rasterdifferenzen berechnet. Ergänzend wurden großflächige Vergleiche durch punktuelle Höhenvergleiche an stabilen Punkten, Kontrollpunkten bzw. einer Auswahl an Boden-Triangulierungspunkten des BEV, welche die größte Höhengenaugkeit aufweisen, durchgeführt. Der Vergleich mit den Festpunkten des BEV erfordert eine gezielte Punktauswahl (siehe Abbildung 9, S.23). Dafür wurden im Vorfeld Punkte die sich nicht direkt am Boden befanden ausgeschlossen (z.B. Masten und Kirchtürme), da hier kleine Lageunterschiede eine große Höhenabweichung bewirken. Flächige und punktuelle Vergleiche sowie Profilvergleiche der Testergebnisse wurden in der Software QGIS berechnet (Raster Calculator, Point Sampling Tool, Profile Tool). Dabei wurden sowohl mittlere absolute als auch mittlere relative Abweichungen betrachtet, um etwaige generelle Höhenverschiebungen beurteilen zu können.

Abbildung 9: Lage der BEV Geländepunkte AOI Windischgarsten (Auswahl aus Triangulierungspunkten)



Quelle: Eigene Darstellung, Karin Schroll, BAB 2025

Fokus auf Nutzbarkeit für Landschaftsanalysen und landwirtschaftliche Fragestellungen

In die Bewertung der Qualität der Modelle floss auch die Analyse der Eignung und Nutzbarkeit der Daten für landschaftswissenschaftliche und landwirtschaftliche Fragestellungen ein. Durch das Einbeziehen potentieller Datenanwender:innen und die Bereitstellung von Testdaten wurden die Ergebnisse auf ihre Anwendbarkeit hin getestet. Seitens der AMA wurde die Eignung der Ergebnisse für das Projekt OARA evaluiert. Weiters wurden Oberflächenmodelle im Projekt LaDiWaldi (Lasergestützte Digitale Waldinventur und Einsatzplanung) von Mitarbeiter:innen der Universität für Bodenkultur (BOKU) getestet. Ebenso wurde das Erkennen und die zeitliche Entwicklung von INVEKOS Landschaftselementen analysiert.

Know-How-Aufbau mit weiteren 3D-Folgeprodukten aus dem Image-Matching

Nach der Einarbeitung in die Software und die entsprechenden Parametereinstellungen wurden iterative Berechnungstests für 3D-Meshes, True-Orthofotos und Punktwolken durchgeführt. Verschiedene Konfigurationen wurden getestet, bis erfolgreich durchlaufende Berechnungen erzielt wurden. Basierend darauf wurden funktionierende Workflows erarbeitet. Um die Weiterverwendbarkeit der Daten zu gewährleisten, wurden verschiedene Exportformate geprüft und hinsichtlich ihrer Berechnungsgeschwindigkeit, Qualität und Visualisierbarkeit analysiert.

Fachlicher Austausch & Wissenstransfer

Zur Förderung einer langfristigen Vernetzung und des Erfahrungsaustauschs im Bereich Image-Matching wurden in Besprechungen und Präsentationen sowohl technische Aspekte (z. B. Berechnungsmethoden, Parametereinstellungen, Infrastrukturanforderungen, eingesetzte Softwaretools) als auch anwendungsbezogene Fragestellungen behandelt. Im Rahmen von Vernetzungsveranstaltungen, Präsentationen und gezielten Treffen wurden unterschiedliche Akteur:innen eingebunden, darunter Partner aus Verwaltung und Forschung sowie Organisationen, die Bilddaten verarbeiten. Zudem wurden Anwender:innen höhenbasierter Folgeprodukte aktiv in den Austausch einbezogen, um praxisrelevante Perspektiven und Know-how aus verschiedenen Fachbereichen zu berücksichtigen. Vermittelte Kontakte und koordinierte Diskussionen ermöglichten den kontinuierlichen Austausch von Erfahrungen, Best Practices und methodischem Wissen. Auf diese Weise konnten sowohl technische Lösungen als auch potenzielle Anwendungsbereiche identifiziert und nachhaltig vernetzt werden.

Ein wesentlicher Bestandteil der fachlichen Kommunikation bestand darin, durch Fachgespräche, koordinierte Abstimmungen und Austausch mit interessierten Stellen im unmittelbaren Umfeld des Ressorts zukünftige Anwendungsbereiche und Bedarfe für den Einsatz der Ergebnisdaten in Verwaltung und Forschung zu eruieren. Dabei sollten nicht nur Chancen und neue Nutzungsmöglichkeiten aufgezeigt, sondern auch die methodischen Grenzen und Limitationen transparent gemacht werden.

3.3 Ergebnisse

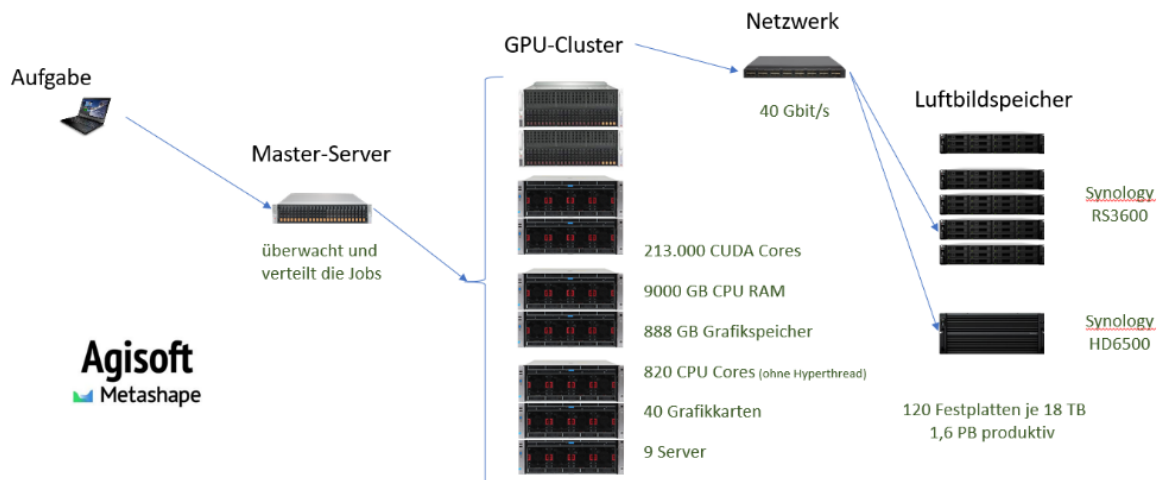
Die Ergebnisse werden folgend, gegliedert anhand der Projektziele, vorgestellt.

3.3.1 Beschleunigung der DOM-Berechnung mit Hilfe von GPU-Verarbeitungsservern

Durch die Umstellung des Arbeitsablaufes, in dem Grafikkartenbeschleuniger und die Rechenlastverteilung auf mehrere Server (Berechnung im Cluster), sollte die Rechenzeit zur Erstellung hochauflöster Digitaler Oberflächenmodelle wesentlich beschleunigt werden.

Mit der in Abbildung 10 dargestellten technischen Infrastruktur wurde ein flächendeckendes DOM am Flugblock Windischgarsten in 0,5 m Auflösung in 26 Stunden Berechnungszeit erstellt. Diese untergliedert sich hauptsächlich in die Bereiche „Alignment der Luftbilder“ mit einer Dauer von 3,5 h; „DepthMaps-Berechnung“ mit etwa 11 Stunden sowie darauf folgend der Berechnung des DOM selbst mit etwa 11 Stunden. Die angegebenen Zeiten stellen die reine Rechenzeit dar. Zudem muss noch Zeit für die Aufbereitung der Daten, das Setzen der Kontrollpunkte sowie der Qualitätssicherung einkalkuliert werden. Unter Praxisbedingungen müssen zusätzlich Zeiten für fehlerhafte Prozesse und notwendige Adaptationen eingeplant werden. Mit ausreichend Praxiserfahrung kann mit etwa 1-2 Wochen insgesamt Bearbeitungszeit je Flugblock gerechnet werden, was für die jährlich neu befliegenen 10 Flugblöcke eine Gesamtprozessdauer von 1-2 Quartalen bedeutet.

Abbildung 10: Technische Infrastruktur für Image-Matching und Luftbildspeicher



Quelle: Eigene Darstellung, Roland Neissl, BAB 2025

Die Luftbilddaten werden zunächst in einem zentralen, netzwerkfähigen Speicher abgelegt. Von dort aus erfolgt die Analyse der Bilder auf einem Master-Server, der die vorbereitenden Berechnungen durchführt. Anschließend übergibt dieser die Daten an den GPU-Cluster, in dem das eigentliche Image-Matching stattfindet. Die Cluster-Knoten arbeiten dabei koordiniert zusammen, speichern Zwischenstände kontinuierlich im zentralen Speicher und melden den Fortschritt an den Verarbeitungsserver zurück. Ein wesentlicher Vorteil der Clusterverarbeitung besteht darin, dass einzelne Ausfälle innerhalb des Systems durch andere Knoten kompensiert werden können. Ein Fehler führt somit nicht zum Abbruch oder Neustart des gesamten Prozesses – die Berechnung kann nahtlos vom zuletzt gespeicherten Stand fortgesetzt werden. Die zentrale Berechnung eines gesamten Flugblocks im Cluster reduziert den Überwachungsaufwand auf einen einzigen, zentral gesteuerten Prozess. Durch die Verwendung der Software Agisoft Metashape, die eine skalierbare und beliebig erweiterbare Hardware-Infrastruktur unterstützt, lässt sich die Rechenleistung flexibel an die jeweiligen Projektanforderungen anpassen.

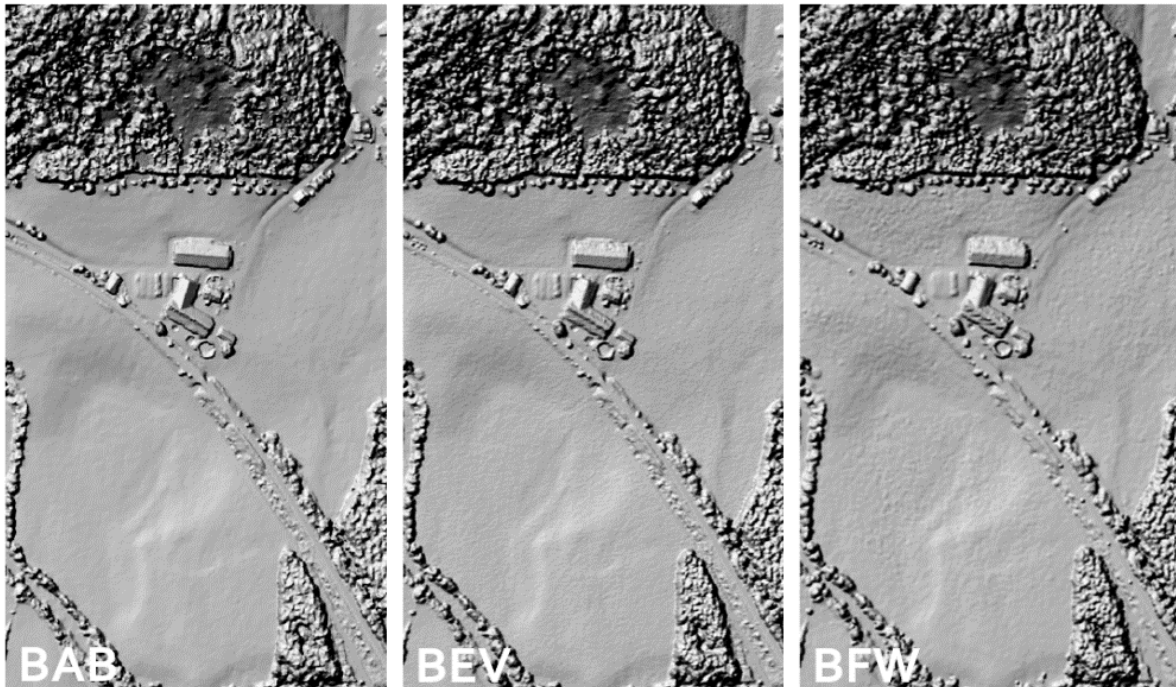
3.3.2 Optimierung der Prozessparameter und Ergebnisse der Oberflächenmodelle für den Einsatz im Bereich der Land- und Forstwirtschaft

Der Workflow sowie die Prozessierungsparameter wurden soweit angepasst, um bei vergleichbarer Qualität zeitnahe Ergebnisse generieren zu können. Ziel war eine möglichst gute Qualität bei automatisierter Berechnung ohne Nachbearbeitung der Modelle. Dafür wurden die Parameter für die Erstellung der Oberflächenmodelle optimiert und die Ergebnisse getestet – durch den Vergleich mit bestehenden Produkten und Höhendaten. Um die Qualität hinsichtlich der Nutzbarkeit auch aus Anwender:innensicht zu gewährleisten werden die Oberflächenmodelle auch der AMA sowie dem forstwirtschaftlichen Projekt LaDiWaldi für Tests zur Verfügung gestellt. Mit Fokus auf die Nutzbarkeit der Ergebnisse für landwirtschaftswissenschaftliche Fragestellungen wurden die Kooperationspartner in die Entwicklung und Evaluierung des Berechnungsverfahrens einbezogen. Zudem wurde als Anwendungsfall das Erkennen und Entwicklung von INVEKOS Landschaftselementen untersucht. Folgend werden die Teilergebnisse gegliedert dargestellt.

Vergleich der Digitalen Oberflächenmodelle von BAB, BEV, BFW und ALS

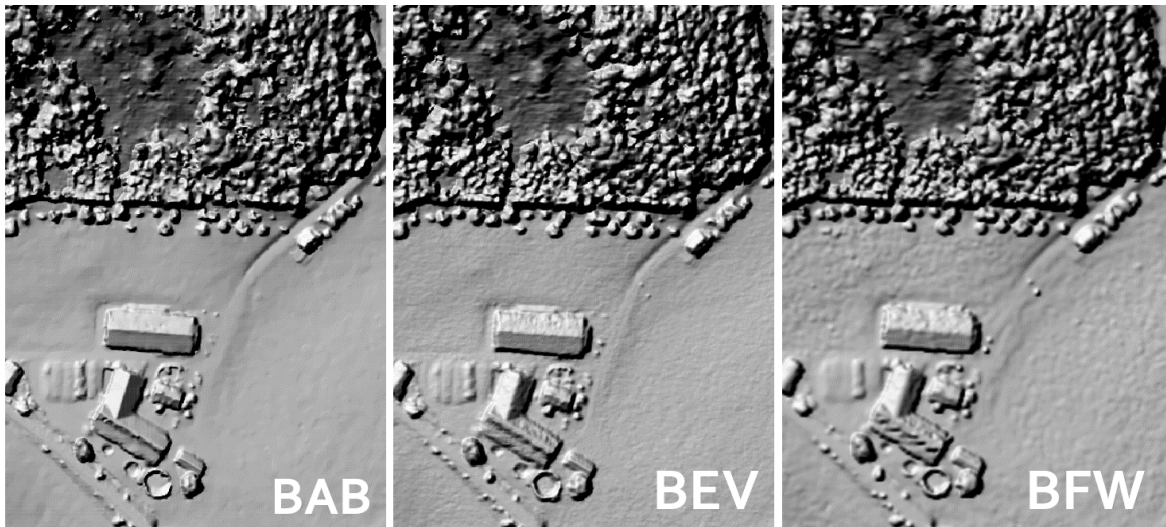
Anhand es Vergleiches von Schummerungen und Höhenprofilen (siehe Abbildung 11, S.27 bis Abbildung 13, S.28) wird ersichtlich, dass Landschaftsstrukturen wie Gebäude und Vegetation beim BFW-Modell in der Höhe betont werden. Das BAB-Modell liegt wiederum in den Profilen etwas niedriger als die Strukturen im BEV-Modell – die Software Agisoft Metashape filtert vergleichsweise stark.

Abbildung 11: Vergleich anhand Schummerungsdarstellungen der DOM von BAB, BEV und BFW



Quelle: Eigene Darstellung nach Berechnungen von BAB, BEV und BFW, Karin Schroll, BAB 2025

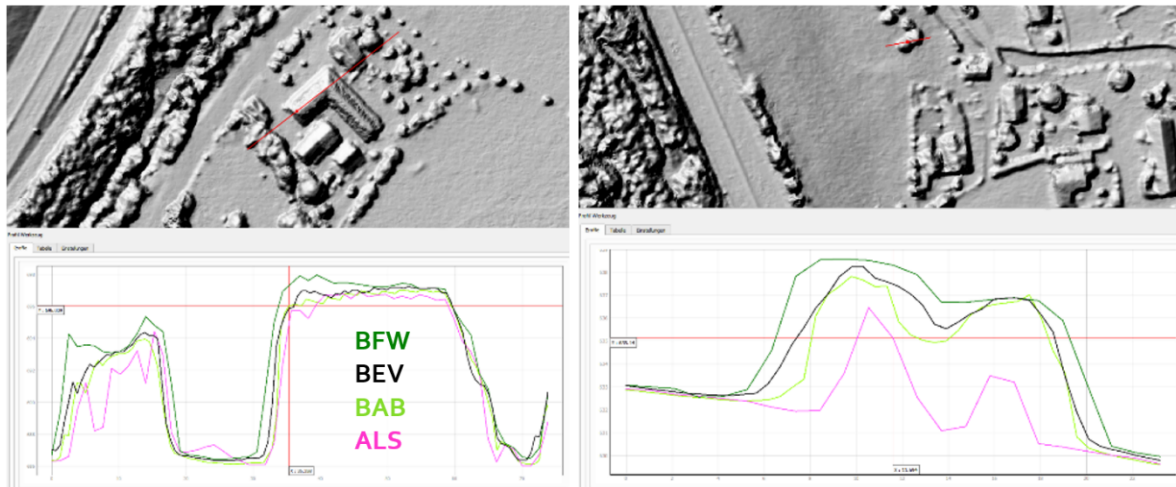
Abbildung 12: Detail-Vergleich anhand Schummerungsdarstellungen der DOM von BAB, BEV und BFW



BEV und BFW

Quelle: Eigene Darstellung nach Berechnungen von BAB, BEV und BFW, BAB 2025

Abbildung 13: Vergleich anhand von Profilen der Oberflächenmodelle von BAB, BEV und BFW



Quelle: Eigene Darstellung nach Berechnungen von BAB, BEV und BFW, Karin Schroll, BAB 2025

Vor allem bei Vegetation ist in den Profilen erkennbar, dass Strukturen im ALS-Modell – aufgenommen in der vegetationsfreien Zeit – niedriger sind, da Laserstrahlen weiter in den Bewuchs eindringen, wodurch sich ein Unterschied zu den DOM aus Image-Matching ergibt. Die Oberflächenmodelle aus Luftbildern unterscheiden sich nach Auflösung und verwendeten Bildern und Matching-Kanälen, wie in Tabelle 1 (S. 28) ersichtlich.

Tabelle 1: Dokumentation des Wissensaustausches

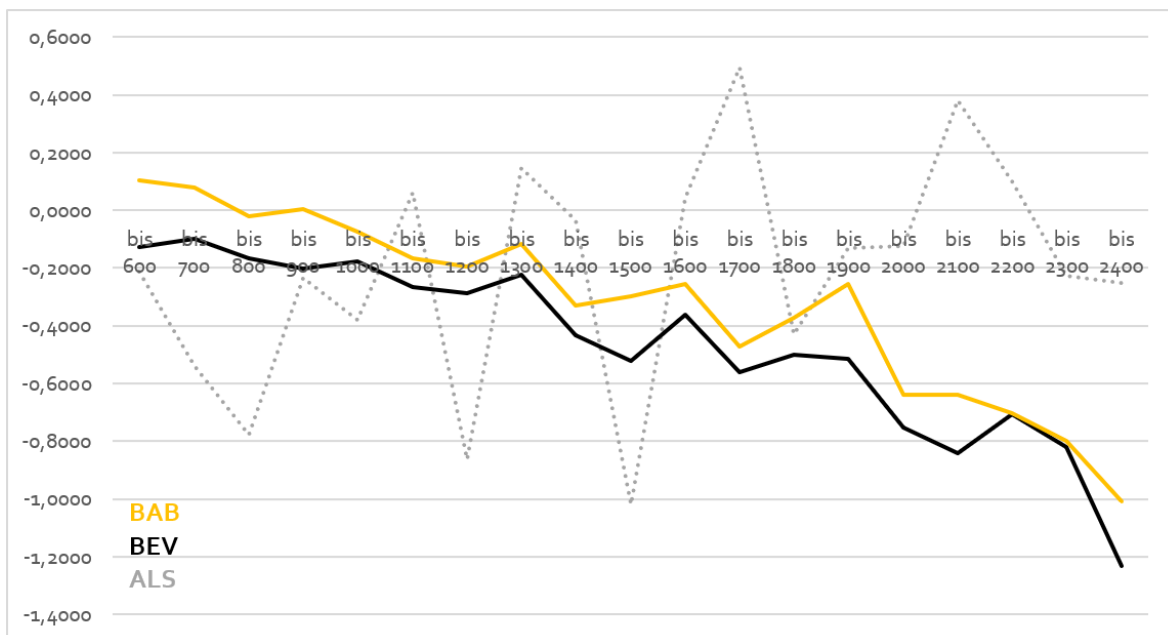
	BAB	BEV	BFW
Auflösung DOM	50 cm	50 cm	100 cm
Bilder	pan-geschärfte RGBI Bilder	panchromatische Bilder	RGBI-Bilder
Matching-Kanäle	Default (RGB(I))	panchromatisch	RGB

Quelle: W - Tabelle 3: Dokumentation des Wissensaustausches, S.47

Qualitätstests – Höhenvergleiche

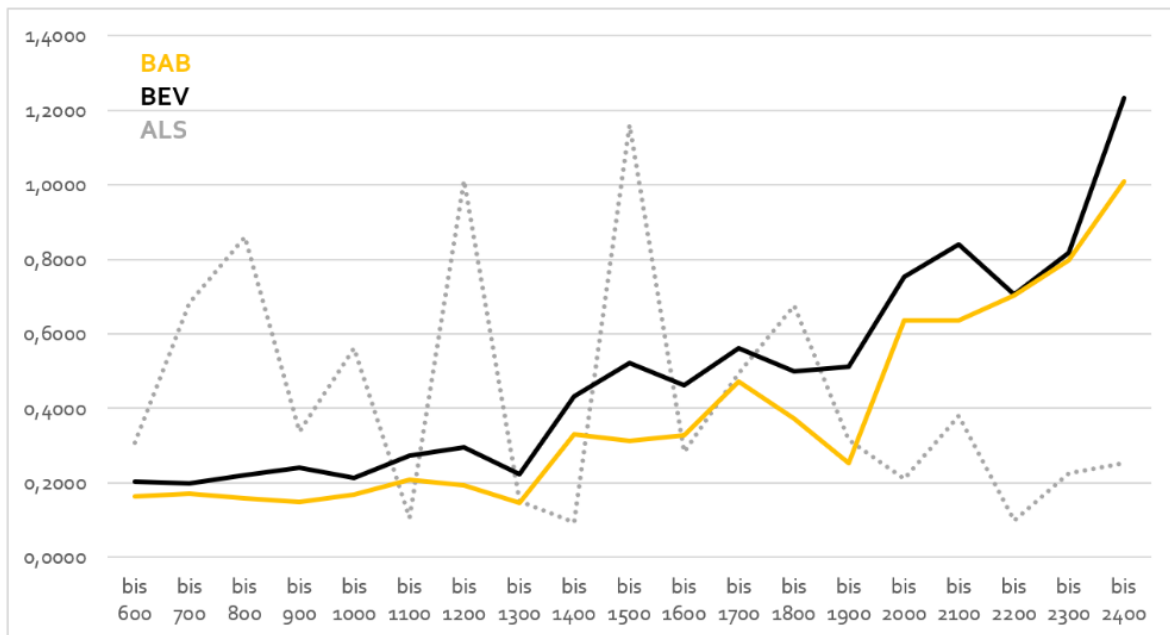
Zusätzlich zum Vergleich mit Oberflächenmodellen von BEV, BFW und dem ALS, wurden die besten Ergebnisse für einen Höhenvergleich mit einer Auswahl an Boden-Triangulierungspunkten des BEV durchgeführt, da diese eine vergleichsweise gute Höhengenaugkeit aufweisen. Es wurden jeweils die mittlere relative sowie die mittlere absolute Höhenabweichung berechnet – um auch einseitige Höhenverschiebungen beurteilen zu können, siehe Abbildung 14 und Abbildung 15 (S.30). Zusätzlich wurden die Vergleiche auch nach Höhenstufen (zu je 100m) der Höhenfestpunkte durchgeführt. Die mittlere absolute Höhenabweichung zwischen Festpunkten und Oberflächenmodellen liegt beim BEV bei 27 cm – beim besten Modell der BAB bei 21 cm. Das BEV-Oberflächenmodell liegt im Mittel etwa 15 cm höher als das BAB-DOM.

Abbildung 14: Mittelwert der relativen Abweichungen je Höhenstufe (Festpunkthöhe minus Modellhöhe) [m]



Quelle: Eigene Darstellung nach Berechnungen von BAB und BEV, Karin Schroll, BAB 2025

Abbildung 15: Mittelwert der absoluten Abweichungen je Höhenstufe (Festpunkthöhe minus Modellhöhe - Absolut-wert) [m]



Quelle: Eigene Darstellung nach Berechnungen von BAB und BEV, Karin Schroll, BAB 2025

Mit zunehmender Seehöhe werden die Oberflächenmodelle nach oben verzerrt. Im Hochgebirge liegen die DOM bis etwa 1 Meter höher im Vergleich zu den Triangulierungspunkten. Die ALS-Daten zeigen diese Höhenverzerrung nicht, weisen im Mittel jedoch größere Abweichungssprünge auf. Dies ist eventuell auf die gröbere räumliche Auflösung (von 1 m) und die geringe Lagegenauigkeit des ALS zurückzuführen (X/Y-Genauigkeit von +/- 40 cm). Durch die Lageungenauigkeit verschiebt sich der Vergleichspunkt – so kann es trotz der Höhengenaugkeit (Z-Genauigkeit +/- 15 cm) zu relativ großen Abweichungen kommen (S - Tabelle 3: Dokumentation des Wissensaustausches, S.47).

Optimale Prozessierungsparameter

Folgend werden in einer knappen Übersicht (siehe Tabelle 2, S. 31) die verwendeten Prozessierungsparameter angeführt. Der vollständige technische Workflow sowie die Testsettings im Zuge der Parameter- und Prozessoptimierung werden im Technischen Anhang (siehe A.1 Parametertests 1-20, S.87 und A.2 Parametertests A-L, S.89) ausführlich dargestellt. Dort erfolgt ebenso die Erläuterung zu den Einstellungen der Kamerakalibrierung und den Reference Settings sowie weitere technische Erklärungen.

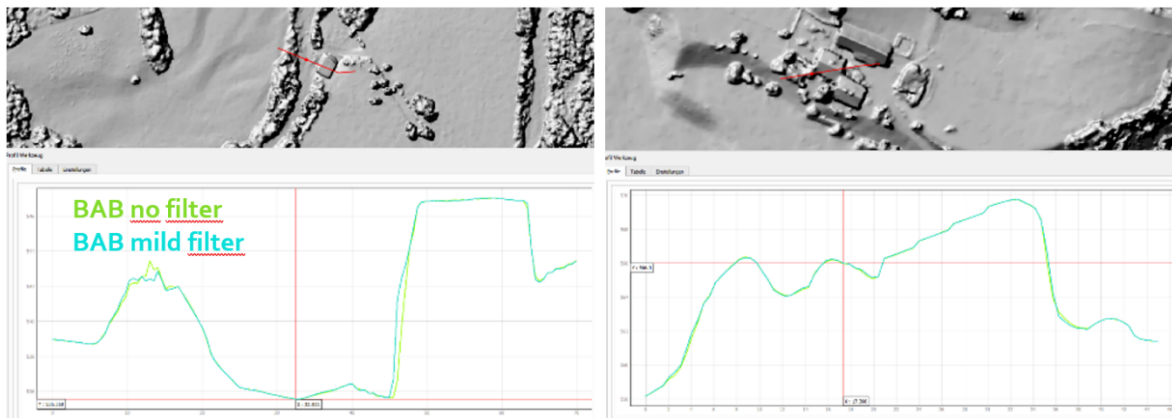
Tabelle 2: Relevante gewählte Parameter für qualitativ hochwertige DOM

Parameter	Einstellung	Erklärung
DOM Qualität (Räumliche Auflösung / Qualität des Ergebnisprodukts)	high	Guter Kompromiss zwischen Qualität und Berechnungsdauer, mit dieser Einstellung sind 36 cm Bodenauflösung möglich (bei „ultra“ 18 cm, bei „medium“ 72 cm)
Querstreifen-Bilder	ohne	Miteinbezug bringt keine Verbesserung, da Aufnahmezeitpunkte abweichen (Lichtbedingungen) lassen wir Querstreifen weg
Verwendeter Kanal zum Matching „primary channel“	RGBI / NIR	sehr ähnliche Ergebnisse, leicht bessere Ergebnisse mit RGBI („default“)
Anzahl der Nachbarbilder, die beim Matching miteinbezogen werden	6	6 Nachbarbilder werden beim Matching miteinbezogen (Zusatzanforderung ist das Erreichen des „point threshold“ von 100 gemeinsamen „tie points“ der Bilder). Anzahl der Nachbarbilder hat große Auswirkungen auf Berechnungsgeschwindigkeit.
Adaptive Camera Model Fitting (ACMF)	adaptive camera model fitting	liefert bessere Ergebnisse als mit deaktiviertem „adaptive camera model fitting“ ist ein Verfahren, zur Anpassung (und Verhindern von Überanpassung) von internen Kamerakalibrierungsparametern wie z.B. Brennweite, Hauptpunkt, Verzerrung, ... Betrifft nicht die äußere Orientierung wie Kameraposition, Kamerarotation, GNSS-Daten Einsatz ist empfohlen für große Flächen – bei vorab kalibrierten Kameras (wie bei Luftbildbefliegungen), jedoch nicht notwendig (da nicht volle Kontrolle über die Parameter, zum Teil „black box“).
Anzahl der GCPs als Pass- und Kontrollpunkte – zur Stabilisierung der Lage und Höhe mittels Kontrollpunkten im Modell	5 (3PP, 2 KP)	Für die Stabilisierung der Lage und Höhe mittels Kontrollpunkten im Modell; eine höhere Anzahl an verwendeten Pass- und Kontrollpunkten lieferte keine besseren Ergebnisse
Filtering-Einstellung Einstellung zum Filtern von Ausreißer-Werten	no	Software filtert generell sehr stark, um Vegetation im DOM zu erkennen ist es sinnvoll, nicht bzw. wenig zu filtern (kaum qualitativer Unterschied zwischen no und mild filtering)
Anzahl Key / Tie-Points	40.000 / 10.000	Empfehlung laut user manual; tie points sind Punkte, die in mehreren Bildern übereinstimmen – werden zur Bildausrichtung benutzt, um Kamerapositionen und -orientierungen zu berechnen

Quelle: eigene Zusammenstellung, Karin Schroll, BAB 2025

Aus ersten Tests wurde erkennbar, dass die Software Agisoft Metashape Strukturen vergleichsweise stark filtert. Zwischen den unterschiedlichen Filter-Einstellungen weichen die Ergebnisse allerdings nur wenig voneinander ab. Abbildung 16 zeigt Unterschiede zwischen „no“ und „mild filtering“. Um kleine Strukturen im Modell möglichst zu erhalten für wird für die DOM-Erstellung die Einstellung „no filter“ empfohlen.

Abbildung 16: Vergleich unterschiedlicher Filtereinstellungen in Agisoft Metashape



Quelle: Eigene Darstellung in QGIS nach Berechnungen von BAB, Karin Schroll, BAB 2025

Testeinsatz für die AMA – Nutzbarkeit der Ergebnisse für die landwirtschaftliche Förderabwicklung

Anfang 2022 wurde das berechnete DOM auf seine Eignung für den Einsatz im Projekt **OARA** (Optimiertes Automatisiertes Referenzsystem für Almen) der **AMA** getestet. Ziel war es, möglichst automatisiert und flächengenau (auf Quadratmeter) die überschirmte Flächen von den förderfähigen Flächen abzugrenzen. Im vorangegangenen Projekt war auch niedriger Bewuchs relevant, jedoch erwies sich die Qualität der damals verfügbaren Modelle dafür als unzureichend – im Projekt OARA wird Vegetation unter 3m Höhe nicht mehr berücksichtigt.

Die überschirmte Fläche wird aus einem Differenzhöhenmodell, dem sogenannten **nDOM**, abgeleitet. Eine Herausforderung stellt dabei der Einsatz reiner **ALS-Höhendaten** dar, insbesondere in Regionen, in denen die letzte Befliegung bereits lange zurückliegt. In solchen Fällen sind die Daten oft veraltet: Bäume, die in den ALS-Daten noch enthalten sind, existieren mitunter längst nicht mehr. Das beeinträchtigt die Nachvollziehbarkeit für landwirtschaftliche Betriebe und führt zu zusätzlichem Änderungsaufwand. Ein auf den Luftbildbefliegungen basierender Ansatz hätte den Vorteil, dass die Datenbasis des Orthofotos, die bei der AMA und den Betrieben im Einsatz ist – zeitlich und inhaltlich zusammenpasst mit den Image-Matching-Modellen, was die Nachvollziehbarkeit erhöht.

Ein weiterer Nachteil von ALS-Daten für die genannte Anwendung ist, dass beispielsweise **Hochspannungsleitungen** im Modell enthalten sind und fälschlicherweise als Wald erkannt werden können. Solche Strukturen wurden im Image-Matching-Modell der **BAB** kaum erfasst – bedingt durch die starke Filterung der eingesetzten Software. Diese Filterung hat jedoch auch Nachteile: Feinstrukturierte Vegetation wie Einzelbäume oder niedriges Buschwerk wird mitunter ebenfalls herausgefiltert und somit nicht erfasst. Abbildung 17 zeigt Vegetation ab 3 m Höhe (relevanter Schwellenwert der AMA). In grün dargestellt ist das BFW DOM, das mehr Einzelbäume erkennt als das in orange dargestellte DOM der BAB. Ebenso wurde seitens der AMA bemerkt, dass mit dem BAB-Modell und dem Schwellenwert von 3 m beim BAB-Modell Latschenfelder unvollständig sind, diese werden im BFW-Modell vollständiger abgebildet. Da Latschen meist nicht wesentlich höher als 3 m wachsen treten hier die Unterschiede der beiden Modelle besonders zu Tage.

Abbildung 17: Vegetation ab 3m Höhe – laut BFW DOM (grün) und BAB DOM (gold)



Quelle: eigene Darstellung in QGIS – aus Besprechung mit AMA, Karin Schroll, BAB 2025

Ein Schwachpunkt der Image-Matching-DOM für die Anwendung liegt in der **geringen Genauigkeit in Schattenbereichen**. Besonders an Waldrändern entstehen lange Schatten auf den Luftbildern, in denen deutlich weniger übereinstimmende Punkte erkannt werden. Diese Flächen sind daher fehleranfällig und werden teils großflächig interpoliert. In solchen Bereichen sind ALS-Daten deutlich überlegen, da sie unabhängig von spektralen Informationen sind. Seitens der AMA wurde der Flugblock Windischgarsten – zusätzlich zum Jahr 2019 – **auch aus dem Jahr 2016 analysiert**, um mögliche zeitliche und methodische Veränderung beurteilen zu können. Der Schattenwurf unterscheidet sich bei Bildern aus unterschiedlichen Jahren, weshalb auch zeitliche Vergleiche hier fehleranfällig sind. Für eine österreichweite Anwendung für die AMA bietet das Image-Matching-DOM den Vorteil einer **höheren Homogenität**: Etwa 30 Flugblöcke werden im Rahmen eines 3-jährigen Befliegungszyklus regelmäßig aktualisiert. Im Gegensatz dazu sind die ALS-Daten deutlich heterogener, was Fluglose und Befliegungsjahre betrifft.

Insgesamt wurden die getesteten Daten einige genannte Schwachstellen attestiert und sie insgesamt betrachtet als **gut geeignet für den Anwendungsfall im Projekt OARA bewertet**.

LaDiWaldi – Test seitens BOKU Institut für Waldwachstum

Im Projekt LaDiWaldi wurden in verschiedenen Testregionen Österreichs neue Ansätze zur Durchführung einer digitalen Waldinventur untersucht. Mit einer im Projekt entwickelten App zur selbstständigen Durchführung von Waldinventuren für Kleinwaldbesitzer. Mittels mobiler Endgeräte mit integriertem LiDAR-Scanner können damit forstliche Daten im Wald erfasst werden und anschließend verknüpft mit Vegetationshöhenmodellen nDOM, um Holzvorräte zu berechnen. Da die ALS-Daten regional sehr unterschiedlich aktuell sind und für korrekte Holzvorratsprognosen möglichst aktuelle Daten verwendet werden sollten, wurde das Projekt Image-Matching gebeten, testweise ein Image-Matching-DOM für ein Projektgebiet in Greuth in Kärnten zu erstellen. Diese haben sich nach Prüfung als sehr gut und geeignet für die Anwendung erwiesen.

Test INVEKOS Landschaftselemente

Die Vektorgeometrien von INVEKOS Landschaftselementen wurden mit den Ergebnissen der DOM-Berechnung von Windischgarsten analysiert sowie die Jahre 2016 und 2019 stichprobenhaft gegenübergestellt. An linienhaften Landschaftselementen wie beispielsweise Hecken, Ufergehölze und Uferrandstreifen beeinflussen der Sonnenstand und der daraus resultierende Schattenwurf das Ergebnis. Abbildung 18 (S. 35) zeigt unterschiedliche Schattensituationen der selben Landschaftselemente sowie die vom Schattenwurf beeinflussten Profile eines Landschaftselementes der DOM von 2016 und 2019. Dabei wird ein Ost-West Versatz zwischen den Modellen deutlich.

Abbildung 18: Profilvergleiche von INVEKOS Landschaftselementen 2016 und 2019



Quelle: Eigene Darstellung in QGIS mit profile tool nach Berechnungen von BAB, Karin Schroll, BAB 2025

Den in der Analyse gewonnen Erkenntnissen entsprechend, konnten großflächigere Landschaftselemente wie beispielsweise „GLÖZ Feldgehölz/Baum-/Gebüschgruppe“ plausibler vermessen werden. Das folgende Beispielsprofil (siehe Abbildung 19, S. 36) weist einen Höhenzuwachs in dieser Baumgruppe aus. Wie das Bildmaterial zeigt ist der Profilpfad nicht durch Schattenwurf beeinträchtigt. Die ausgewiesenen Höhenwerte korrespondieren auch sehr gut mit dem ALS Oberflächenmodell, das im gleichen Jahr aufgenommen wurde wie die Matching-Modelle von 2019.

Abbildung 19: Profilvergleich großflächigeres Landschaftselement



Quelle: Eigene Darstellung in QGIS mit profile tool nach Berechnungen von BAB, Karin Schroll, BAB 2025

Am Beispiel eines Waldbereichs, der an eine Ackerfläche und Grünland grenzt (siehe Abbildung 20, S. 37), lässt sich in der Profildarstellung ein deutlicher Waldzuwachs zwischen den Jahren erkennen. Die Analyse der Höhenvarianz – also der Differenz der Höhenwerte zwischen 2019 und 2016 – zeigt deutlich, dass die größten Unsicherheiten beim Image-Matching in den verschatteten Randbereichen auftreten.

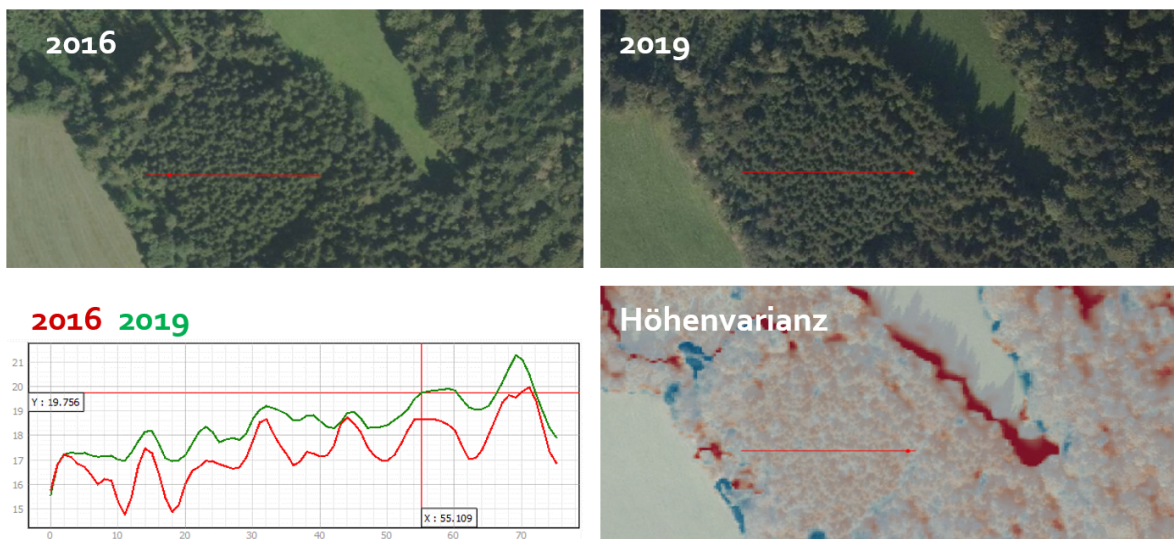
In stark abgeschatteten Zonen stößt das Image-Matching-Verfahren an seine Grenzen: Korrespondierende Pixel können dort nicht mehr zuverlässig identifiziert werden, hier wird interpoliert, um ein lückenloses Modell zu erzeugen. Dies führt dazu, dass die Höhenvarianz speziell an den Waldrändern mit unterschiedlichem Schattenwurf besonders hoch ausfällt – sichtbar an den intensiveren Blau- und Rottönen in der Visualisierung der Höhenvarianz.

Hauptursache für diese Varianz ist vermutlich der unterschiedliche Sonnenstand bei den jeweiligen Befliegungen, der zu teils erheblichen Unterschieden im Schattenwurf führt – und damit die Vergleichbarkeit zwischen den Jahren einschränkt. Besonders betroffen sind schmale, lineare Landschaftselemente wie Hecken, Ufergehölze oder Uferrandstreifen, da der Schattenwurf bei diesen Strukturen im Verhältnis zur Gesamtfläche besonders stark ins Gewicht fällt.

Die Analyse hat gezeigt, dass der Befliegungszeitpunkt und der damit verbundene Schattenwurf insbesondere bei höheren Objekten eine entscheidende Rolle für die Genauigkeit der Auswertung spielen. Um verlässliche und vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, ist daher der Sonnenstand zum Befliegungszeitpunkt ein kritischer Faktor.

Für eine gezielte Untersuchung der Entwicklung von Landschaftselementen könnten die INVEKOS-Geometrien als Grundlage dienen. Ein objektbasierter Analyseansatz – beispielsweise mit der Software eCognition – wäre hierfür besonders gut geeignet.

Abbildung 20: Profilvergleich und Höhenvarianz Waldbereich 2016 und 2019



Quelle: Eigene Darstellung in QGIS mit profile tool nach Berechnungen von BAB, Karin Schroll, BAB 2025

Höhenversatz bei Mehrjahresvergleichen

Während in großen Teilen sehr plausible Ergebnisse und auch Abweichungen zwischen den Modellen 2016 und 2019 generiert werden konnten, liegt das Modell von 2019 zum Teil systematisch niedriger als das Modell von 2016 – siehe das Beispiel eines Straßenlängsschnittes in Abbildung 21 (S. 38). Wie man dem Profil entnehmen kann, liegt das aus den DLBs 2016 abgeleitete DOM im Straßenbereich sehr nahe am ALS Modell. Das Ergebnis aus 2019 liegt systematisch rund 20-30cm tiefer. Im Profil wird auch deutlich, dass die 2019er Daten bei gleichen und an die Metadaten angepassten Parametereinstellungen eine höhere Varianz aufweisen. Folglich ist für stabile Vergleichbarkeit zwischen den Jahren und eine zuverlässige Change Detection eine weitere Feinjustierung der Einstellungen erforderlich.

Abbildung 21: Höhenversatz 2016 und 2019 Straßenlängsschnitt



Quelle: Eigene Darstellung in QGIS mit profile tool nach Berechnungen von BAB, Karin Schroll, BAB 2025

3.3.3 Know-How-Aufbau zu weiteren höhenbasierten Produkten aus dem Image-Matching

Auf Basis der geschaffenen Infrastruktur ist es nun möglich, auch weitere, sehr rechenintensive Produkte zu erzeugen. Im Sinne einer effizienten Mehrfachnutzung bestehender Geodaten wurden im Rahmen des Projekts Berechnungen von Punktwolken, 3D-Meshes und True-Orthofotos durchgeführt. Ziel war es, erfolgreich durchlaufende Berechnungen und inhaltlich nutzbare Ergebnisse in praxisgerechten Formaten zu erzielen – mit einem besonderen Fokus auf den Einsatz von Open-Source-Software. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse zu Formeln, Datenformaten, Datenmengen sowie zu geeigneter Software liefern wichtige Parameter für eine zukünftige Skalierung, die eine österreichweite Berechnung dieser Produkte ermöglichen würde.

Punktwolken

Punktwolken sind bei Agisoft Metashape seit Version 2.0 kein „notwendiges“ Zwischenergebnis mehr bei der Berechnung von Digitalen Oberflächenmodellen – im Gegensatz zur von BEV und BFW verwendeten Software Trimble MatchT. Beim BFW werden die Punktwolken langfristig gespeichert und für Analysen verwendet, beim BEV sind sie ein Zwischenprodukt für die Erstellung der DOM und werden im Nachgang gelöscht (N - Tabelle 3: Dokumentation des Wissensaustausches, S. 47).

Bei der Berechnung der Punktwolken in Agisoft Metashape (Befehl: „Build point cloud“) aus den österreichischen Luftbildern ergeben sich bei der mittleren Qualitätseinstellung 2 Punkte/m², bei der Qualitätseinstellung hoch etwa 8 Punkte/m², bei ultrahoch 25 Punkte/m². Für eine gewünschte Zielauflösung von 20 cm sind mindestens 25 Punkte je Quadratmeter – und damit die höchste Qualitätseinstellung – notwendig. (D - Tabelle 3: Dokumentation des Wissensaustausches, S. 47).

Im Unterschied zum DOM können in den Punktwolken auch Spektralinformationen gespeichert werden. Laut BFW liegt – wenn RGB-Information in den Punkten mitgespeichert werden – der Speicherbedarf im LAS Format für ganz Österreich bei 130TB, im LASZIP Format ca. 45 TB (N - Tabelle 3: Dokumentation des Wissensaustausches, S. 47). In hoher Auflösung ist die Handhabung (Speicherung, Prozessierung, Analyse und Visualisierung) von Punktwolken nach wie vor sehr ressourcenintensiv. Deshalb werden die Punktwolken eines Flugblockes im BFW für die langfristige Speicherung in kleinen Kacheln mit wenigen hundert Metern Seitenlänge strukturiert. Auch Rico Richter vom Hasso-Plattner-Institut der Universität Potsdam rechnet mit höchster Auflösung und empfiehlt mindestens 25 Punkte/Quadratmeter – wenn zum Beispiel detaillierte Bauminformationen generiert werden sollen. Er schätzt Punktwolken aus der Vergangenheit als sehr wertvolle Datensätze. Ebenso schätzt das BEV (F - Tabelle 3: Dokumentation des Wissensaustausches, S. 47) Punktwolken als gute Ausgangsbasis für Analysen und damit als besonders zukunftssträchtige Datenbasis – wenn gleich es aufgrund der großen Datenmengen Konzepte für Speicherung, Rendering und Streaming braucht.

Laut der Erfahrung von Rico Richter (I - Tabelle 3: Dokumentation des Wissensaustausches, S. 47) unterscheiden sich die unterschiedlichen Softwareprodukte beim Image-Matching hauptsächlich in der Performance wohingegen die Ergebnisqualität relativ gleich ist (Beispiele waren SURE von nFRAMES und Agisoft Metashape). Die Kameraparameter und die Befliegung selbst haben einen größeren Einfluss auf das Matching-Ergebnis als die Software. Zur Klassifikation empfiehlt er AI und Deep Learning.

Während die Software Agisoft Metashape insgesamt zwar generell eine starke Filterung vornimmt und sich bei den digitalen Oberflächenmodellen (DOM) trotz unterschiedlicher Filtereinstellungen nur geringe Ergebnisunterschiede zeigten, traten in den Punktwolken deutliche Abweichungen auf. Insbesondere die Einstellung „aggressive filtering“ führte zu einer sehr starken Entfernung von Ausreißern.

Nach der Punktwolkenberechnung in Agisoft Metashape kann die Punktwolke in unterschiedlichen Formaten gespeichert werden. Beim Abspeichern im üblichen Format LAS (oder in der komprimierten Version LAZ) wurden anfangs nur die drei Kanäle Rot Gelb und Blau als Information übernommen, da diese automatisch im Punktwolkenformat LAS 1.2 gespeichert wurde. Agisoft erkannte den Infrarotkanal nicht eindeutig. Nach Zuweisung der Bezeichnung des NIR-Kanals (siehe Screenshot des Code-Snippet in Abbildung 22) wurde dieser als vierter Kanal erkannt und beim Export der Punktwolke automatisch das Format LAS 1.4 verwendet – in dem bis zu 10 zusätzliche Attribute mitgespeichert werden können – dies ermöglicht das Mitspeichern der Farbinformation des Infrarotkanals. Laut Agisoft Support werden Punktwolken im Format 1.4 exportiert, wenn die Ausgangs-Punktwolke mehr als 4 Milliarden Punkte aufweist oder die PointColors-Option aktiviert ist und ein Farbband als Infrarotband definiert ist. Speichert man nur die 3D Koordinaten der Punkte (ohne Punktfarben) sinkt der Speicherplatz ungefähr auf die Hälfte.

Abbildung 22: Definition und Benennung des vierten Kanals als „NIR“ in Agisoft Metashape mit Python

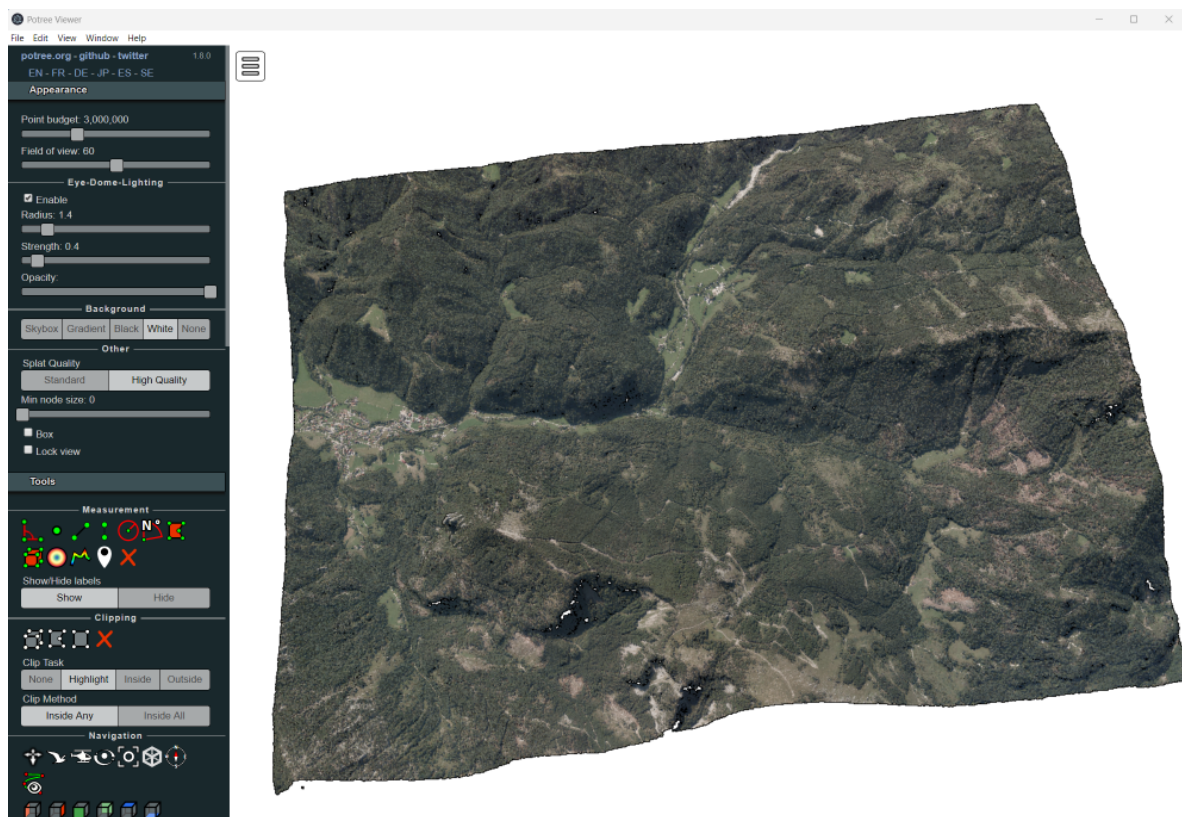
```
1 import Metashape
2 for sensor in Metashape.app.document.chunk.sensors:
3     sensor.bands = "Red", "Green", "Blue", "NIR"
```

Quelle: BAB, eigene Darstellung, Karin Schroll, BAB 2025

„LAS-Tools“ von rapidlasso enthält viele Software-Werkzeuge zur Verarbeitung und Analyse von Punktwolken (insbesondere in den Formaten LAS und LAZ). Mit dem darin verfügbaren tool „lasinfo“ können Metadaten und Statistiken – auch zu den enthaltenen Farbkanälen – von Punktwolken abgefragt werden. LAsTools sind zum Teil OpenSource, zum Teil proprietär. LAsTools und PDAL (open source) sind besonders für die automatische Verarbeitung von Punktwolken geeignet. GIS Vorarlberg verwendet LAS-Tools für die Klassifikation der Punktwolken des ALS, damit werden gute Ergebnisse geliefert (K- Tabelle 3: Dokumentation des Wissensaustausches, S. 47). Die Software Opals (proprietäre Software zur Analyse, Verarbeitung und Modellierung von LiDAR-Punktwolken mit Funktionen für Punktwolkenklassifikation, Filterung, Georeferenzierung und Ableitung von Geländemodellen) und LAS-Tools sind stabil bei Kontrolle der Punktlage. Mit Opals kann man die Interpolationsmethode auswählen – im Gegensatz zu LAS-Tools oder Agisoft Metashape. Für die Bearbeitung, Analyse und Vergleich von Punktwolken hat sich ebenso die Open-Source-Software Cloud Compare (mit GUI) als praktikabel herausgestellt, der Fokus liegt dabei mehr auf der visuellen Analyse. (K - Tabelle 3: Dokumentation des Wissensaustausches, S. 47)

Für die Visualisierung der Punktwolken wurde die Software Potree verwendet – eine spezialisierter an der TU Wien entwickelter Open-Source-Point-Cloud-Renderer, mit der man große Punktwolken effizient im Webbrowser darstellen kann (Schütz, 2015). Die flüssige Navigation der Punktdaten ist möglich, da Potree die Punkte in hierarchischer Struktur speichert – Format „Octree“, wobei nur die Daten geladen werden, die im aktuellen Blickfeld liegen. Dafür werden die Daten mit dem PotreeConverter vorverarbeitet, komprimiert und dabei in kleine, strukturierte Dateien zerlegt. Abbildung 23 zeigt die Darstellung einer berechneten Punktwolke aus dem Flugblock Windischgarsten 2019 in Potree Desktop. Im Bedienfeld links können Visualisierungseinstellungen getroffen werden bzw. Messwerkzeuge ausgewählt werden.

Abbildung 23: Darstellung einer berechneten Punktwolke in Potree Desktop



Quelle: Screenshot potree Desktop – Punktwolken-Darstellung nach eigener Berechnung, Karin Schroll, BAB 2025

Ein weiteres geeignetes Tool für die Darstellung von Punktwolken ist der Cesium 3D Viewer (K - Tabelle 3: Dokumentation des Wissensaustausches, S. 47) – eine WebGL-basierte Plattform für die interaktive Darstellung von 3D-Geodaten im Browser. Cesium JS ist eine JavaScript-Bibliothek für die Darstellung von 3D-Geodaten im Browser. Die Darstellung von COPC (Cloud Optimized Point Cloud) wird unterstützt – der Viewer ist Open Source, die Cloud-Dienste und Zusatzfunktionen teilweise kostenpflichtig.

Der Trend bei Punktwolkenformaten geht klar zu COPC (K - Tabelle 3: Dokumentation des Wissensaustausches, S. 47). Klassische LAS und LAZ-Dateien stoßen bei großen Datensätzen an ihre Grenzen – COPC setzen die Idee der hierarchischen Struktur wie Octree bei Potree standardisiert um. Die Entwicklung wird von Open-Source-Tools wie Entwine und PDAL vorangetrieben.

Für die Erstellung von Digitalen Oberflächenmodellen aus Punktwolken von ALS-Befliegungen bestehen gute Erfahrung mit der Software Global Mapper, die in Berechnungsprozessen wochenlang stabil läuft, über eine Schnittstelle für Python-Skripte verfügt, gut skaliert und mit großen Rasterdaten umgehen kann. Interessant ist auch die pixel-to-point-Funktion und das Exportieren von Raster-Tiles (K- Tabelle 3: Dokumentation des Wissensaustausches, S. 47).

3D-Mesh-Modelle

Mit Agisoft Metashape können 3D-Mesh-Modelle auf unterschiedliche Arten generiert werden. Im Zuge des Projekts wurden mit Luftbilddaten eines ca. 195 km² großen Testgebiets aus dem Flugblock Windischgarsten 2019 die verschiedenen Möglichkeiten zur Generierung von 3D-Mesh-Modellen getestet. Alle 3D-Mesh-Modelle wurden basierend auf denselben Depth Maps erstellt. Getestet wurde die Generierung von Mesh-Modellen ohne Unterteilung in Blöcke oder Kacheln, die Generierung von Mesh-Modellen in 2500-m-Blöcken („Build Model“ mit der Auswahl „Split in blocks“) sowie die Generierung eines gekachelten Mesh-Modells („Build Tiled Model“).

Für eine realistische Darstellung von Mesh-Modellen muss zunächst eine Farbkalibrierung und anschließend eine Texturierung des Mesh-Modells durchgeführt werden. Durch die Farbkalibrierung werden die Effekte von unterschiedlichen Lichtverhältnissen reduziert. Die Texturierung reichert das Mesh-Modell mit Oberflächeninformationen aus den Luftbildern an. Bei der Erstellung gekachelter Mesh-Modelle in Agisoft Metashape wird die Texturierung auf Basis der Luftbilder automatisch durchgeführt (Agisoft LLC, 2024). Abbildung 24 (S.43) zeigt ein texturiertes 3D-Mesh-Modell von Admont in der Steiermark in Fern- und Nahansicht.

Abbildung 24: 3D-Mesh-Modell von Admont, Steiermark | 0,5m Auflösung



Quelle: Zusammenstellung von Bildexporten aus QGIS, 3D-Mesh-Modell nach eigener Berechnung, Gabriel Zeglovits, BAB 2026

Zur Visualisierung der generierten 3D-Mesh-Modelle außerhalb von Agisoft Metashape müssen die Modelle exportiert werden. Agisoft ermöglicht dafür den Export in unterschiedliche 3D-Formate. Im Rahmen des Projekts wurde der Export in die Formate Stanford PLY (.ply), Binary glTF (.glb), Cesium 3D Tiles 1.0 und Cesium 3D Tiles 1.1 getestet. Die Cesium 3D Tiles wurden vom Open Geospatial Consortium (OGC) als Standard übernommen (OGC 3D Tiles 1.0 & OGC 3D Tiles 1.1). Es wurde festgestellt, dass die unterschiedlichen Mesh-Modell Formate, in den getesteten Visualisierungsapplikationen (QGIS 3.44, ArcGIS Pro 3.3.1, Global Mapper 24.1 und MeshLab 2023.12) unterschiedlich Kompatibilitäten und Performanz aufweisen. Manche Formate wurden von den Visualisierungsapplikationen nicht unterstützt bzw. nicht erkannt. Jene Formate die keine Kachelung der Mesh-Modelle unterstützen, konnten aufgrund der Dateigrößen von 21,8 GB bzw. 38,3 GB auch am eingesetzten GPU-Server nicht mit akzeptabler Performanz geladen werden.

Nach Abschluss der Tests konnte festgestellt werden, dass sich für die Generierung und Visualisierung von 3D-Mesh-Modellen großflächiger Gebiete auf Basis von Luftbilddaten ausschließlich gekachelten Ansätze eignen. Die Generierung eines gekachelten Mesh-Modells mit Agisoft Metashape, der Export im Cesium 3D Tiles Format und die 3D-Visualisierung in der „3D Map View“ von QGIS hat sich als vielversprechendster Ansatz im Zuge der durchgeführten Tests erwiesen.

Abbildung 25 zeigt exemplarisch ein 3D-Mesh-Modell einer Rutschung im Grießgraben am Pleschberg in den Ennstaler Alpen, visualisiert in QGIS.

Abbildung 25: 3D-Mesh-Modell der Rutschung im Grießgraben am Pleschberg, Ennstaler Alpen



Quelle: Zusammenstellung von Bildexporten aus QGIS, 3D-Mesh-Modell nach eigener Berechnung, Gabriel Zeglovits, BAB 2026

Generell kann festgestellt werden, dass Mesh-Modelle vor allem für visuelle Repräsentation von Gebieten auf Basis von Luftbilddaten geeignet sind. Für analytische Auswertungen sind DOM geeigneter und auch ressourceneffizienter.

True-Orthofotos

Für das Testgebiet aus dem Flugblock Windischgarsten 2019, das bereits für die Generierung der 3D-Mesh-Modelle verwendet wurde, konnten mit Agisoft Metashape True-Orthofotos erstellt werden. Die Berechnung erfolgte auf Basis des für das Testgebiet erstellten DOM mit 0,5 m Auflösung. Im Agisoft Metashape Manual wird darauf hingewiesen, dass DOM eine performantere Grundlage für die Erstellung von True-Orthofotos aus Luftbilddaten darstellen als 3D-Mesh-Modelle (Agisoft LLC, 2024). Letztere werden insbesondere für True-Orthofotos von hochaufgelösten Aufnahmen einzelner Objekte empfohlen (Agisoft LLC, 2024).

Die Qualität der perspektivischen Entzerrung ist bei hohen Objekten im Testgebiet jedoch gering. So sind im Bereich der Dachtraufen des Stifts Admont Artefakte erkennbar, siehe dazu die Gegenüberstellung eines Gebäudebereichs des Stifts Admont zwischen dem Orthofoto und dem erstellten True-Orthomosaik in Abbildung 26. Es wird angenommen, dass diese Artefakte auf den zu geringen Überlappungsbereich der Luftbilder zurückzuführen sind. Für qualitativ hochwertige photogrammetrische Produkte wie True-Orthofotos ist eine Längsüberlappung von mindestens 80 % und eine Querüberlappung von mindestens 60 % erforderlich (GeoFLy, o. J.; Pix4D, o. J.). Auf der Agisoft-Website wird eine notwendige Überlappung von 80 % und 70 % angegeben (Agisoft LLC, 2025a, 2025b), wobei sich diese Angaben zum Teil auf UAVs und niedrigere Flughöhen beziehen. Die Mindestanforderung an die österreichischen Luftbilder liegen bei einer Überlappung von 80 % und 40 % (BEV, 2021), wobei in Tallagen teilweise auch eine Abdeckung von 80% und 60% erreicht wird. Eine Erhöhung der Mindestüberlappungsbereiche würde zu erheblich höheren Befliegungskosten führen.

Abbildung 26: Gegenüberstellung eines Gebäudebereichs des Stifts Admont: Orthofoto aus der Orthofotokooperation (links, 0,2 m Auflösung) und selbst erstelltes True-Orthomosaik (rechts, 0,5 m Auflösung)



Quelle: Darstellung nach eigener Berechnung, Gabriel Zeglovits, BAB 2026

3.3.4 Kommunikation und Vernetzung, Diskussion der Ergebnisse

Ziel: Kommunikation und Diskussion der Ergebnisse im Ressort zum Eruiereen weiterer Anwendungsmöglichkeiten. Wissenstransfer und -austausch, Vernetzung und Kooperation

Im Projekt wurde gezielt ein fachlicher Wissensaustausch im Bereich Image-Matching gefördert, der sowohl technische Aspekte (Berechnungsmethoden, Parametereinstellungen, Infrastruktur, genutzte Softwaretools) als auch anwendungsbezogene Fragestellungen umfasste. Zu diesem Zweck wurden Vernetzungsveranstaltungen, Präsentationen und gezielte Treffen mit Partnern aus Verwaltung und Forschung organisiert, unterstützt durch vermittelte Kontakte aus verwandten Fachbereichen (siehe Tabelle 3: Dokumentation des Wissensaustausches, S. 47). Die Kooperation mit dem BEV und dem BFW, dem LFRZ und GIS Steiermark zum Austausch von Erfahrungen und Weiterentwicklungen der Methoden war dafür eine solide Basis. Ein Schwerpunkt lag auch auf der Identifikation potenzieller zukünftiger Anwendungen der Ergebnisdaten sowie dem Austausch zu methodischen Grenzen und Limitationen. Zwischen Oktober 2020 und Ende 2024 fanden zahlreiche Besprechungen mit unterschiedlichen Akteur:innen aus verschiedenen Stellen statt, darunter BFW, BEV, AMA, BOKU, das GIS-JourFixe sowie regionale Landesstellen. Dabei wurden auch verschiedene Softwaretools und deren Einsatzmöglichkeiten diskutiert sowie Erfahrungen und Best Practices ausgetauscht. Diese Aktivitäten ermöglichten praktischen Erfahrungsaustausch, Verifizierung der Ergebnisse und die Stärkung nachhaltiger fachlicher Netzwerke, wodurch Wissen gebündelt und langfristige Synergien geschaffen werden.

Im Juni 2025 fand die Abschlussveranstaltung statt, im Rahmen welcher die Ergebnisse des Projektes präsentiert und diskutiert wurden. Kurzergebnisse daraus sind am Ende des gegenständlichen Kapitels ausgeführt.

Dokumentation des Wissensaustauschs

Zusätzlich zu internen Besprechungen innerhalb BMLUK, BAB und LFRZ wurden folgende Treffen zum Wissensaustausch genutzt. Erkenntnisse aus diesen Gesprächen werden in diesem Abschlussbericht unter Verwendung der in Tabelle 3 (S. 47) angeführten Quellenkürzel zitiert.

Tabelle 3: Dokumentation des Wissensaustausches

Datum	Teilnehmer:innen	Besprochene Themen und Ergebnisse	Quelle Kürzel
08.10.2020	AMA, BEV, GIS STMK, BMLUK, BAB, LFRZ	Einsatz Image-Matching bei GIS STMK, Technische Anforderungen, Erstüberlegungen zum Projekt Image-Matching	A
17.11.2020	GIS OÖ, GIS STMK, BMLUK, BAB, LFRZ	Image-Matching Land Oberösterreich	B
10.12.2020	GIS-Jour Fixe	Projektpräsentation	C
14.04.2021	GIS STMK, BAB, LFRZ	Workflow erarbeiten, Erfahrungen von BFW und GIS STMK diskutieren	D
22.4.2021	BMLUK, BAB, LFRZ	Besprechung Testberechnungen Flugblock Steyr	E
29.04.2021	Markus Schütz, BEV, GIS STMK, BMLUK, BAB, LFRZ	Potree und weitere 3D-Visualisierungstools	F
18.05.2021	GIS STMK, BAB, LFRZ	Punktwolken	G
07.06.2021	BFW, BEV, BMLUK, BAB, LFRZ	Luftbildspeicher Abstimmung	H
01.07.2021	Hasso-Platter-Institut Potsdam, AMA, BFW, BEV, BMLUK, BFW, BAB, LFRZ, Stadt Wien, Land STMK	Visualisierung und Analyse von Punktwolken	I
16.9.2021	BFW, BMLUK, BAB, LFRZ	Besprechung der Erfahrungen und Spezifikationen Image-Matching BFW und BAB	J
10.11.2021	GIS Vorarlberg, BMLUK, BAB, LFRZ	Punktwolken und Global Mapper	K
14.12.2021	GIS-Jour Fixe	Präsentation und Diskussion Projektstatus Image-Matching und Luftbildspeicherung	L
12.01.2022	AMA, BMLUK, BAB, LFRZ	Besprechung Bedürfnisse AMA, klären der Datenaufbereitung der Oberflächenmodelle für strukturierte Test seitens der AMA	M
24.01.2022	BFW, BMLUK, BAB, LFRZ	Besprechung Luftbildarchivierung - Abwicklung der Festplattenwege; Besprechung Image-Matching-Spezifikationen BFW	N
05.03.2022	BEV, BMLUK, BAB	Besprechung der Kooperation BEV, BMLUK, BAB und ausloten der Möglichkeiten	O

Datum	Teilnehmer:innen	Besprochene Themen und Ergebnisse	Quelle Kürzel
07.03.2022	AMA, BMLUK, BAB, LFRZ	Besprechung der Stärken und Schwächen Image-Matching DOM nach Prüfung der Daten von BFW und BAB; Anforderungen der AMA an Image-Matching DOM; weiteres Vorgehen	P
16.03.2022	BEV, BMLUK, BAB, LFRZ	Austausch zu technischen Details und Workflows beim Image-Matching des BEV, Planung der Kooperation in diesem Bereich	Q
25.04.2022	BEV, BMLUK, BAB, LFRZ, GIS Vorarlberg	Austausch Image-Matching Workflow, Analyse unserer Matching-Ergebnisse (Auswahl aus Parametertests 1-20) seitens BEV	R
07.09.2022	GIS STMK, BAB, LFRZ	ALS-Genauigkeit; Point .Threshold Parameter	S
09.10.2023	BEV, BAB, LFRZ	Erstanalyse der Testergebnisse und Vergleiche A-H; Berechnungsgeschwindigkeit Flugblock BA	T
16.07.2024	BOKU (Institut für Waldwachstum), BAB, LFRZ	Austausch mit Projekt LaDiWaldi – Anwendung DOM für Wald-Bestandsschätzung, Punktwolken, Anfrage Berechnung von aktuellem STMK DOM	U
09.12.2024	BFW, BAB	Austausch & Kennenlernen neues Team	V
08.05.2025	BMLUK, BEV, BAB, LFRZ, BOKU, BFW, AMA, WLW, GIS-Abteilungen der Bundesländer	Projektabschluss- und Vernetzungstreffen zum Thema Image-Matching an der BAB. Ergebnispräsentation. Fokus Austausch zur technischen Umsetzung des Image-Matching, erzielbaren Ergebnissen und Diskussion der Potentiale und Anwendungsfelder	W
24.06.2025	GIS-Jour Fixe	Projektpräsentation und Diskussion	X

Quelle: Eigene Zusammenstellung, Karin Schroll, BAB 2025

Ergebnisse aus dem Projektabschluss- und Vernetzungstreffen

Folgend werden die Einzelbeiträge, Ergebnisse und Diskussionen der Projektabschluss- und Vernetzungstreffen vom 8. Mai 2025 stichwortartig erläutert. Das Programm ist in Abbildung 27 ersichtlich.

Abbildung 27 : Beschreibung und Programm des Projektabschluss- und Vernetzungstreffens

Projektabschluss- und Vernetzungstreffen zum Thema Image-Matching

Fokus auf den Austausch zur technischen Umsetzung des Image-Matching, erzielbaren Ergebnissen und Diskussion der Potentiale und Anwendungsfelder

Neben der Präsentation unserer Arbeiten zur Beschleunigung der Berechnung von Digitalen Oberflächenmodellen aus Luftbildern der österreichischen Orthofotokooperation – sowie einem Konzept zur Archivierung der Luftbilder – freuen wir uns über Gastbeiträge wichtiger Kooperationspartner:innen der letzten Jahre. Das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, das Bundesforschungszentrum für Wald und GIS Steiermark werden aus ihrem Aufgabenbereich Beiträge zum Thema Image-Matching präsentieren. Es wird ausreichend Zeit für Diskussion und Austausch geben. Die Einladung ergeht an Interessierte und Kooperationspartner:innen im technischen Forschungs- und Verwaltungsumfeld. Sie können diese Einladung gerne an Interessierte im Umfeld weiterleiten.

Programmablauf

Image Matching von Luftbildern mit Graphikprozessoren & Luftbildarchivierung an der BAB

Roland Neissl, Karin Schroll, Gabriel Zeglovits, Lena Mitterhuber – BA für Agrarwirtschaft und Bergbauernfragen

Klaus Paccagnel, Oliver Bednarski – Land-, forst- und wasserwirtschaftliches Rechenzentrum GmbH (LFRZ)

Image Matching aus Luftbildern im BEV

Gerald Kohlhofer – Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen

Erstellung eines kolorierten Oberflächenmodells für den österreichischen Wald

Claire Brenner, Benjamin Schumacher – Bundesforschungszentrum für Wald

Matching historischer Luftbilder und diverse Drohnenbefliegungen für die Verwaltung

Nicole Kamp – GIS Steiermark

Diskussion zu Potentialen und Anwendungen

Termin: Donnerstag 8. Mai 2025, 13:00 – 16:00

Online via Zoom und vor Ort: BA für Agrarwirtschaft und Bergbauernfragen, Dietrichgasse 27/4, 1030 Wien

Image-Matching von Luftbildern mit Graphikprozessoren & Luftbildarchivierung an der Bundesanstalt für Agrarwirtschaft- und Bergbauernfragen – Karin Schroll, Gabriel Zeglovits, Roland Neissl, Klaus Paccagnel

Da der Abschlussbericht selbst die Inhalte der Präsentation abdeckt, wird nur stichwortartig auf den Inhalt referenziert, die vollständige Präsentation ist im Anhang A.4 ab S. 124 zu finden.

- Präsentation der Ausgangssituation, Projektziele, Methodik
- Präsentation der technischen Infrastruktur für die Berechnung im Cluster
- Qualitätstests und Höhenvergleiche – Höhenverzerrung im Gebirge im Vergleich zum ALS
- Profilvergleiche und Unterschiede zwischen den Oberflächenmodellen von BEV, BFW und BAB
- Präsentation der optimierten Einstellungen und Parameter für das Image-Matching
- Berechnungszeit DOM Flugblock Windischgarsten 0,5m Auflösung (ohne Nachbearbeitung)
- Anwendungsbeispiel Landschaftselemente im Zeitvergleich
- Ergebnisse von Testberechnungen von True-Orthofotos, Mesh-Modellen und Punktwolken
- Kooperation und Austausch
- Schlussfolgerungen aus dem Projekt „Image-Matching von Luftbildern an der BAB“
- Präsentation zur Langzeitarchivierung von Luftbildern – Konzept und technische Umsetzung

Image-Matching aus Luftbildern im BEV – Gerald Kohlhofer – Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen

- Seit dem Jahr 2013 werden Image-Matching-DOM berechnet. Inzwischen stehen vier flächendeckende Abdeckungen Österreichs zur Verfügung (DOP 2013-2015, DOP 2016-2018, DOP 2019-2021, DP 2022-2024). Das DOM aus Image-Matching weist gegenüber dem DOM aus ALS-Daten wesentliche Vorteile auf: Die Daten stammen aus derselben Befliegung wie die Orthofotos, wodurch Objekthöhen und abgebildete Objekte zeitlich und inhaltlich übereinstimmen. Zudem sind die Kosten geringer, da der Bildflug für die Orthofotoproduktion ohnehin stattfindet. Demgegenüber ist das DGM aus ALS-Daten qualitativ überlegen, weshalb es mittels Image-Matching nicht mehr berechnet wird, obwohl dies in der Vergangenheit der Fall war.
- Für das Image-Matching wird die Software Match-T eingesetzt – allerdings nicht mit der Standardmethode, bei der jeder Bildpunkt nur aus einem Bildpaar ermittelt wird, sondern mit einer weiterentwickelten Methode der „Fusionierung“, bei der ein Objektpunkt aus mehreren Bildpaaren abgeleitet wird. Aus den resultierenden Punktwolken erfolgt anschließend eine Interpolation: Die Ergebnisse aus Match-T werden mit GDAL und OPALS weiterverarbeitet, wobei der Median aus allen Bildpunkt-Höhenwerten herangezogen wird. Diese Redundanz führt zu Qualitätsverbesserungen hinsichtlich Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Vollständigkeit und ermöglicht zudem die Berechnung der Standardabweichung jedes einzelnen Pixels, was für die Qualitätssicherung von besonderer Bedeutung ist.
- Das automatisch berechnete Produkt ist ohne Nachbearbeitung für die vorgesehenen Anwendungen nicht ausreichend. Daher erfolgt eine manuelle Nachbearbeitung, beispielsweise bei Gewässern, Stromleitungen und windbedingten Artefakten.
- BEV hat einen stabilen Workflow mit dem Ziel, ein „Allzeit-Produkt“ zur Verfügung zu stellen.
- Die Priorität liegt auf Dach- und Straßenflächen sowie auf Vegetation.
- Im Gegensatz zum ALS weist das DOM aus Image-Matching im Gebirge eine Höhenverzerrung auf. Zur Untersuchung dieser Problematik wurde ein Forschungsprojekt mit der TU Wien initiiert – als mögliche Ursache wird ein Problem bei der Parametrisierung der Aerotriangulation vermutet. Um dem entgegenzuwirken, soll in der neuen Ausschreibung der DOP-Befliegungen die Höhenverteilung der Passpunkte stärker berücksichtigt werden.
- Das DOM wird für verschiedene Anwendungen eingesetzt und ist insbesondere erforderlich für die automatische Klassifizierung des Bodenbedeckungslayers (LandCover), als Grundlage für die Bauwerke im Digitalen Landschaftsmodell, für die Erfassung von Luftfahrthindernissen (eTOD) sowie für Forstanwendungen.

Erstellung eines kolorierten Oberflächenmodells für den österreichischen Wald – Claire Brenner, Benjamin Schumacher – Bundesforschungszentrum für Wald

- Es werden Daten der Österreichischen Waldinventur – räumlich-statistische Daten mit geringer zeitlicher Frequenz, aber hoher Parameterdichte – mit Daten der Luftbildbefliegung / Orthofotos sowie Satellitendaten verschnitten, die jeweils unterschiedliche räumliche und zeitliche Auflösungen aufweisen.
- Die hohe räumliche Auflösung stellt einen großen Mehrwert für die Höhenermittlung und Baumartenbestimmung dar. Im Bereich der Vegetationshöhen ermöglicht sie im Vergleich zu europaweiten Produkten wesentlich präzisere Aussagen, auch über Baumartenzusammensetzungen – beispielsweise gegenüber dem JRC-Datensatz „Probability for Pinus nigra Occurrence“.
- Die Fernerkundung im BFW bietet maßgeschneiderte Services, darunter die Berechnung von Parametern für die Österreichische Waldinventur, die Erkennung von Schäden sowie die Erstellung thematischer Karten.
- Ziel des Image-Matching ist die Erstellung eines nDOM zur Bestimmung der Vegetationshöhen sowie die Erzeugung kolorierter Punktwolken mit RGBI-Farbwerten und Höheninformationen.
- Als Software wird Trimble Inpho und Match-T eingesetzt.
- Das Image-Matching wird auf Basis der RGB-Kanäle durchgeführt. Für die Prozessierung werden die Flugblöcke in Unterblöcke unterteilt. Die resultierende Punktwolke wird anschließend mit dem Colorizer-Tool um NIR-Farbwerte angereichert und zu einem DOM mit 1 m Auflösung weiterverarbeitet. Dabei erfolgen Plausibilitätschecks, eine Ausreißer Detektion sowie die Behebung von Artefakten mittels neuronaler Netze (Random Forest mit Trainingsdaten).
- Die Berechnung der Punktwolken erfolgt mit Match-T. Anschließend werden diese mit der Open-Source-Bibliothek „laspy“ eingelesen und mittels Python-Skript in ein DOM konvertiert.
- Engpässe in der Prozessierung bestehen beim Datenhandling (Kopieren, Blockerstellung) sowie beim Tool „Colorizer“, das die Punktwolken mit dem Infrarotkanal anreichert und dabei doppelt so lange benötigt wie das Image-Matching selbst.
- Anwendungsbeispiele für die Nutzung des nDOM sind unter anderem die Berechnung des Holzvorrats (Stammvolumen in m³/ha) einschließlich des Vergleichs mit Daten aus portablen Laserscanning (PLS) sowie die Detektion von stehendem Totholz.
- Der blaue Farbkanal ist insbesondere in Schattenbereichen von Bedeutung.

Drohnenbefliegungen für die Verwaltung – Dense-Image-Matching aus UAV-Befliegungen – Nicole Kamp, Land Steiermark, Abteilung 17 Landes- und Regionalentwicklung, Referat Statistik und Geoinformation, Franz Langegger – Wildbach- und Lawinenverbauung, Fachzentrum Monitoring

- In der Verwaltung der Steiermark werden UAV-Befliegungen mit unterschiedlichen Modellen der Marke DJI eingesetzt, die in verschiedenen Institutionen verfügbar sind. Dabei ist der Preis nicht ausschlaggebend für die Eignung der UAVs für 3D-Befliegungen. Die Einsatzbereiche umfassen unter anderem den Katastrophenschutz, das Monitoring von Katastrophenereignissen und Naturgefahren, die Überwachung von Versuchsflächen im Pflanzenbau, die Flussvermessung, die Vermessung und Dokumentation von Rückhaltebecken, das Monitoring von Borkenkäferbefall, die Vermessung von Schadflächen sowie die Dokumentation und Vermessung von Schutzbauwerken.
- Für eine zuverlässige 3D-Rekonstruktion wird bei der Flugplanung mit Drohnen eine Überlappung von mindestens 80 % empfohlen.
- RTK-Ergebnisse sind nahezu ausreichend genau. In Gebieten ohne Internetempfang wird für die Nutzung des drohneninternen RTK-Moduls eine Starlink-Verbindung (Starlink Mini, 150 Mbit/s) eingesetzt.
- Es wurde ein standardisierter und weitgehend automatisierter Workflow für Flugplanung und Prozessierung aufgebaut, der auf Agisoft Metashape basiert. Dadurch stehen die Ergebnisdaten innerhalb weniger Tage zur Verfügung.
- Die maximale Größe einer einzelnen Flugmission beträgt ca. 40 ha. Pro Tag können mit 5–8 Akkus Flächen von ca. 150–200 ha befliegen werden, in Einzelfällen auch bis zu 300 ha.
- 3D-Befliegungen werden auch im akuten Katastrophenfall durchgeführt. Ein Beispiel ist der Katastropheneinsatz 2024 im Bezirk Voitsberg, bei dem eine Gewässerstrecke von 20 km (ca. 300 ha) befliegen und die Ergebnisse im WebGIS des Landes Steiermark visualisiert wurden.
- Für die Verarbeitung der Punktwolken werden LAStools eingesetzt.
- Für die Zukunft wird die Anschaffung einer Drohne mit LiDAR-Sensorik in Betracht gezogen.

**Dense-Image-Matching aus historischen Luftbildern – Beispiel des Bezirks Murtal
1952 - 1954 aus der Masterarbeit von Manuel Lappas – präsentiert von Nicole Kamp,
– Land Steiermark, Abteilung 17 Landes- und Regionalentwicklung, Referat Statistik
und Geoinformation**

- Aus historischen Aufnahmen ab den 1950er-Jahren werden georeferenzierte Orthofotos und Oberflächenmodelle generiert.
- Der Workflow wird in Agisoft Metashape umgesetzt und umfasst das Setzen von Bodenkontrollpunkten (Ground Control Points, GCPs).
- Die daraus gewonnenen Daten bilden eine wertvolle Grundlage für die Langzeitforschung, insbesondere in den Bereichen Wald- und Landschaftsentwicklung, Stadt- und Infrastrukturentwicklung sowie Klima- und Umweltveränderungen. Darüber hinaus eignen sie sich für zahlreiche weitere raumbezogene Fragestellungen, etwa zur Zersiedelung und Flächeninanspruchnahme.
- Herausforderungen ergeben sich unter anderem durch unvollständige oder fehlende Metadaten, Wolkenbedeckung, Schattenbereiche, unzureichende Bildüberlappung sowie Qualitätsmängel im Bildmaterial.
- Mit dem beschriebenen Workflow können sowohl Orthomosaik und digitale Oberflächenmodelle (DOM) als auch 3D-Punktwolken zuverlässig erzeugt werden. Die erzielbare Genauigkeit liegt bei einer horizontalen Abweichung (X, Y) von ca. 1–2 m und einer vertikalen Abweichung (Z) von ca. 3–5 m.
- Beim Image-Matching mit historischen Aufnahmen aus den Jahren 1952–1954 ist eine Automatisierung kaum möglich.

Diskussion zu weiteren Potentialen und Anwendungen

- Zum Thema Ziele und Nutzen erörterten Vertreter:innen der AMA die Relevanz stabiler Höhendaten für das Projekt OARA, das mit der neuen GAP-Periode erneut an Bedeutung gewinnt. Zudem besteht seitens der AMA Interesse an True-Orthofotos. Die Bundesländer sehen ebenfalls einen großen Bedarf an Höhendaten aus dem Image-Matching und wünschen sich eine Datenschnittstelle, um einen einfachen Zugang zu den Ergebnissen zu gewährleisten.
- Zum Thema Softwareprodukte wurden mehrere Tools genannt, darunter Pix4D, PGITerra und die Image-Matching-Software „Photo-Mesh Drone“, die sich durch hohe Skalierbarkeit auszeichnet und in die ERDAS IMAGINE-Arbeitsumgebung eingebunden werden kann. Darüber hinaus wurden Picterra, Deep-Learning-Methoden sowie die Erstellung von 3D-Meshes als weitere relevante Ansätze angeführt.
- Zum Thema Methodik wurde festgestellt, dass sich die derzeit angewandten Verfahren aufgrund unterschiedlicher Ziele und Anwendungsfelder deutlich voneinander unterscheiden. Als ein Hindernis der Software Agisoft Metashape wurde die fehlende Erdkrümmungskorrektur identifiziert. Insgesamt zeigte sich, dass Methodik, Produkte und Ergebnisse beim Luftbild-Image-Matching in der österreichischen Verwaltung sehr heterogen sind und ein deutlicher Bedarf an Austausch und Know-how-Transfer besteht.
- Es kristallisierte sich ein Abstimmungsbedarf in Form eines regelmäßigen Austausches heraus, für den auch die Bundesländer großes Potenzial und Bedarf sehen. Die Bundesländer wünschen sich, in diesen Austausch aktiv einbezogen zu werden. Thematisch wurde vorgeschlagen, den Fokus über das Image-Matching hinaus auf Fernerkundung, Satellitenfernerkundung, benötigte Datenschnittstellen und KI auszuweiten.

Anwendungsmöglichkeiten und Limitationen – Luftbilder, ALS und Sentinel 2

Satellitenbilder im vergleichenden Überblick

Abhängig vom jeweiligen Anwendungsfall bzw. der Fragestellung – und damit einhergehenden Anforderungen, wie der dafür nötigen räumlichen und zeitlichen Auflösung, der Spektralinformation, der Ableitbarkeit von Höhen oder 3D-Produkten sind unterschiedliche Ausgangsprodukte geeignet.

Tabelle 4 zeigt die Unterschiede zwischen Luftbildern der österreichischen Orthofotokooperation, den österreichischen ALS Daten sowie Sentinel2 Satellitendaten.

Tabelle 4: Vergleichender Überblick von Daten aus Luftbildbefliegungen, Airborne Laserscanning und Sentinel2 Satellitenbildern

	LUFTBILDBEFLIEGUNG Ö	ALS Ö
Bodenauflösung	ca. 20 cm (Vorarlberg höhere Auflösung)	1 m (als Raster)
Zeitliche Auflösung	3 Jahre	ca. 10 Jahre
Aufnahmezeitpunkt	Vegetationszeit (unterschiedlich zwischen und auch innerhalb von Flugblöcken)	vegetationsfreie Zeit (unterschiedlich zwischen Flugblöcken und auch teilw. Innerhalb)
3D-Produkte / Höhen	Ja durch Image-Matching	Ja per se 3D
Spektralinformationen	Ja RGBI	Nein nur Höheninformation
Oberfläche (DOM) / Gelände (DGM)	Oberfläche (Gelände nur eingeschränkt)	Oberfläche & Gelände
Format	Rasterdaten	Punktwolken > Rasterdaten
Sichtbedingungen	wolkenfrei	irrelevant

Quelle: Eigene Zusammenstellung, Karin Schroll, BAB 2025

3.4 Schlussfolgerungen Image-Matching

Basierend auf den Erfahrungen und Diskussionen im Projekt sowie den Ergebnissen der vorangegangenen Kapitel lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

Technische Infrastruktur und GPU-Einsatz

Die im Projekt aufgebaute GPU-Serverarchitektur hat gezeigt, dass der Einsatz von Grafikprozessoren die Berechnungszeiten beim Image-Matching erheblich reduzieren kann. Die parallele Verarbeitung ermöglicht eine effiziente Skalierung des Image-Matching-Prozesses, was insbesondere bei großflächigen Berechnungen der österreichischen Luftbilder von großem Vorteil ist. Durch die Cluster-Betriebsweise wird zudem eine höhere Ausfallsicherheit und Lastverteilung erreicht, wodurch die Infrastruktur leicht an zukünftige Anforderungen angepasst werden kann. Die direkte Anbindung an ein zentrales Storage optimiert die Datenhandhabung, da der Transfer großer Datenmengen besonders ressourcenintensiv ist. Der Fokus des Projekts lag auf der Beschleunigung der Berechnung mittels eines automatisierten Workflows – ohne nachträgliche manuelle Anpassung, Berichtigung oder Nachbearbeitung der Daten. Generell konnte festgestellt werden, dass der Einsatz skalierbarer Software zukunftssträftig ist. Angesichts der raschen technologischen Entwicklungen sind Kooperation und Austausch zur technischen Infrastruktur von besonderer Bedeutung.

Langfristig vergleichbares Oberflächenmodell hoher Qualität

Im Gegensatz zum gegenständlichen Projekt, das einen stark explorativen Charakter aufweist, zielen die Produkte des BEV darauf ab, stabile und langfristig nutzbare Oberflächenmodelle bereitzustellen. Dafür werden unter anderem Gewässer, Stromleitungen sowie windbedingte Artefakte manuell nachbearbeitet. Der im BEV bestehende Workflow ist auf Stabilität und Konsistenz ausgerichtet, mit dem Ziel ein „Allzeit-Produkt“ bereitzustellen, das über die Jahre hinweg vergleichbar bleibt.

Die im Rahmen des gegenständlichen Projekts gewonnene Erfahrung zeigt, dass automatisch generierte Produkte ohne Nachbearbeitung für einzelne Anwendungen ausreichend sein können, für andere jedoch nur eingeschränkt oder gar nicht geeignet sind. Darüber hinaus erfordern stabile Mehrjahresvergleiche und Change Detection eine konsistente Methodik sowie fundierte Erfahrung, um auch bei unterschiedlichen Aufnahmeparametern gleichbleibende Ergebnisse und eine zuverlässige Vergleichbarkeit zwischen den jeweiligen Vergleichsjahren zu gewährleisten.

Abhängigkeit der Ergebnisse von Anwendungsziel und Parametern

Die Ergebnisdaten sind thematisch interdisziplinär nutzbar, da sie die Erdoberfläche hochaufgelöst und dreidimensional abbilden. Gleichzeitig zeigte sich, dass die optimale Auswahl der Parameter entscheidend vom jeweiligen Anwendungsziel und den spezifischen Anforderungen abhängt – die Vergleiche der DOM machten erhebliche Unterschiede in Methodik und Ergebnissen deutlich. Langfristig erscheint es sinnvoll, rechenintensive Prozesse zu bündeln und im Sinne der Effizienz an einer Institution zu zentralisieren. Die historisch gewachsenen Berechnungsmethoden und vor allem die unterschiedlichen Einsatzzwecke führen jedoch zu großen Unterschieden, wobei auch die Notwendigkeit der langfristigen Vergleichbarkeit innerhalb der jeweiligen Produktreihen zu berücksichtigen ist. Durch fortlaufenden Austausch und Kooperation können Synergiepotenziale erschlossen werden, die langfristig nachhaltige Lösungen unterstützen.

Eignung von Agisoft Metashape für das Image-Matching der österreichischen Luftbilder

Agisoft Metashape erweist sich aufgrund seiner Skalierbarkeit und der GPU-Unterstützung als geeignetes Werkzeug für die Verarbeitung österreichweiter Luftbilder. Im Vergleich mit den DOM von BEV und BFW konnten qualitativ hochwertige Berechnungsergebnisse generiert werden, wenngleich unter der Einschränkung einer fehlenden manuellen Nachbearbeitung. Bezüglich potenzieller Verzerrungen besteht allerdings weiterer Testbedarf.

Eine explizite Erdkrümmungskorrektur ist in Metashape nicht implementiert. Um zu verhindern, dass sich das Modell zwischen den Passpunkten nach oben wölbt, müssen die Aero-triangulationsparameter und die Image-Matching-Einstellungen aufeinander abgestimmt sein. Mögliche Verzerrungseffekte lassen sich durch das Setzen von Ground Control Points abschwächen. Systematische Tests zur Evaluierung dieses Effekts wurden jedoch nicht durchgeführt, da die Ergebnisqualität bereits von Beginn an zufriedenstellend war.

Höhenbasierte Produkte aus dem Image-Matching

Für die Berechnung, Analyse und Bereitstellung höhenbasierter Produkte ist eine leistungsfähige, abgestimmte Berechnungs- und Speicherinfrastruktur erforderlich. Die einzelnen Produkte unterscheiden sich dabei in ihren vorwiegenden Nutzungsmöglichkeiten.

Digitale Oberflächenmodelle (DOM) zeichnen sich durch einen geringen Speicherbedarf aus, enthalten jedoch lediglich interpolierte Höhenwerte ohne Spektralinformationen.

Punktwolken sind im Vergleich zu anderen Folgeprodukten besonders speicherintensiv und erfordern große Ressourcen bei Berechnung und Auswertung.

Sie sind jedoch inhaltlich und methodisch flexibler in der nachträglichen Bearbeitung und bieten vielfältigere Auswertungsmöglichkeiten. Aufgrund der großen Datenmengen ist die Handhabung umfangreicher Punktwolken anspruchsvoll und erfordert spezialisierte Software.

3D-Mesh-Modelle eignen sich insbesondere für die visuelle Darstellung, da sie weniger speicherintensiv sind und durch ihre zusammenhängenden Oberflächenstrukturen die Anwendung von Texturen ermöglichen.

Für die Erstellung qualitativ hochwertiger True-Orthofotos wäre eine größere Querüberlappung von mindestens 60 % erforderlich.

Insgesamt ergeben sich wesentliche Vorteile, wenn die Folgeprodukte des Image-Matching aus denselben Luftbildern der Orthofotobefliegungen abgeleitet werden, da die Daten dadurch zeitlich und inhaltlich konsistent mit den Orthofotos sind – ein Aspekt, der sowohl von der AMA als auch vom BEV hervorgehoben wurde.

Das Anwendungspotenzial der Daten aus dem Image-Matching (DOM, Punktwolken, 3D-Mesh-Modelle) ist groß, zugleich aber stark abhängig von der konkreten Fragestellung, der Kenntnis der zugrunde liegenden Methodik und Daten sowie der Kompetenz im Umgang mit deren Auswertung. Für die Verarbeitung steht eine Vielzahl an Softwareprodukten zur Verfügung, wobei man bei großen Gebieten rasch an Kapazitätsgrenzen stößt. Neben proprietären Lösungen wurden auch mit zahlreichen Open-Source-Tools für Verarbeitung, Analyse und Visualisierung gute Erfahrungen gesammelt.

Limitationen der höhenbasierten Produkte aus dem Image-Matching

Qualitative Limitationen bestehen insbesondere bei der Genauigkeit in Schattenbereichen. Da in diesen Bereichen keine gemeinsamen Bildpunkte erkannt werden können, werden die Höhenwerte interpoliert. Der Schattenwurf wird zudem vom Befliegungszeitpunkt beeinflusst, was Mehrjahresvergleiche insbesondere bei linearen Landschaftselementen erschwert.

Ein weiterer, bislang nicht näher erforschter Effekt betrifft die Höhenverzerrung von Image-Matching-DOM im Gebirge im Vergleich zum ALS. Dieser Effekt trat gleichermaßen bei Match-T und Agisoft Metashape auf und führt zu einer eingeschränkten Genauigkeit bei der Berechnung von Differenzhöhenmodellen (nDOM) aus ALS-DGM und Image-Matching-DOM.

Anwendungsbeispiele von Produkten des Image-Matching in der österreichischen Verwaltung

Im BFW werden Produkte des Image-Matching unter anderem für die Höhermittlung von Bäumen und Waldvegetation, die Erkennung von Waldschäden, die Detektion von stehendem Totholz sowie die Berechnung des Stammvolumenvorrats eingesetzt.

Auch in den Bundesländern findet die Methode Anwendung. In Oberösterreich werden Luftbilder beispielsweise für die exakte Ermittlung von Gebäudegrenzen herangezogen. In der Steiermark setzen GIS Steiermark und die Wildbach- und Lawinenverbauung höhenbasierte Produkte für ein breites Spektrum an Aufgaben ein, darunter Katastrophenschutz, Monitoring von Katastrophenereignissen und Naturgefahren, Überwachung von Versuchsfeldern im Pflanzenbau, Flussvermessung, Vermessung und Dokumentation von Rückhaltebecken, Monitoring von Borkenkäferbefall, Vermessung von Schadflächen sowie Dokumentation und Vermessung von Schutzbauwerken.

Oberflächenmodelle und Punktwolken werden zunehmend für Change Detection, Waldertragsmessung und im Katastrophenschutz eingesetzt. Vertreter:innen der AMA sehen darüber hinaus Potenzial für den Einsatz von Oberflächenmodellen oder True-Orthofotos als Grundlage für die Abgrenzung von Almflächen.

Durch die hohe räumliche Auflösung im Vergleich zu Satellitendaten, die hohe zeitliche Auflösung im Vergleich zu ALS-Daten und die enthaltenen Spektralinformationen besteht großes Potenzial für weitere Anwendungen. Die besondere Stärke der Produkte liegt in der Kombination aus hoher Auflösung, Spektral- und Höheninformationen.

Anwendungen & Anwendungspotential der Daten

Image-Matching-Folgeprodukte können die Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen, die Entwicklung von Biotopverbundsystemen sowie den Schutz vor Naturgefahren unterstützen. Sie ermöglichen 3D-basierte Analysen langfristiger Landschafts-, Habitat-, Gewässer- und Vegetationsveränderungen einschließlich des Monitorings von Landnutzung und Landschaftsentwicklung. In der Landwirtschaft erlauben sie die Analyse von Dauervegetation, die Erkennung von Veränderungen innerhalb von Schlägen sowie die Nutzung des Infrarotkanals für Vegetationsindikatoren. Darüber hinaus finden sie Anwendung in Raumordnung und Raumplanung, im Leitungsbau, im Katastrophenschutz (Schadensdokumentation, Risikobewertung, Einsatzvor- und -nachbereitung) sowie als Datenbasis für Fachapplikationen wie z. B. LaDiWaldi.

Einsatz für landwirtschaftliche Fragestellungen

Für die Analyse landwirtschaftlicher Nutzung ist die Einbeziehung des Infrarot- bzw. NIR-Kanals in die Ergebnisprodukte von besonderer Bedeutung, um den Vegetationszustand erfassen zu können. Da die Befliegungen zu nicht näher definierten bzw. nicht unmittelbar vergleichbaren Zeitpunkten innerhalb der Vegetationsperiode im Abstand von drei Jahren stattfinden, sind Vergleiche einjähriger Kulturen nur eingeschränkt möglich. Dauervegetation wie Sträucher und Bäume sowie Dauerkulturen lassen sich hingegen analysieren und über mehrere Jahre hinweg vergleichen. Großräumige Analysen und Change Detection sind daher vorrangig für diese Vegetationstypen geeignet.

Mit Hilfe des Infrarotkanals können allerdings auch bei einjährigen Kulturen Unterschiede im Vegetationszustand bzw. die Heterogenität innerhalb von Schlägen oder Regionen sichtbar gemacht werden. Ebenso lassen sich aus den Daten langfristige Landnutzungsänderungen ableiten. Die Anwendungstests haben zudem gezeigt, dass die Höhendaten aus den DOM auch für die AMA nutzbar sein können.

3.5 Fazit und Ausblick

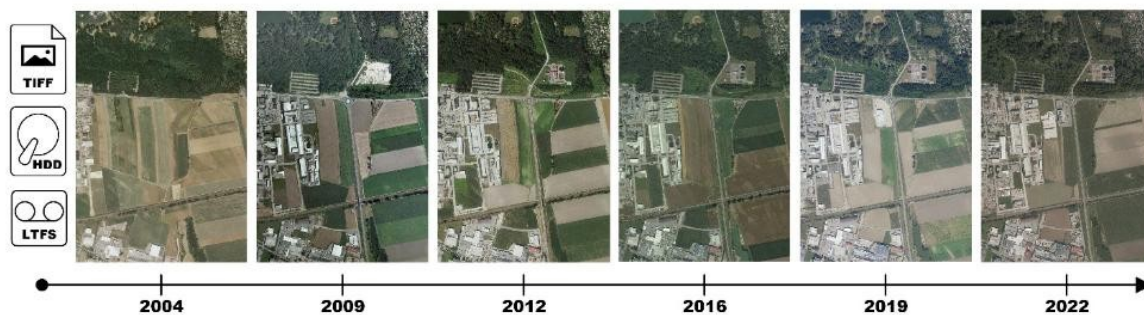
Die Methode des Image-Matching und die daraus ableitbaren Folgeprodukte wurden für das BMLUK erstmals umfassend getestet und analysiert. Sie ermöglichen die zeitnahe Erstellung hochauflösender, dreidimensionaler Oberflächeninformationen aus den Luftbildern der österreichischen Orthofotokooperation und erlauben damit eine effiziente Mehrfachnutzung bereits vorhandener, wertvoller Daten. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass diese Methodik ein erhebliches Potenzial für Anwendungen in Verwaltung, Forschung und Monitoring bietet.

Die bestehenden Image-Matching-Workflows sind langfristig auf Stabilität und Vergleichbarkeit ausgerichtet und haben entsprechende Investitionen in Know-how und Infrastruktur erfordert. Gleichzeitig ist die Photogrammetrie durch rasche technische Entwicklungen geprägt. Fortschritte bei Algorithmen und GPU-gestützter Verarbeitung machen eine methodische Weiterentwicklung notwendig, die durch Vernetzung und fachlichen Austausch wesentlich unterstützt werden kann.

Es wird empfohlen, Forschung, Berechnung, Analyse und Nutzung in diesem Bereich fortzuführen, um die Anwendbarkeit der Image-Matching-Produkte für landwirtschaftliche Fragestellungen sowie weitere Fachbereiche langfristig zu sichern und auszubauen. Durch technische, methodische und inhaltliche Kooperationen können Workflows und Produkte im dynamischen Entwicklungsumfeld weiter verbessert und nachhaltige Synergien geschaffen werden.

4 Teil B: Luftbildbereitstellung & Langzeitarchivierung

Abbildung 28: Visualisierung einer exemplarischen Luftbildzeitreihe



Quelle: (Abteilung II/1 BML, 2024)

Im Rahmen der umfassenden Auseinandersetzung mit dem Image-Matching von Luftbildern widmet sich dieses Projekt zudem der konzeptionellen Ausarbeitung und technischen Implementierung eines robusten Systems zur Bereitstellung und sicheren Langzeitarchivierung der original Luftbilddaten aus der Orthofotokooperation von Bund und Ländern.

4.1 Ausgangssituation

Aktuell werden diese original Luftbilddaten, mit einer Datenmenge von etwa 4 Petabyte, auf ca. 700 externen Festplatten gespeichert. Die Notwendigkeit einer langfristigen Lösung ergibt sich aus dem hohen Wert dieser Daten und den damit verbundenen Herausforderungen.

Der hohe Wert unkomprimierter Luftbilddaten ergibt sich sowohl aus den erheblichen Anschaffungskosten als auch aus der großen Informationsdichte und der daraus resultierenden Bandbreite an Folgeprodukten. Allein die Kosten für die Luftbilddatenerhebung und Orthofotoerstellung im Rahmen der Orthofotokooperation von Bund und Ländern belaufen sich laut BMLUK auf rund 2,5 Millionen Euro pro Gesamtabdeckungszyklus, der drei Flugjahre umfasst. Auf Basis dieser Luftbilddaten werden hochauflösende Oberflächenmodelle, Orthofotos und 3D-Darstellungen gewonnen, deren Generierung und Nutzung von der Integrität und Verfügbarkeit der Originaldaten abhängt.

Im Rahmen der Orthofotokooperation von Bund und Ländern werden von den beauftragten Firmen drei Kopien der Luftbilddaten des jeweiligen Flugoperats auf externen Festplatten an das BEV übermittelt. Diese werden nach einer Qualitätskontrolle durch das BEV an die jeweiligen Bundesländer sowie an das BMLUK weitergeleitet. Die Sicherung dieser Werte – und somit die Sicherung der Originaldaten aus der Orthofotokooperation von Bund und Ländern – liegt im Verantwortungsbereich der jeweiligen Partner der Orthofotokooperation.

Bisherige Ansätze zur österreichweiten Langzeitsicherung der unkomprimierten Originaldaten beschränken sich auf die sichere Aufbewahrung der externen Festplatten. Eine kritische Betrachtung dieser Methode offenbart jedoch Risiken. Die durchschnittliche Lebensdauer von Festplatten liegt zwischen fünf und zehn Jahren (Lunt et al., 2024; National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2024). Daten auf Festplatten, die über diese Nutzungsdauer liegen, können somit verloren gehen.

Aktuelle Langzeitarchivierungskonzepte sind entweder auf Initiativen einzelner Bundesländer beschränkt oder beziehen sich auf komprimierte Daten mit geringerer Farbtiefe. So werden in einzelnen Bundesländern Langzeitarchivierungskonzepte für die jeweiligen Luftbilddatensätze umgesetzt, während das BEV die Luftbilder im stark komprimierten Bildformat JPEG2000 archiviert.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass es bisher kein österreichweites Langzeitarchivierungskonzept für die original Luftbilddaten mit 16-Bit-Bildtiefe gibt. Dies stellt eine erhebliche Lücke dar, die im Rahmen des vorliegenden Projekts adressiert werden soll. Die derzeitige Situation erfordert die Entwicklung einer nachhaltigen Strategie zur Langzeitsicherung der wertvollen Luftbilddaten und sichert deren langfristige Verfügbarkeit für zukünftige Berechnungen und Forschungsarbeiten nicht.

4.2 Zielsetzung

Im Rahmen des Projektes wurde 2022 durch das BMLUK der zusätzliche Auftrag zur Sicherstellung der langfristigen Verfügbarkeit der wertvollen Luftbild-Basisdaten erteilt und das im Kapitel 2 „Zielsetzung“ (S.9) angeführte Ziel 5 definiert.

Dieses Ziel umfasst folgende Aspekte:

- **Luftbildbereitstellung:** Die Sicherstellung der Verfügbarkeit und Bereitstellung aktueller sowie historischer Luftbilddaten.
- **Langzeitarchivierungskonzept:** Die Entwicklung einer robusten und zuverlässigen Strategie zur langfristigen Archivierung der Luftbilddaten über viele Jahre hinweg.
- **Speichermedien mit langer Lebensdauer:** Die Auswahl und Implementierung von Magnetbändern als primäres Speichermedium für die Archivierung.
- **Offene Technologie:** Die Nutzung der LTFS (Linear Tape File System) Technologie zur Verwaltung der Daten auf den Magnetbändern. LTFS bietet einen dateibasierten Ansatz und unterstützt die Unabhängigkeit von spezifischer Hardware und Software, was die langfristige Nutzbarkeit der Daten gewährleistet.
- **Originalformat und -auflösung:** Die Bereitstellung und Archivierung der Luftbilddaten in ihrem ursprünglichen Format und ihrer ursprünglichen Auflösung, um die Integrität der Daten zu gewährleisten und zukünftige Analysen zu ermöglichen.
- **Zukunftssicherheit:** Die Sicherstellung, dass die Archivierungslösung zukunftssicher ist und auch bei technologischem Wandel weiterhin funktioniert und nutzbar bleibt.

Durch die Erreichung dieses Ziels soll die langfristige Verfügbarkeit der wertvollen Luftbilddaten für zukünftige Anwendungen und Forschungsarbeiten sichergestellt werden.

4.3 Methode

4.3.1 Konzept Luftbildbereitstellung

Im Rahmen der Arbeiten zum Image-Matching hat die BAB einen zentralen Luftbildspeicher eingerichtet. Dieser umfasst sämtliche Luftbilder, die in den letzten drei- bis vier Befliegungsjahren im Rahmen der Orthofotokooperation von Bund und Ländern aufgenommen wurden.

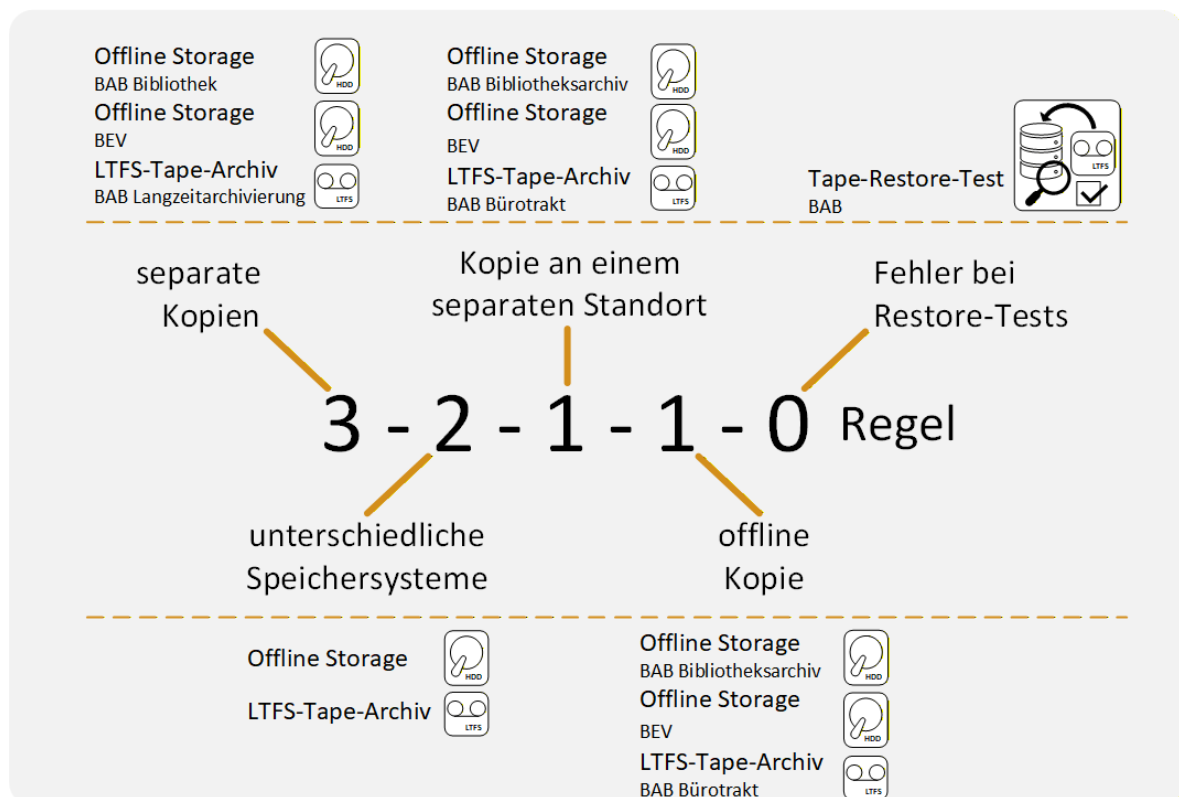
- **Verfügbarkeit:** Über die leistungsfähige Speicher- und Netzwerkinfrastruktur der BAB stehen die aktuellen Luftbildaufnahmen für das gesamte österreichische Bundesgebiet für interne Aufbereitungen und Analysen bereit.
- **Datenlieferung:** Auf Anfrage können einzelne Luftbilder per Web-Transfer an andere Stellen des Ressorts übermittelt werden.
- **Offline-Archiv:** Die originalen Festplatten, die seit 2015 im Zuge der Orthofotokooperation entstanden sind (Stand 2026), wurden im Bibliotheksarchiv der BAB archiviert. Sie stehen als Offline-Speicher zur Verfügung und können innerhalb des Ressorts auf Wunsch ausgeliehen werden.
- **Langzeitarchiv:** Für zukünftige Analysen und Forschungsarbeiten werden archivierten Luftbilddaten auf Magnetspeichermedien bereitgestellt. Dies erfordert aufgrund des zeitaufwendigen Auslesens der Daten von den Magnetbändern und den entsprechenden Vorbereitungen einen Vorlauf von etwa 2-4 Wochen.

4.3.2 Konzept Langzeitarchivierung Luftbilder

Das Konzept der Langzeitarchivierung von Luftbildern wurde unter Berücksichtigung des Prinzips der Datenredundanz und -sicherheit entwickelt. Die Kernstrategie basiert auf der **3-2-1-1-0 Regel zur Datensicherung**, um die langfristige Verfügbarkeit und Integrität der Daten zu gewährleisten.

Bei besagter Regel handelt es sich um eine Erweiterung der bewährten 3-2-1 Regel für die Datensicherung. Kern dieser Regel ist das Vorhalten von **3** Kopien der Daten, der Sicherung dieser Kopien auf **2** unterschiedlichen Speichermedien. Mindestens **1** Kopie muss an einem separaten Standort aufbewahrt werden. Die erweiterte Regel verlangt, dass mindestens **1** Kopie offline – also völlig getrennt von jeglichen Netzwerkverbindungen – verwahrt wird. Außerdem müssen Restore-Tests durchgeführt werden, wobei für diese Tests eine **Null-Fehler-Toleranz** gilt. Diese Strategie minimiert das Risiko von Datenverlust durch Hardwareausfälle, Naturkatastrophen, menschliches Versagen oder Cyberangriffe, da sie Redundanz und räumliche Trennung bietet und somit die Wahrscheinlichkeit ausschließt, dass alle Kopien gleichzeitig verloren gehen. (Krogh, 2009; Rabinov, 2021; Pusin, 2024)

Abbildung 29: Schematische Darstellung der 3-2-1-1-0 Regel



Quelle: Eigene Darstellung, Gabriel Zeglovits, BAB 2026

Die Umsetzung der 3-2-1-1-0 Regel für die Langzeitarchivierung der Luftbilder erfolgt im Rahmen der Kooperation von BEV, BMLUK und BAB. Bei der sicheren Aufbewahrung der Kopien der Luftbilddaten auf externen Festplatten übernimmt die Abteilung Fernerkundung des BEV eine zentrale Funktion.

Die wesentlichen Maßnahmen zur Umsetzung des Langzeitarchivierungskonzept der Luftbilder wird im Folgenden beschrieben, siehe dazu auch Abbildung 29 (S. 67).

- Aufbewahrung 3 separater Kopien
- Aufbewahrung der Kopie der Luftbilddaten des BEV auf externen Festplatten durch die Abteilung Fernerkundung des BEV
- Aufbewahrung der Kopie der Luftbilddaten des BMLUK auf externen Festplatten durch die BAB Bibliothek
- Aufbewahrung der Kopie der Luftbilddaten des BMLUK auf Magnetbändern (Tapes) durch die BAB
- Aufbewahrung auf 2 unterschiedlichen Speichersystemen
- Kopien der Luftbilddaten des BEV und des BMLUK auf externen Festplatten. Die an der BAB verwahrten externen Festplatten des BMLUK werden von der BAB gewartet. Bei Bedarf werden defekte externe Festplatten ersetzt und mit der entsprechenden BEV Kopie bzw. Kopie auf den Magnetbändern beschrieben.
- Kopien der Luftbilddaten des BMLUK auf Magnetbändern.
- Aufbewahrung an zumindest einem separaten Standort
- Kopie der Luftbilddaten des BEV auf externen Festplatten am Standort des BEV
- Kopie der Luftbilddaten des BMLUK auf externen Festplatten im Bibliothekarchiv der BAB
- Kopie der Luftbilddaten des BMLUK auf Magnetbändern in einem feuerfesten Schrank in einem separaten Brandabschnitt in den Räumlichkeiten der BAB
- Aufbewahrung von zumindest einer offline Kopie
- Alle Kopien der Luftbilddaten sind im Rahmen der Langzeitarchivierung auf Speichermedien ohne Zugriff auf Netzwerkverbindungen gesichert
- Null-Fehler-Toleranz bei Restore Tests
- Alle auf Magnetbänder gesicherte Flugjahre werden einem eigens entwickelten Restore-Test unterzogen. Magnetbänder werden nur archiviert, wenn alle Test-Dateien erfolgreich wiederhergestellt werden konnten.

Neben der methodischen 3-2-1-1-0 Regel basiert das Konzept der Langzeitarchivierung auf den Technologien LTO und LTFS sowie der Sicherstellung der Datenintegrität durch Archivierung unkomprimierter Originaldaten.

LTO-Format

Die Entscheidung für das Linear Tape Open (LTO)-Bandformat als Träger für die Langzeitar-
chivierung der Luftbilder beruht auf folgenden Leistungsmerkmalen:

- **Etablierte Standardlösung** - Das offene LTO-Format wird seit vielen Jahren branchenübergreifend als zuverlässige Lösung für digitale Archive eingesetzt
- **Hohe Lebensdauer** - LTO-Bänder besitzen eine Lebensdauer von bis zu 30 Jahren und zählen damit zu den langlebigsten Speichermedien (Lunt et al., 2024)
- **Kosteneffizienz** - Sie gehören zu den kosteneffizientesten Medien, da sie die geringsten Kosten pro Datenmengeneinheit aufweisen (Lantz et al., 2025)

LTFS-Dateisystem

Für das Dateisystem der Magnetbänder wird das von (Pease et al., 2010) entwickelte Linear Tape File System (LTFS) eingesetzt. Die Eignung für die Langzeitarchivierung von Luftbilddaten beruht in den folgenden Merkmalen von LTFS:

- **Dual-Partition-Design** - Jeder Magnetband-Datenträger im LTFS-Format besteht aus zwei Partitionen: Die erste Partition enthält den Index sowie die Metadaten der in der zweiten Partition gespeicherten Daten (Pease et al., 2010).
- **POSIX-Kompatibilität** - Die Unterstützung von POSIX-Schnittstellen (Portable Operating System Interface) (Pease et al., 2010; SNIA, 2020). Damit lässt sich auf die Bänder auf Dateiebene über den gewohnten System-Dateibrowser zugreifen – vergleichbar mit externen Festplatten oder USB-Sticks (Pease et al., 2010).
- **Plattformunabhängigkeit** - Daten können unabhängig von spezifischen Betriebssystemen, Softwareprodukten oder Hardwarekomponenten, mit Ausnahme eines geeigneten Bandlaufwerks, ausgelesen werden
- **Big-Data-Handling**: Für Archive, welche die Kapazität einzelner LTO-Bänder überschreiten, kann das LTFS-Format zudem in automatisierten Archivierungslösungen mit Bandrobotern eingesetzt werden (Pease et al., 2010).
- **Branchen-Standard** - LTFS ist ein Standard der Storage Networking Industry Association (SNIA) (SNIA, 2020) zudem wurde er 2019 als ISO Standard anerkannt und liegt aktuell in der Version ISO/IEC 20919:2021 auf.

Datenintegrität durch Archivierung von Originaldaten

Um sicherzustellen, dass die Luftbilddaten langfristig, unverändert und vollständig in ihrer originalen Auflösung und Farbtiefe zur Verfügung stehen wurde festgelegt, dass Daten im ursprünglichen Dateiformat und ohne Kompression archiviert werden. Damit können die folgenden Eigenschaften gewährleistet werden:

- **Erhalt der Bildqualität** - Vermeidung von Qualitätsverlusten durch Transformations- oder Kompressionsoperationen.
- **Vermeidung von Manipulationen** - Das Risiko von Datenverlusten oder -veränderungen wird minimiert.
- **Effizienter Ressourceneinsatz** - Der Aufwand für Transformation und Kompression für die Archivierung sowie die spätere Dekompression bei der Datenwiederherstellung wird als höher eingeschätzt als die zusätzlichen Speicherressourcen, die für die unveränderte Archivierung der Originaldaten erforderlich sind.

Damit bietet das gewählte Konzept eine robuste, kosteneffiziente und zukunftssichere Grundlage für die Langzeitarchivierung von Luftbilddaten.

4.4 Umsetzung

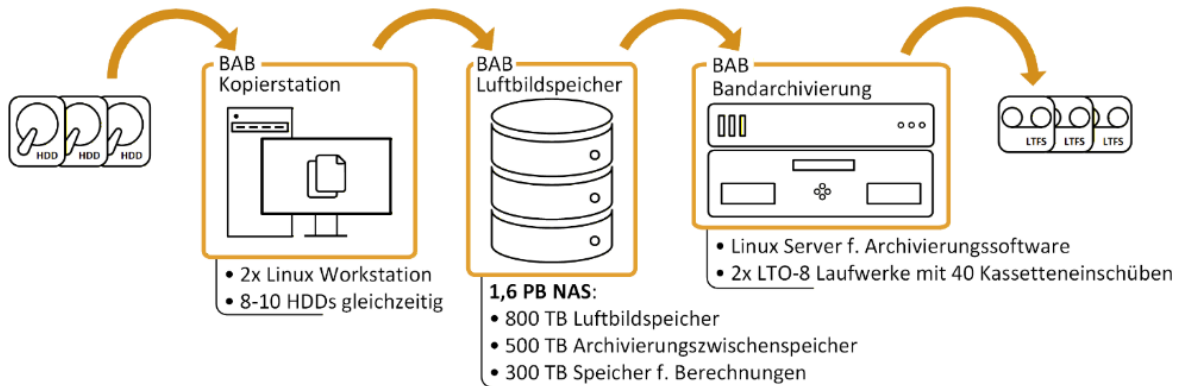
Für die praktische Umsetzung der Luftbildarchivierung an der BAB wurde die notwendige IT-Infrastruktur aufgebaut, essentielle Software angeschafft und Prozesse entwickelt.

4.4.1 IT-Infrastruktur & Software

Im Zuge der Umsetzung des Projekts wurde IT-Infrastruktur sowie Software zur Aufnahme, Speicherung, Prozessierung und Archivierung der Luftbilddaten angeschafft und in die bestehenden IKT-Systeme der BAB integriert.

Die für die Luftbildbereitstellung und Langzeitarchivierung relevante IT-Infrastruktur und Software wird im Folgenden beschrieben, siehe dazu auch Abbildung 30 (S. 71).

Abbildung 30: IT-Infrastruktur der Luftbildbereitstellung und Langzeitarchivierung



Quelle: Eigene Darstellung, Gabriel Zeglovits, BAB 2026

• **BAB Kopierstation**

Zur Aufnahme der Luftbilddaten auf den Festplatten des BMLUK aus der Orthofotokooperation von Bund und Ländern wurde eine Kopierstation in den Räumlichkeiten der BAB eingerichtet. Die Kopierstation besteht aus zwei Workstations mit Linux Betriebssystem und einer direkten Verbindung in das 40 Gbit/s Netzwerk des BAB-Serverraums. Damit können Daten von insgesamt 8-10 Festplatten gleichzeitig in den BAB Luftbildspeicher kopiert werden.

• **BAB Luftbildspeicher**

Zur Speicherung der Luftbilddaten wurden in einem Network Attached Storage (NAS) 120 Festplatten mit einer Datenkapazität von jeweils 18 TB zu einem ausfallssicheren Laufwerkverbund zusammengefasst. Damit steht eine produktive Datenkapazität von insgesamt 1,6 PB zur Verfügung. Die Gesamtkapazität unterteilt sich grob in drei Bereiche: den Luftbildspeicher für die aktuelle Abdeckung Österreichs (ca. 800 TB für 3–4 Flugjahre), einen Zwischenspeicher zur Archivierung älterer Jahrgänge (ca. 500 TB) sowie einen Berechnungsspeicher (ca. 300 TB).

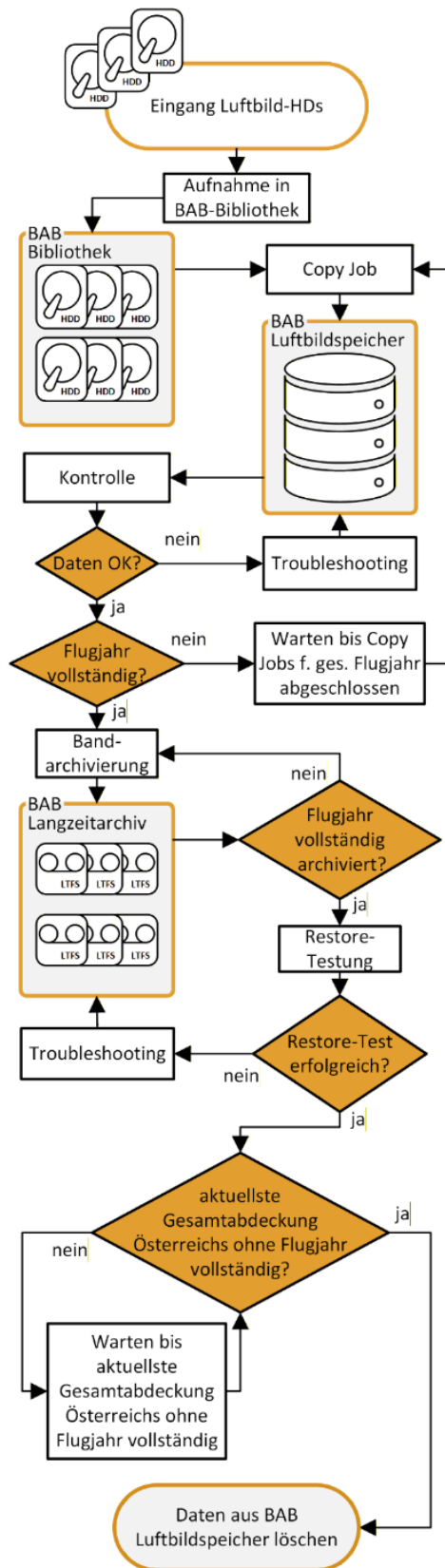
• **BAB Bandarchivierung**

Zur Archivierung der Luftbilddaten auf LTO-Bändern wird die Archivierungssoftware Archiware P5 des Herstellers Archiware eingesetzt. Diese Software ermöglicht die Datenarchivierung im Dateisystems LTFS auf LTO-Magnetbänder (SNIA, 2020). Die Anwendung läuft auf einem Applikationsserver mit Linux-Betriebssystem und verbindet damit den Luftbildspeicher mit den Bandlaufwerken. Für das Schreiben und Auslesen der Daten kommt eine Bandbibliothek zum Einsatz, die mit zwei LTO-8-Bandlaufwerken sowie 40 Kassetteneinschüben ausgestattet ist.

4.4.2 Prozesse

Um den Ablauf der Aufnahme, Aufbewahrung, Speicherung, Archivierung sowie der Herausgabe von Luftbilddaten langfristig sicherzustellen wurde ein Prozess für die Aufnahme bis zur Archivierung sowie ein Prozess zur Bereitstellung der Luftbilddaten entwickelt. Siehe dazu die Prozessdarstellungen zum Prozess Datenaufnahme - Archivierung in Abbildung 31 (S. 73) sowie zum Prozess Datenbereitstellung in Abbildung 32 (S. 75).

Abbildung 31: Prozess Datenaufnahme - Archivierung



Quelle: Eigene Darstellung, Gabriel Zeglovits, BAB 2026

Die Prozessschritte **Kontrolle** und **Restore-Testung** im Prozess Datenaufnahme - Archivierung (S.73) dienen der Qualitätssicherung und werden unter anderem durch eigens entwickelte Skripte umgesetzt.

Kontrolle

Der Schritt Kontrolle besteht aus zwei Teilprüfungen:

1. **Vollständigkeitsprüfung** – Auf Dateiebene wird geprüft, ob sämtliche Daten vollständig in den Luftbildspeicher kopiert wurden, indem Dateigröße und Änderungszeitstempel jeder Datei mit den Daten auf den HDDs verglichen werden.
2. **Integritätsprüfung** – Mit einem eigens entwickelten Python-Skript, das auf GDAL-Operationen basiert, wird untersucht, ob die kopierten TIF-Dateien beschädigt sind. Werden korrupte Dateien erkannt, erfolgt eine Nachforderung der betroffenen Dateien bei der Abteilung Fernerkundung des BEV.

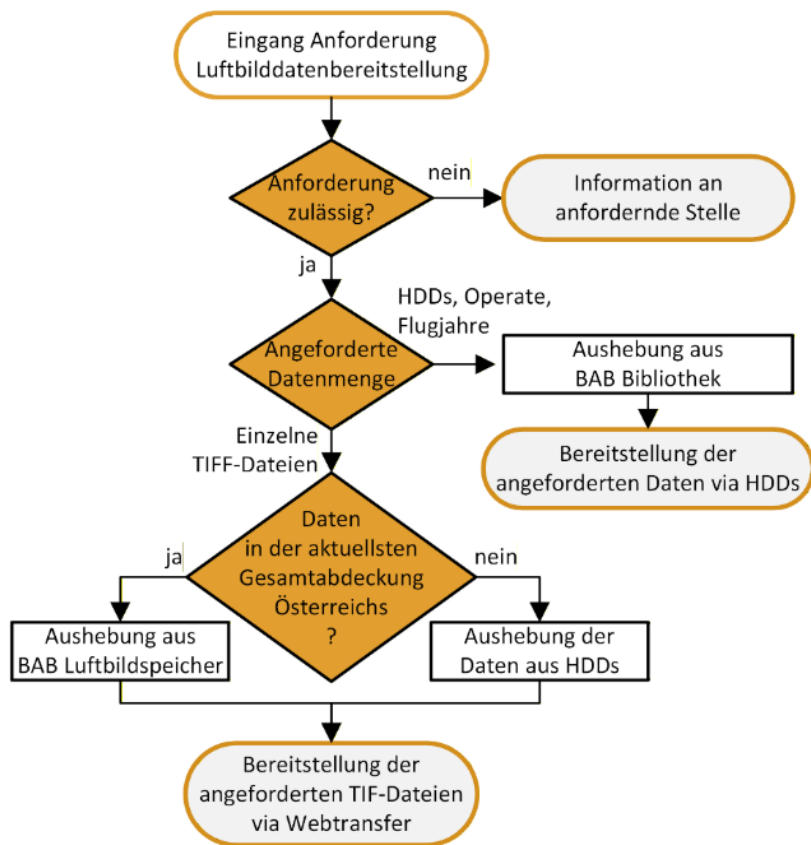
Restore-Testung

Der Schritt Restore-Testung stellt sicher, dass die Bandarchivierung der Luftbilddaten fehlerfrei abläuft. Hierfür wurde ein Skript zur Ausführung in der Linux-Command-Shell (Bash) entwickelt, das den nachfolgenden Vorgang automatisch ausführt:

1. Auswahl einer zufälligen Stichprobe aus den Daten eines kompletten Flugjahres.
2. Wiederherstellung dieser Stichprobe von den Magnetbändern in einen separaten Bereich des Luftbildspeichers über das Archiware P5-Command-Line-Interface.

Anschließend erfolgt die manuelle Überprüfung der wiederhergestellten Daten sowie die Dokumentation des Restore-Tests. Nur wenn bei dieser Kontrolle keine Fehler auftreten, erfolgt die Übernahme der Magnetbänder des betreffenden Flugjahres in das BAB-Langzeitarchiv.

Abbildung 32: Prozess Datenbereitstellung



Quelle: Eigene Darstellung, Gabriel Zeglovits, BAB 2026

Status der Luftbildarchivierung

Bis Februar 2026 wurden zehn Flugjahre vollständig in die BAB-Bibliothek aufgenommen. Davon ist die Bandarchivierung für sechs Flugjahre abgeschlossen; vier weitere Flugjahre werden derzeit auf Bänder archiviert oder sind für die Archivierung bereit. Das Flugjahr 2025 wird in den kommenden Wochen und Monaten geliefert und in den Luftbildspeicher der BAB aufgenommen. Für die aktuelle Gesamtabdeckung Österreichs sind bis zur vollständigen Lieferung des Flugjahrs 2025 die Jahre 2021 bis 2024 relevant. Siehe dazu auch Abbildung 33.

Abbildung 33: Status der Luftbildarchivierung (02.2026)

Flugjahr	2025	2024	2023	2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015
Aufnahme in BAB Bibliothek vollständig	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Copy Job vollständig	⌚	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Kontrolle abgeschlossen		↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Übersichts-GeoPackage erstellt		✓	✓	✓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	✓
Bandarchivierung abgeschlossen				⌚	↓	↓	↓	↓	↓	↓	⌚
Restore Testung abgeschlossen					↓	↓	↓	↓	↓	↓	
Verwahrung in BAB Langzeitarchiv					✓	↓	↓	↓	↓	↓	
Aus BAB Liftbildspeicher gelöscht		🧩	←	←	←	✓	✓	✓	✓	✓	

 ... für aktuellste Gesamtabdeckung Österreichs relevant
  ... Maßnahme in Umsetzung
 ... Maßnahme abgeschlossen

Quelle: Eigene Darstellung, Gabriel Zeglovits, BAB 2026

4.5 Fazit

Ausgangspunkt für die Entwicklung eines österreichweiten Langzeitarchivierungskonzepts war der Bedarf nach einer nachhaltigeren Lösung zur Sicherung der originalen Luftbilddaten aus der Orthofotokooperation von Bund und Ländern. Die etwa 4 Petabyte umfassenden Daten wurden bislang lediglich auf rund 700 externen Festplatten gespeichert – ein Ansatz, der angesichts der begrenzten Lebensdauer von Festplatten (5–10 Jahre) erhebliche Risiken birgt. Ein umfassendes Konzept für die unkomprimierten Originaldaten mit 16-Bit-Bildtiefe fehlte bis dato.

Das im Rahmen des Projekts entwickelte Langzeitarchivierungskonzept basiert auf der 3-2-1-1-0-Regel zur Datensicherung. Diese Strategie sieht das Vorhalten von drei Datenkopien auf zwei unterschiedlichen Speichermedien vor, wobei mindestens eine Kopie an einem separaten Standort und eine weitere offline – also ohne Netzwerkverbindung – aufbewahrt wird. Ergänzt wird dies durch Restore-Tests mit Null-Fehler-Toleranz. Die Umsetzung erfolgt in Kooperation von BEV, BMLUK und BAB, wobei Kopien sowohl auf externen Festplatten als auch auf Magnetbändern an verschiedenen Standorten verwahrt werden.

Für die Langzeitarchivierung wurde das LTO-Bandformat (Linear Tape Open) als Trägermedium gewählt. Diese Entscheidung begründet sich durch die hohe Lebensdauer von bis zu 30 Jahren, die Kosteneffizienz sowie die breite Etablierung als Branchenstandard für digitale Archive.

Als Dateisystem kommt LTFS (Linear Tape File System) zum Einsatz. Dieses plattformunabhängige und als ISO-Standard anerkannte System ermöglicht einen zukunftssicheren Zugriff auf die archivierten Daten.

Um die Datenintegrität langfristig zu gewährleisten, werden die Luftbilddaten im ursprünglichen Dateiformat ohne Kompression archiviert. Damit bleiben Bildqualität und Auflösung vollständig erhalten.

Für die praktische Umsetzung wurde an der BAB die notwendige IT-Infrastruktur aufgebaut. Diese umfasst eine Kopierstation zur Datenübernahme von den Festplatten, einen zentralen Luftbildspeicher mit einer produktiven Kapazität von 1,6 Petabyte sowie eine Bandbibliothek mit LTO-8-Laufwerken für die Langzeitarchivierung.

Zur Sicherstellung eines geordneten Ablaufs wurden strukturierte Prozesse etabliert: Der Prozess Datenaufnahme–Archivierung regelt den Weg von der Festplattenübernahme über die Qualitätskontrolle bis zur Bandarchivierung und abschließenden Restore-Testung. Der Prozess Datenbereitstellung definiert die Herausgabe von Luftbilddaten – je nach Anforderung per Webtransfer, aus dem Luftbildspeicher oder über die HDDs der BAB-Bibliothek.

Bis Februar 2026 wurden zehn Flugjahre vollständig in die BAB-Bibliothek aufgenommen. Für sechs davon ist die Bandarchivierung abgeschlossen; vier weitere befinden sich in Bearbeitung.

Mit der Entwicklung und Umsetzung des Langzeitarchivierungskonzepts wurde das gesetzte Ziel der langfristigen Sicherung der wertvollen Luftbild-Basisdaten erreicht. Die gewählte Kombination aus bewährter Archivierungsstrategie (3-2-1-1-0-Regel), zukunftssicherer Technologie (LTO/LTFS) und strukturierten Prozessen gewährleistet die dauerhafte Verfügbarkeit und Integrität der originalen Luftbilddaten. Damit steht erstmals ein österreichweites Langzeitarchivierungskonzept für unkomprimierte Luftbilddaten zur Verfügung, welches eine solide Grundlage für zukünftige Analysen und Forschungsarbeiten bildet.

4.6 Ausblick

Die bisherigen Arbeiten konzentrierten sich auf die Luftbilddaten ab dem Jahr 2015. Darüber hinaus besteht Bedarf, auch historische Luftbilddaten aus der Orthofotokooperation von Bund und Ländern vor 2015 in das Langzeitarchiv aufzunehmen, um eine möglichst lückenlose Zeitreihe verfügbar zu machen.

Gleichzeitig ist die kontinuierliche Archivierung zukünftiger Befliegungen sicherzustellen. Mit jeder neuen Befliegungskampagne wächst der Datenbestand, sodass die etablierten Prozesse und Kapazitäten entsprechend fortzuführen und bei Bedarf zu erweitern sind.

Ein zentraler Aspekt der Langzeitarchivierung ist die Sicherstellung der Datenverfügbarkeit über den gesamten Aufbewahrungszeitraum. Die Lebensdauer von Speichermedien allein garantiert noch keinen dauerhaften Zugriff auf die Daten. Technologie- oder Systembrüche – etwa Änderungen bei der Abwärtskompatibilität unterschiedlicher Gerätegenerationen – stellen einen limitierenden Faktor dar. Selbst wenn ein Magnetband theoretisch noch Jahrzehnte nach der Beschreibung auslesbar wäre, ist dies nur möglich, wenn zu diesem Zeitpunkt auch ein funktionstüchtiges Lesegerät verfügbar ist.

Daher ist es erforderlich, neben der Sicherung auf langlebigen Speichermedien auch das zugrunde liegende Speichersystem und die relevante IKT-Infrastruktur auf dem aktuellen Stand der Technik zu halten. Dies umfasst die rechtzeitige Migration auf neue LTO-Generationen oder gegebenenfalls auf andere Langzeitsicherungstechnologien.

Eine absehbare Herausforderung ergibt sich aus dem bevorstehenden Technologiesprung bei LTO: Die aktuellste Generation (LTO-10) ist nicht mehr abwärtskompatibel zu älteren Generationen. Dies betrifft sowohl die Laufwerke als auch die Magnetbänder und erfordert entsprechende Planungen für die Migration der bestehenden Archivdaten.

Ergänzend sollte geprüft werden, ob und in welcher Form eine Aufbewahrung der Luftbilddaten im Österreichischen Staatsarchiv möglich wäre. Eine solche Einbindung könnte die Langzeitsicherung auf eine zusätzliche institutionelle Grundlage stellen und den dauerhaften Erhalt der Daten auch unabhängig von projektbezogenen Infrastrukturen gewährleisten.

Die bisherigen Maßnahmen zur Aufbewahrung, Bereitstellung und Langzeitarchivierung wurden im Rahmen des Projekts Image-Matching durchgeführt. Die Sicherstellung der Finanzierung über das Projekt hinaus ist derzeit noch ungeklärt. Dies betrifft mehrere Bereiche: den Personalaufwand für den laufenden Archivierungs- und Bereitstellungsprozess, die Beschaffung von LTO-Bändern und Softwarelizenzen, den Betrieb und die Wartung der Infrastruktur sowie die Investitionen im Rahmen der Erhaltungsplanung – insbesondere jene, die durch fehlende Abwärtskompatibilität bei Technologiewechseln erforderlich werden.

Um den langfristigen Erhalt der Luftbilddaten sicherzustellen, wird eine nachhaltige Finanzierungslösung benötigt – sei es durch Aufnahme in die Budgetplanung des BMLUK oder durch Verankerung der Langzeitverfügbarkeit als integralen Bestandteil der Orthofotokooperation von Bund und Ländern.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Dokumentation des Wissensaustausches	28
Tabelle 2: Relevante gewählte Parameter für qualitativ hochwertige DOM.....	31
Tabelle 3: Dokumentation des Wissensaustausches	47
Tabelle 4: Vergleichender Überblick von Daten aus Luftbildbefliegungen, Airborne Laserscanning und Sentinel2 Satellitenbildern	56
Tabelle 5: Getestete Einstellungen in den Parametertests 1-20	87
Tabelle 6: finale Parametertests Qualität – Höhenvergleich mit freiliegenden BEV-Boden- Festpunkten.....	89

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: öst. Luftbilder werden mit mind. 80% Längs- und 40% Quer-Überlappung aufgenommen (BEV, 2021)	12
Abbildung 2: Flugblöcke der Orthofotokooperation mit letztem Befliegungsdatum (LFRZ, 2025).....	13
Abbildung 3: Gebiete der ALS Befliegungen mit Angabe der Flugjahre	15
vAbbildung 4: Übersicht ableitbarer Produkte aus Image-Matching von überlappenden Luftbildern	17
Abbildung 5: Vegetationshöhenmodell nDOM	18
Abbildung 6: Darstellung von Objekt-Oberflächen als Mesh.....	19
Abbildung 7: Grafischer Überblick der Methodik	20
Abbildung 8: 20x20 km Area of Interest (AOI) im Flugblock Windischgarsten 2019.....	22
Abbildung 9: Lage der BEV Geländepunkte AOI Windischgarsten (Auswahl aus Triangulierungspunkten)	23
Abbildung 10: Technische Infrastruktur für Image-Matching und Luftbildspeicher	25
Abbildung 11: Vergleich anhand Schummerungsdarstellungen der DOM von BAB, BEV und BFW	27
Abbildung 12: Detail-Vergleich anhand Schummerungsdarstellungen der DOM von BAB, BEV und BFW	27
Abbildung 13: Vergleich anhand von Profilen der Oberflächenmodelle von BAB, BEV und BFW	28
Abbildung 14: Mittelwert der relativen Abweichungen je Höhenstufe (Festpunkthöhe minus Modellhöhe) [m].....	29
Abbildung 15: Mittelwert der absoluten Abweichungen je Höhenstufe (Festpunkthöhe minus Modellhöhe - Absolut-wert) [m]	30
Abbildung 16: Vergleich unterschiedlicher Filtereinstellungen in Agisoft Metashape.....	32
Abbildung 17: Vegetation ab 3m Höhe – laut BFW DOM (grün) und BAB DOM (gold).....	33
Abbildung 18: Profilvergleiche von INVEKOS Landschaftselementen 2016 und 2019	35
Abbildung 19: Profilvergleich großflächigeres Landschaftselement.....	36
Abbildung 20: Profilvergleich und Höhenvarianz Waldbereich 2016 und 2019.....	37
Abbildung 21: Höhenversatz 2016 und 2019 Straßenlängsschnitt.....	38
Abbildung 22: Definition und Benennung des vierten Kanals als „NIR“ in Agisoft Metashape mit Python.....	40
Abbildung 23: Darstellung einer berechneten Punktwolke in Potree Desktop.....	41
Abbildung 24: 3D-Mesh-Modell von Admont, Steiermark 0,5m Auflösung	43

Abbildung 25: 3D-Mesh-Modell der Rutschung im Gießgraben am Pleschberg, Ennstaler Alpen.....	44
Abbildung 26: Gegenüberstellung eines Gebäudebereichs des Stifts Admont: Orthofoto aus der Orthofotokooperation (links, 0,2 m Auflösung) und selbst erstelltes True-Orthomosaik (rechts, 0,5 m Auflösung)	45
Abbildung 27 : Beschreibung und Programm des Projektabschluss- und Vernetzungstreffens	49
Abbildung 28: Visualisierung einer exemplarischen Luftbildzeitreihe.....	63
Abbildung 29: Schematische Darstellung der 3-2-1-1-0 Regel	67
Abbildung 30: IT-Infrastruktur der Luftbildbereitstellung und Langzeitarchivierung.....	71
Abbildung 31: Prozess Datenaufnahme - Archivierung	73
Abbildung 32: Prozess Datenbereitstellung	75
Abbildung 33: Status der Luftbildarchivierung (02.2026)	76

Literaturverzeichnis

- Abteilung II/1 BML. (2024). *Ressort-GIS-Koordination Konzept 2024 – Teil II.1*.
- Agisoft LLC. (2024). *Agisoft Metashape User Manual—Professional Edition, Version 2.1* [Software Manual]. https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_1_en.pdf
- Agisoft LLC. (2025a, August 26). *How to Create True Orthophotos with Metashape: Building Lean Correction Explained*. <https://www.agisoftmetashape.com/how-to-create-true-orthophotos-with-metashape-building-lean-correction-explained/>
- Agisoft LLC. (2025b, Oktober 9). *Agisoft Metashape Aerial Survey Tips: How to Capture and Process High-Quality Data*. <https://www.agisoftmetashape.com/agisoft-metashape-aerial-survey-tips-how-to-capture-and-process-high-quality-data/>
- Ali-Sisto, D., & Packalen, P. (2017). Forest Change Detection by Using Point Clouds From Dense Image Matching Together With a LiDAR-Derived Terrain Model. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(3), 1197–1206. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2016.2615099>
- BEV. (2021). *Digitale Luftbilder und digitale Orthophotos 2022, 2023, 2024—Besondere Vertragsbedingungen*.
- Cantrell, S. J., Sampath, A., Vrabel, J. C., Bresnahan, P., Anderson, C., Kim, M., & Park, S. (2024). System characterization report on the Pléiades Neo Imager. In *Open-File Report* (Nr. 2021-1030-P). U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/ofr20211030P>
- Chouteau, F., Gabet, L., Fraisse, R., Bonfort, T., Harnoufi, B., Greiner, V., Le Goff, M., Ortner, M., & Paveau, V. (2022). JOINT SUPER-RESOLUTION AND IMAGE RESTORATION FOR PLÉIADES NEO IMAGERY. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLIII-B1-2022*, 9–15. XXIV ISPRS Congress “Imaging today, foreseeing tomorrow”, Commission I - 2022 edition, 6–11 June 2022, Nice, France. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2022-9-2022>
- Dandois, J. P., & Ellis, E. C. (2010). Remote Sensing of Vegetation Structure Using Computer Vision. *Remote Sensing*, 2(4), 1157–1176. <https://doi.org/10.3390/rs2041157>
- GeoFLy. (o. J.). *Verzerrungsfreie Orthofotos & Geodaten*. True Orthophotos. Abgerufen 25. Februar 2026, von <https://web.geofly.eu/leistungen/true-orthophotos>
- Kodde, M. (2016, Juli 15). *Dense Image Matching*. GIM International. <https://www.gim-international.com/content/article/dense-image-matching-2>
- Krogh, P. (2009). *The DAM book: Digital asset management for photographers* (2. Aufl.). O’Reilly Media, Inc.
- Lantz, M. A., Furrer, S., Petermann, M., Rothuizen, H., Brach, S., Kronig, L., Iliadis, I., Weiss, B., Childers, E. R., & Pease, D. (2025). Magnetic Tape Storage Technology. *ACM Trans. Storage*, 21(1), 6:1-6:70. <https://doi.org/10.1145/3708997>
- Lunt, B. M., Kemp, D., Linford, M. R., Chiang, W., Kemp, D., Linford, M. R., & Chiang, W. (2024). How Long Is Long-Term? - An Update. *Archiving Conference*, 21, 56–59. <https://doi.org/10.2352/issn.2168-3204.2024.21.1.11>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2024). *Rapid Expert Consultation on Archival Data Storage Technologies for the Intelligence Community* (S. 27445). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/27445>

- Navarro, J. A., Fernández-Landa, A., Tomé, J. L., Guillén-Climent, M. L., & Ojeda, J. C. (2018). Testing the quality of forest variable estimation using dense image matching: A comparison with airborne laser scanning in a Mediterranean pine forest. *International Journal of Remote Sensing*, 39(14), 4744–4760. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1471551>
- Nebiker, S., Lack, N., & Deuber, M. (2014). Building Change Detection from Historical Aerial Photographs Using Dense Image Matching and Object-Based Image Analysis. *Remote Sensing*, 6(9), Artikel 9. <https://doi.org/10.3390/rs6098310>
- Ostrowski, W., Gulli, V. D., Bakula, K., & Kurczyński, Z. (2020). QUALITY ASPECTS OF TRUE ORTHOPHOTO IN URBAN AREAS. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLIII-B5-2020*, 191–198. XXIV ISPRS Congress, Commission V and Youth Forum (Volume XLIII-B5-2020) - 2020 edition. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B5-2020-191-2020>
- Pease, D., Amir, A., Real, L. V., Biskeborn, B., Richmond, M., & Abe, A. (2010). The Linear Tape File System. *2010 IEEE 26th Symposium on Mass Storage Systems and Technologies (MSST)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/MSST.2010.5496989>
- Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J.-M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. Chr. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(9), 503–510. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.011>
- Pix4D. (o. J.). *Best practices for image acquisition and photogrammetry*. Abgerufen 10. Dezember 2025, von <https://support.pix4d.com/hc/best-practices-for-image-acquisition-and-photogrammetry>
- Politz, F., Sester, M., & Brenner, C. (2021). Building Change Detection of Airborne Laser Scanning and Dense Image Matching Point Clouds using Height and Class Information. *AGILE: GIScience Series*, 2, 1–14. <https://doi.org/10.5194/agile-giss-2-10-2021>
- Pusin, Y. (2024, Mai 23). *Backup Strategies: Why the 3-2-1 Backup Strategy is the Best*. Backblaze Blog | Cloud Storage & Cloud Backup. <https://www.backblaze.com/blog/the-3-2-1-backup-strategy/>
- Qin, R. (2019, Mai 17). *Analysis of critical parameters of satellite stereo image for 3D reconstruction and mapping*. ASPRS 2018 Annual Conference, Denver Colorado. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1905.07476>
- Rabinov, N. (2021, Juli 21). *The 3-2-1 Backup Rule and Beyond: 3-2-1 vs. 3-2-1-1-0 vs. 4-3-2*. Backblaze Blog | Cloud Storage & Cloud Backup. <https://www.backblaze.com/blog/whats-the-diff-3-2-1-vs-3-2-1-1-0-vs-4-3-2/>
- Ragg, H., Klug, C., Kleindienst, H., Sailer, R., & Stötter, H. (2011). Das unterschätzte Potenzial photogrammetrischer Punktwolken – exemplarische Anwendungen in Kombination mit LiDAR-Daten. In J. Strobl (Hrsg.), *Angewandte Geoinformatik 2011: Beiträge zum 23. AGIT-Symposium Salzburg* (S. 86–91). Wichmann.
- Remondino, F., Spera, M. G., Nocerino, E., Menna, F., & Nex, F. (2014). State of the art in high density image matching. *The Photogrammetric Record*, 29(146), 144–166. <https://doi.org/10.1111/phor.12063>
- Schütz, M. (2015). *Potree: Rendering large point clouds in web browsers* [Thesis, Technische Universität Wien]. <https://doi.org/10.34726/hss.2015.27710>

- SNIA. (2020). *Linear Tape File System (LTFS) Format Specification* (Version 2.5.1) [SNIA Standard]. <https://www.snia.org/sites/default/files/technical-work/ltfs/release/SNIA-LTFS-Format-2-5-1-Standard.pdf>
- Tucker, C. J., & Sellers, P. J. (1986). Satellite remote sensing of primary production. *International Journal of Remote Sensing*, 7(11), 1395–1416. <https://doi.org/10.1080/01431168608948944>
- Zhang, Z., Gerke, M., Vosselman, G., & Yang, M. Y. (2018). A patch-based method for the evaluation of dense image matching quality. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 70, 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.04.002>

Abkürzungen

ALS	Airborne Laser Scanning
AMA	Agrarmarkt Austria
AOI	Area of Interest
BAB	Bundesanstalt für Agrarwirtschaft und Bergbauernfragen
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
BFW	Bundesforschungszentrum für Wald
BML	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft Bezeichnung des BMLUK von 2022 - 2025
BMLUK	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Klima- und Umweltschutz, Regionen und Wasserwirtschaft aktuell gültige Bezeichnung
BMNT	Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus Bezeichnung des BMLUK von 2018 – 2020
BOKU	Universität für Bodenkultur Wien
COPC	Cloud Optimized Point Cloud
DGM	Digitales Geländemodell (engl.: DTM, Digital Terrain Model)
DOM	Digitales Oberflächenmodell (engl.: DEM, Digital Elevation Model / DSM, Digital Surface Model)
HDD	Hard Disk Drive (dt.: Festplattenlaufwerk)
LaDiWaldi	Lasergestützte Digitale Waldinventur und Einsatzplanung (Projekt der BOKU)
LFRZ	Land-, forst- und wasserwirtschaftliches Rechenzentrum GmbH
LiDAR	Light Detection And Ranging
LTFS	Linear Tape File System
nDOM	Differenzhöhenmodell (DOM minus DGM)
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
OARA	Optimiertes Automatisiertes Referenzsystem für Almen (der AMA)
OGC	Open Geospatial Consortium
RGBI	Spektralfarben Rot, Grün, Blau und Infrarot

A Technischer Anhang

A.1 Parametertests 1-20

Im Rahmen der ersten Parametertests wurden die in Tabelle 5 dargestellten Einstellungsvariationen innerhalb der 20 km großen AOI bzw. Bounding-Box getestet. Bei jedem Test waren die Einstellung „Adaptive Camera Model Fitting“ beim Alignment sowie die Einstellung des „Primary Channel“ auf „Default“ fix gesetzt. Es wurden jeweils fünf Ground Control Points verwendet (angeordnet an den Außenecken und in der Mitte des Flugblocks) – davon drei als Passpunkte und zwei als Kontrollpunkte.

Tabelle 5: Getestete Einstellungen in den Parametertests 1-20

Parameter	Getestete Variationen	Erklärung
Adaptive camera model fitting	aktiviert	Verfahren, bei dem die Kameraparameter während der Alignment-Optimierung dynamisch an die Bilddaten angepasst werden, um Genauigkeit und Stabilität der 3D-Rekonstruktion zu verbessern; Nachteil: Blackbox, in der Nutzer nicht direkt die Anpassungen steuert – weniger Transparenz – mögliche Überanpassung bei schlechten Daten; Vorteil: höhere Flexibilität und oft bessere Rekonstruktion
Primary channel	default	Berücksichtigt alle Farbkanäle, die im Bild vorhanden sind – im gegenständlichen Fall RGBI
Qualität der depth maps Berechnung	High, ultra	Bestimmt die Auflösung der Depth Maps
Tweak DepthMaps TileSize	6144	VRAM-Begrenzung, damit Berechnung auf der GPU erfolgt
Filtering	disabled, mild, moderate, aggressive	Filtering entfernt unzuverlässige Tiefenpixel aus den Depth Maps. Bei Einstellung „aggressive“ entstehen weniger Ausreißerwerte, Modell wird aber auch stark geglättet. Generell ist Filterwirkung in Agisoft Metashape vergleichsweise stark
Anzahl der Bildnachbarn	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, nicht limitiert	Maximale Anzahl der Bildnachbarn, die für den Punktabgleich für die Depth-Maps-Berechnung verwendet werden. Je mehr Nachbarn, desto stabiler, dichter, aber rechenintensiver

Parameter	Getestete Variationen	Erklärung
Point threshold	20, 50, 60, 70, 80	Parameter bei der Depth-Maps-Berechnung, der die Auswahl der Depth-Map-Punkte steuert (nach Mindestqualitätsanforderungen); definiert die mindeste „Vertrauenswürdigkeit“ des Tiefenpixels, um berücksichtigt zu werden; höherer point threshold führt zu einem saubereren Modell, aber mit weniger Daten (also auch löchriger und weniger detailreich)
Interpolation	ohne, interpoliert, extrapoliert	Interpolieren = fehlende Flächen innerhalb der vorhandenen Daten werden ergänzt; extrapolieren = fehlende Daten außerhalb der Daten werden hinzugefügt bzw. weitergerechnet (anfällig für Artefakte); Agisoft Metashape verwendet die Interpolationsmethode IDW Inverse Distanzgewichtung, um Löcher im DOM zu interpolieren

Quelle: Eigene Zusammenstellung, Karin Schroll, BAB 2025

Erkenntnisse aus den Parametertests 1-20

- Mit high quality depthmaps lässt sich mit den original Luftbilddaten eine Auflösung von 35 cm erreichen; Ultra quality depthmaps führt zu einer 3-4fach längeren Berechnungsdauer und zu mehr Lücken (die interpoliert werden müssen – dafür verwendet Agisoft Metashape IDW inverse distance weighting)
- Empfehlung, das Koordinatensystem des Originalflugblockes im Matching zu verwenden
- “Enable fine level task subdivision” aktivieren in der Clusterberechnung (die Berechnungen werden in kleinere Teilaufgaben zerlegt, die parallel auf mehreren GPU/CPU-Kernen verarbeitet werden können)
- Matching ohne Querstreifenbildern (aufgrund großer zeitlicher Abweichung der Aufnahmen)
- Aggressive und moderate filtering führen zu den geringsten Ausreißer-Werten
- Depth maps wird immer für den gesamten Flugblock berechnet, auch wenn man bei DOM Berechnung eine AOI bzw. bounding box definiert.
- Genauigkeit des DOM (mittels optischem Schummerungsvergleich) steigt mit der Anzahl der mitberücksichtigten Nachbarn

A.2 Parametertests A-L

Für die Feinjustierung der Parameter wurden die besten Testergebnisse der ersten Testreihe 1-20 verwendet (bezogen auf ihre Abweichung zu BEV Bodenfestpunkten, ermittelt mit dem Point sampling tool Plugin von QGIS) sowie die besten Tests der zweiten Testreihe A-L. Diese unterscheiden sich in den Reference Settings, der Anzahl der verwendeten Pass- und Kontrollpunkte, der Camera Calibration (precalibrated & fixed alignment/ adaptive camera model fitting), dem verwendeten Farbkanal und der Art der Filterung.

Tabelle 6: finale Parametertests Qualität – Höhenvergleich mit freiliegenden BEV-Boden-Festpunkten

Parameter	3	4	8	A	B	F	G	H	J	Ka	K	Kn	L
reference settings	alt	alt	alt	neu	neu	neu	neu	neu	neu	neu	neu	neu	neu
Anzahl PP/KP	3/ 2	3/ 2	3/ 2	-	3/2	16/ 19	10/ 8	3/ 2	3/ 2	3/ 2	3/ 2	3/ 2	3/ 2
camera calibration	cmf adaptive	cmf adaptive	cmf adaptive	fixed precal. & fixed	cmf adaptive	cmf adaptive	cmf adaptive	cmf adaptive	cmf adaptive	cmf adaptive	cmf adaptive	cmf adaptive	cmf adaptive
channel	RGBI	RGBI	RGBI	RGBI	RGBI	RGBI	RGBI	RGBI	PAN	NIR	NIR	NIR	RGBI
filtering	no	mild	agg.	agg.	agg.	agg.	agg.	mild	mild	mild	mild	no	no
Querstreifenbilder	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein	nein	nein
Bildformat	.tif	.tif	.tif	.tif	.tif	.tif	.tif	.jpeg 2000	.tif	.tif	.tif	.tif	.tif
Mittelwert absoluter Abweichung zu BEV Festpunkten im freien Gelände [m]	0,217	0,216	0,218	0,808	0,211	0,212	0,212	0,217	2,390	0,212	0,218	0,218	0,210
Std. Abw. [m]	0,188	0,187	0,191	0,309	0,209	0,214	0,221	0,220	0,203	0,191	0,189	0,190	0,201
Testbewertung											3	2	1

Quelle: Eigene Zusammenstellung, Karin Schroll, BAB 2025

Erkenntnisse aus den Parametertests A-L

- Einstellung der Tilesize (in den Tweaks – tools – preferences – advanced - tweaks)
- Bei den ersten Tests wurde in den Tweaks eine Tilesize von 6000 verwendet. Nach einer Anpassung der Infrastruktur kamen jedoch unterschiedliche Grafikkartentypen parallel zum Einsatz. Während Tesla-K80-Grafikkarten mit dieser Tilesize stabil und effizient arbeiten können, ist sie für RTX-3060-Grafikkarten zu groß. Ursache dafür ist der im Vergleich geringere verfügbare GPU-Speicher sowie Unterschiede in der Speicherverwaltung, wodurch es bei großen Tiles zu Speicherengpässen und einer reduzierten effektiven GPU-Auslastung kommt. Obwohl beide Grafikkartentypen eine ähnliche nominelle Rechenleistung aufweisen, erzielen die RTX 3060 unter diesen Bedingungen eine geringere effektive Performance. Aufgrund des gemischten GPU-Einsatzes wurde der entsprechende Tweak daher nicht weiterverwendet.
Grundsätzlich kann dieser Tweak die Verarbeitungsgeschwindigkeit deutlich erhöhen, da größere Tiles den Rechen- und Verwaltungs-Overhead reduzieren. Dies ist insbesondere relevant, da Agisoft Metashape standardmäßig mit sehr kleinen Tilesizes arbeitet, was zu einem erhöhten Overhead und längeren Rechenzeiten führen kann.
- Alignment ist in Agisoft Metashape essentiell – reine Berechnung mit Originalorientierungen (mittels Laden der .prj-Datei) waren qualitativ weit abgeschlagen (Tests C – E scheiden aus). Beim Alignment werden in Agisoft Metashape Bildmerkmale erkannt, korrespondierende Punkte zwischen den Bildern identifiziert und daraus die relative Orientierung der Kameras bestimmt und eine Bündelausgleichung durchgeführt. Als Ergebnis liegen die relativen Kamerapositionen und -orientierungen vor, also ein intern konsistentes Kameranetz.
- Neue Reference Settings ausgewählt basierend auf Metadaten sind präziser (Tests 3-8 scheiden aus)
- Die Erhöhung der Anzahl an Pass- und Kontrollpunkten brachte kein Qualitätsverbesserung (Tests B, F und G scheiden aus)
- Fixiertes Alignment führt zu größeren Höhenabweichungen (Test A scheidet aus)
- Matching mit dem panchromatischen Kanal führt zu größeren Abweichungen (Test J scheidet aus)
- Unterschied zwischen „no filtering“ und „mild filtering“ ist weitgehend vernachlässigbar
- Das Miteinbeziehen der Querstreifenbilder bringt keinen Qualitätsgewinn

Die besten Ergebnisse erzielten die Tests K, Kn und L. Sie unterscheiden sich im Matching-Kanal (NIR bzw. RGBI) sowie in der Art der Filterung (mild bzw. no filtering). Nach weiteren Vergleichen stellte sich Test L mit dem Primary Channel RGBI und der Einstellung „no filtering“ als beste Variante heraus. Matching mit RGBI Kanal brachte sehr leicht bessere Ergebnisse. Das Image-Matching mit dem RGBI-Kanal lieferte geringfügig bessere Ergebnisse. Bei der DOM-Berechnung war der Unterschied zwischen „no filtering“ und „mild filtering“ weitgehend vernachlässigbar.

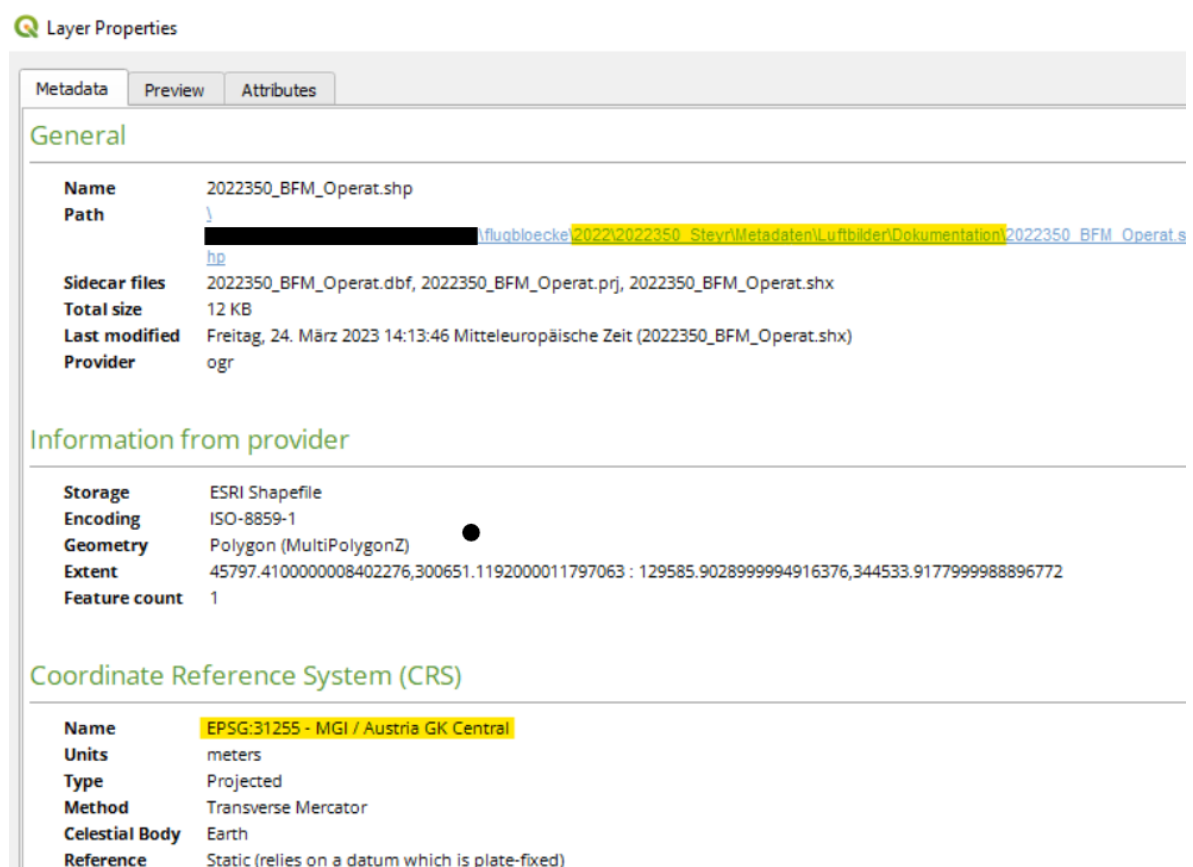
A.3 Detaillierter Image-Matching Workflow

A.3.1. Vorbereitung mit QGIS

Koordinatenreferenzsystem der Luftbilddaten feststellen

Original-Befliegungs-Koordinatenreferenzsystem eruieren und für Image-Matching verwenden.

Das Koordinatenreferenzsystem kann aus den Layer Properties der Metadaten Shapefiles ausgelesen werden:

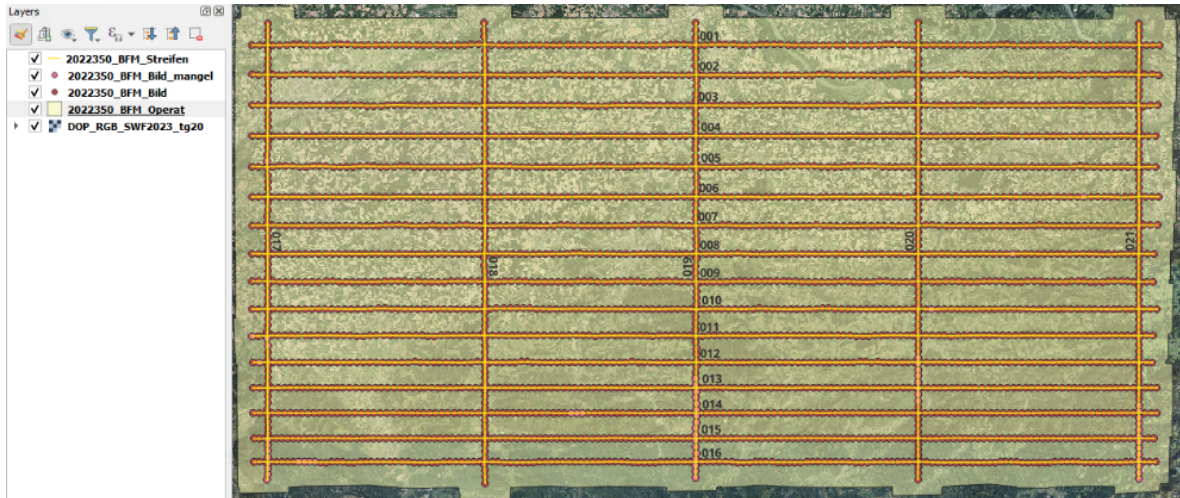


Screenshot QGIS Layer Properties | aufgenommen von BAB, 2026

Z.B. Windischgarsten oder Steyr: 31255 MGI Austria GK Central

Metadaten-Geometrien laden

INFO Dateipfad folgt meist diesem Schema: <Befliegungsjahr>\<Archivnummer-Flugblock>\Metadaten\Luftbilder\Dokumentation



Screenshot QGIS Flugstreifen, Bild-Punktgeometrien, Operat-Polygon und DOP im Hintergrund | aufgenommen von BAB, 2026

Nummer der Längs-Flugstreifen eruieren, damit diese später beim Laden der Bilder in Agisoft Metashape berücksichtigt werden.

A.3.2. Image-Matching mit Agisoft Metashape

der folgende Workflow basiert auf der **Metashape Version 2.1.2 build 18548** (gilt für Agisoft Metashape Professional & Agisoft Monitor)

Neues Projekt erstellen

Projektpfad dokumentieren

A.3.2.1 Luftbilder laden

Workflow > Add Photos

Die Luftbilder können auch nach und nach (z.B. in zusammenhängenden Blöcken) in das Projekt geladen werden.

Variante A: Nur die relevanten Luftbilder laden, z.B. nur die Bilder der Längsstreifen laden.

Variante B: Luftbilder eines gesamten Ordners laden und in einem späteren Schritt jene Bilder aus der ORI-Datei löschen, die nicht benötigt werden.

Duplikate entfernen

Sollten bereits im Projekt geladene Luftbilder erneut ins Projekt geladen worden sein, können diese mit dem Skript "delete_duplicate_cameras.py" entfernt werden.

Tools > Run Script

Python Script: "delete_duplicate_cameras.py"

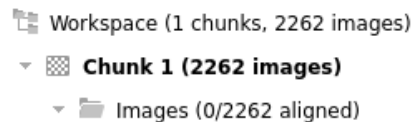
```
import Metashape, os

chunk = Metashape.app.document.chunk
print("start")
paths = set()
photos = list()
for camera in list(chunk.cameras):
    if camera.photo.path in paths:
        photos.append(camera)
    else:
        paths.add(camera.photo.path)

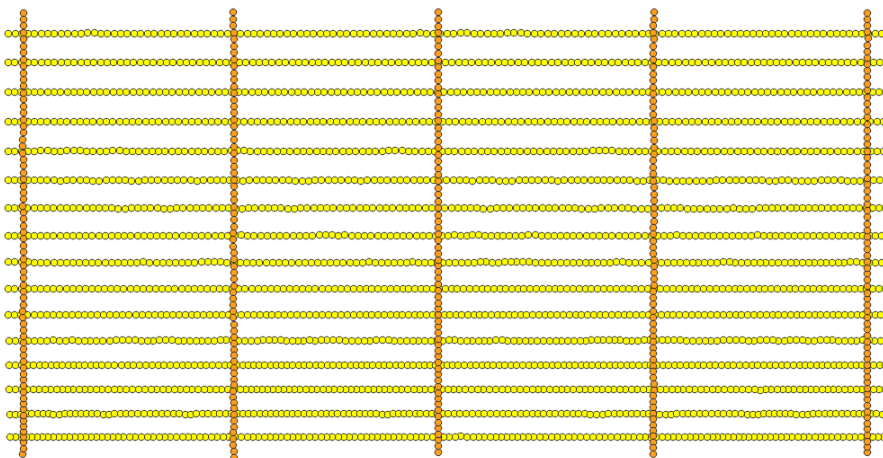
chunk.remove(photos)
print("finished. %d duplicates removed" % len(photos))
```

Kontrolle, ob alle Bilder geladen wurden

Anzahl der Luftbilder in Metashape mit der Anzahl der relevanten Punktfeatures in QGIS vergleichen.



Screenshot Agisoft Metashape - Workspace Inventory | aufgenommen von BAB, 2026



Screenshot ausgewählter Bild-Punktgeometrien | aufgenommen von BAB, 2026

2022350_BFM_Bild — Features Total: 2613, Filtered: 2613, Selected: 2262

	ARCHIVNR	STR	BILDNR	ZEIT	X	Y	MERIDIAN
2260	2022350	016	1515	08:27:34	48649	304022	31
2261	2022350	016	1516	08:27:41	48150	304018	31
2262	2022350	016	1517	08:27:48	47632	304009	31

Screenshot QGIS Attributtabelle mit ausgewählten Features | aufgenommen von BAB, 2026

A.3.2.2 ORI File anpassen

INFO Dateipfad zum Original ORI-File folgt meist diesem Schema:

<Befliegungsjahr>\<Archivnummer-Flugblock>\Metadaten\AT\Orientierungen

Manipulation in **notepad++**:

- Datei im *.txt Format erneut abspeichern
- Dateipfad dokumentieren
- Ggf. Zeilen der nicht relevanten Bilder löschen
- Bildbezeichnung muss ident sein mit dem TIF Dateinamen
- Etwaige vorangestellte Ziffern löschen (mit alt+Maus oder alt+Shift+Pfeiltasten)
- ".TIF" hinzufügen
- Anzahl und Benennungen kontrollieren! Nachflüge ev. abweichende Flugstreifennummern ...

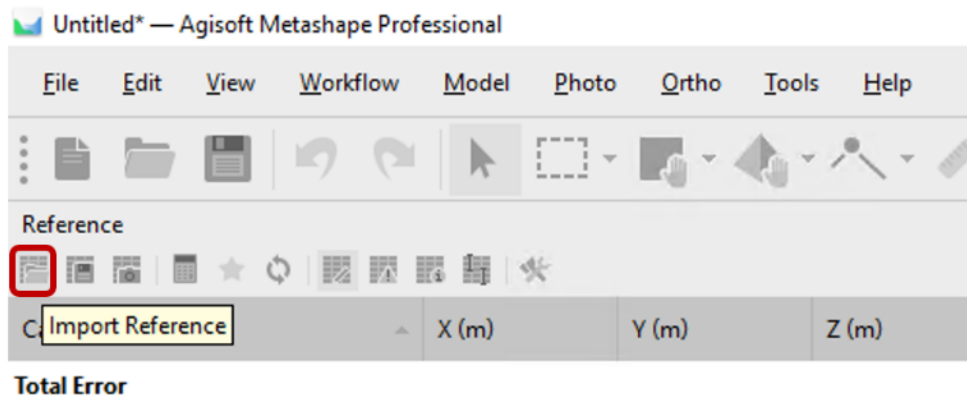
Datei Bearbeiten Suchen Ansicht Codierung Sprache Einstellungen Werkzeuge Makros Ausführen Plugins Fenster ?

1	0001_0000001_RGBI.tif	128029.31	341024.19	4828.61	0.0669	0.2516	-99.6554
2	0001_0000002_RGBI.tif	127430.42	341008.40	4832.59	0.0196	0.2713	-99.6497
3	0001_0000003_RGBI.tif	126849.14	341000.41	4827.76	-0.1447	0.6957	-99.6534
4	0001_0000004_RGBI.tif	126264.60	340999.21	4830.22	-0.0678	0.6040	-99.6593
5	0001_0000005_RGBI.tif	125670.32	341003.84	4828.43	0.0804	0.2659	-99.6337
6	0001_0000006_RGBI.tif	125087.78	341014.44	4827.94	0.1083	0.2687	-99.6190
7	0001_0000007_RGBI.tif	124502.38	341022.24	4829.27	0.0783	0.2628	-99.6070
8	0001_0000008_RGBI.tif	123913.07	341019.76	4826.15	0.0751	0.2580	-99.6385

Screenshot eines Txt-Files mit Orientierungen | aufgenommen von BAB, 2026

Import Camera Positions

Reference > Import Reference Button klicken > Angepasstes ORI (.txt) File auswählen



Screenshot
Agisoft

Metashape - Reference Pane - Import Reference Button | aufgenommen von BAB, 2026

Zur korrekten Zuweisung der Spaltenkategorien beim Import der Orientierungen in Metashape die Spaltenbezeichnung lt. Flugfirma beachten.

1				AT			
2	Bild	X [m]	Y [m]	Z [m]	Om [deg]	Phi [deg]	Ka [deg]
3	0001_0000001_RGBI	128029,31	341024,19	4828,61	0,0602	0,2264	-89,6898
4	0001_0000002_RGBI	127430,42	341008,40	4832,59	0,0177	0,2442	-89,6848
5	0001_0000003_RGBI	126849,14	341000,41	4827,76	-0,1303	0,6262	-89,6881

Screenshot einer Tabelle mit den Orientierungen von Luftbildpunkten inkl. Spaltenbezeichnung | aufgenommen von BAB, 2026

Import CSV

Coordinate System

MGI / Austria GK Central (EPSG::31255)

Rotation angles:

Omega, Phi, Kappa

☐ Ignore labels

Threshold (m): 0.1

Delimiter

☐ Tab
☐ Semicolon
☐ Comma
☒ Space
☐ Other:
☒ Combine consecutive delimiters

Columns

Label: 1

Accuracy

☒ Rotation

☐ Accuracy

Easting: 2

8

Omega: 5

9

Northing: 3

8

Phi: 6

9

Altitude: 4

8

Kappa: 7

9

☐ Enabled flag: 10

Start import at row: 1

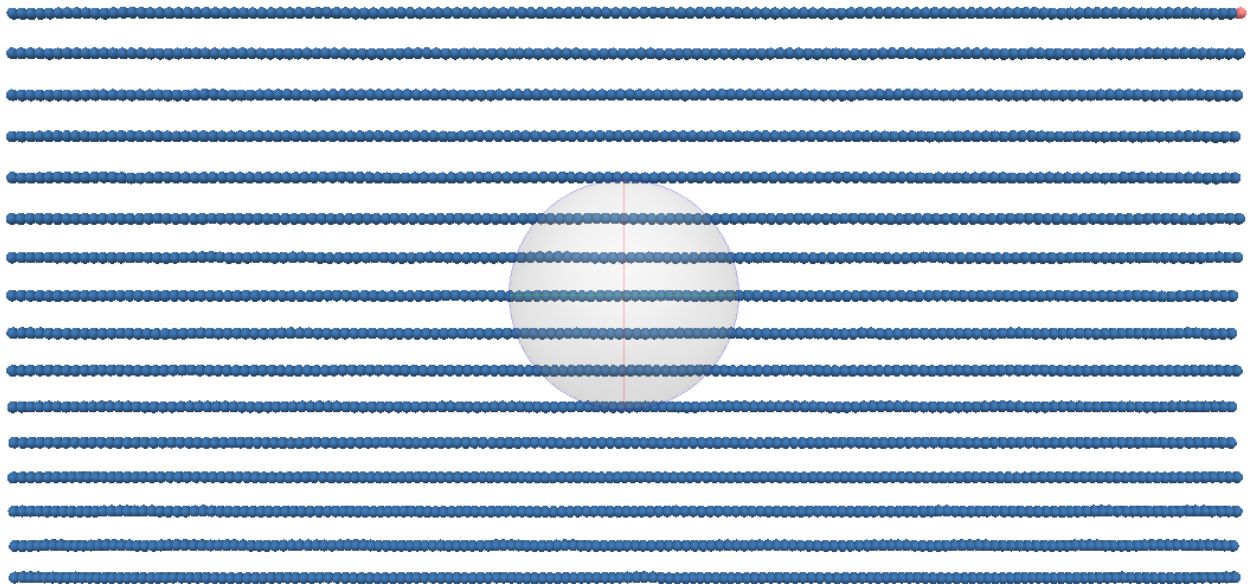
Items: All

First 20 lines preview:

	Label	Easting	Northing	Altitude	Omega	Phi	Kappa
1	0001_0000001_RGBI.tif	128029.31	341024.19	4828.61	0.0669	0.2516	-99.6554
2	0001_0000002_RGBI.tif	127430.42	341008.40	4832.59	0.0196	0.2713	-99.6497
3	0001_0000003_RGBI.tif	126849.14	341000.41	4827.76	-0.1447	0.6957	-99.6534
4	0001_0000004_RGBI.tif	126264.60	340999.21	4830.22	-0.0678	0.6040	-99.6593
5	0001_0000005_RGBI.tif	125670.32	341003.84	4828.43	0.0804	0.2659	-99.6337
6	0001_0000006_RGBI.tif	125087.78	341014.44	4827.94	0.1083	0.2687	-99.6190
7	0001_0000007_RGBI.tif	124502.38	341022.24	4829.27	0.0783	0.2628	-99.6070

Visuelle Kontrolle der Bildpositionen

Vergleich von Bildpositionen in Metashape und der Bild-Punktgeometrien in QGIS



Screenshot Agisoft Metashape - Bildpositionen | aufgenommen von BAB, 2026



Screenshot QGIS - Bild-Punktgeometrien | aufgenommen von BAB, 2026

A.3.2.3 Infrarotkanal definieren

Metashape erkennt sonst den Infrarotkanal in RGBI-Bildern nicht.

Tools > Run Script

Python Script: "definebands.py"

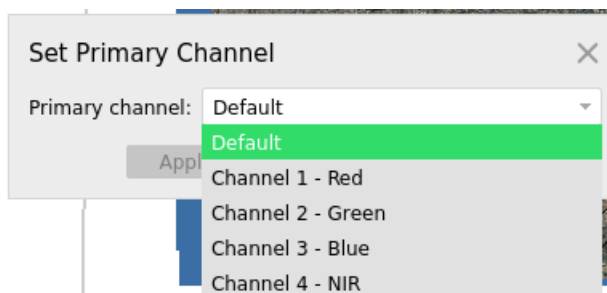
```
import Metashape
for sensor in Metashape.app.document.chunk.sensors:
    sensor.bands = "Red", "Green", "Blue", "NIR"
```

NIR Kanal steht jetzt zur Verfügung.

A.3.2.4 Primären Kanal definieren

Jeweils gewünschten Kanal bzw. Default auswählen.

Tools > Set Primary Channel



Screenshot Agisoft Metashape - Set Primary Channel | aufgenommen von BAB, 2026

A.3.2.5 Reference Settings Parameter ermitteln

Coordinate Accuracy

Laut Lehrmeinung 1/3 Pixel (=0.33)

- Marker accuracy (pix): **0.33**
- Tie point accuracy (pix): **0.33**

Measurement Accuracy

Camera accuracy

Schätzung entsprechend dem Logfile der Flugfirma.

INFO Dateipfad zum Logfile folgt meist diesem Schema: <Befliegungsjahr>\<Archivnummer-Flugblock>\Metadaten\AT\Ergebnisse\<randomname>.log

```

5387 mean standard deviations of rotations
5388     omega      0.5 [deg/1000]
5389     phi        0.5 [deg/1000]
5390     kappa      0.3 [deg/1000]
5391
5392 max standard deviations of rotations
5393     omega      0.6 [deg/1000] at photo      0014_0001672_RGBI
5394     phi        0.6 [deg/1000] at photo      0016_0001362_RGBI
5395     kappa      0.7 [deg/1000] at photo      0016_0001517_RGBI
5396
5397 mean standard deviations of translations
5398     x          0.029 [meter]
5399     y          0.028 [meter]
5400     z          0.015 [meter]
5401
5402 max standard deviations of translations
5403     x          0.035 [meter] at photo      0021_0002263_RGBI
5404     y          0.035 [meter] at photo      0021_0002333_RGBI
5405     z          0.023 [meter] at photo      0021_0002263_RGBI

```

Screenshot Logfile der Befliegung | aufgenommen von BAB, 2026

Je mehr den Daten vertraut wird, desto niedriger kann der Fehlerwert angegeben werden

Für das Beispiel oben wurden folgende Werte geschätzt:

- Camera accuracy (m): **0.03**
- Camera accuracy (deg): **0.0005**

Marker accuracy

Schätzung entsprechend dem Report der Flugfirma.

INFO Dateipfad zum Report folgt meist diesem Schema: <Befliegungsjahr>\<Archivnummer-Flugblock>\Metadaten\AT\Ergebnisse\<Archivnummer>_Report.pdf

Ground control point standard deviations



Graphic with 42 ground control points from the project. The points are shown with its standard deviations for XYZ from the adjustment. The area has a planimetric extent of about: 88997 x 48476 [m].

■ : Scale for the symbols. Symbol in the graphic is correlated to 0.063 [m] in the object.

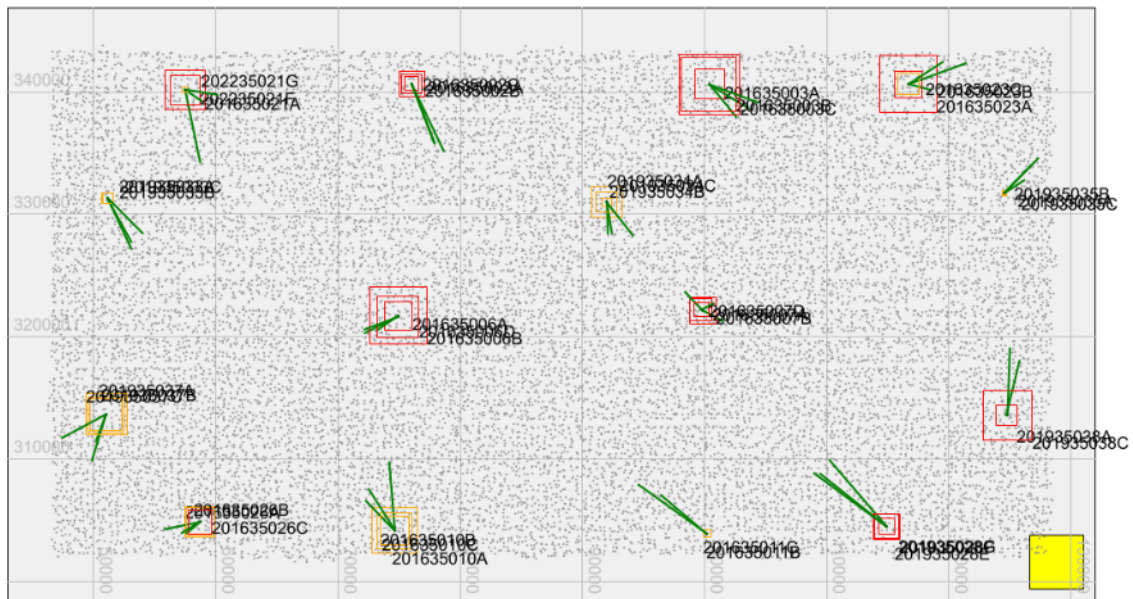
○ : Standard deviation XY for 42 ground control points (min=0.0095, avg=0.0111, max=0.0131 [m]).

□ : Standard deviation Z for 42 ground control points (min=0.0137, avg=0.0154, max=0.0178 [m]).

● : Tie point location for 19747 points.

Screenshot Report der Befliegung – Ground Control Points | aufgenommen von BAB, 2026

Check point residuals



Graphic with 43 check points from the project. The points are shown with its residuals for XYZ from the adjustment. The area has a planimetric extent of about: 88997 x 48476 [m]. Residual is defined as: residual = given - adjusted.

■ : Scale for the symbols. Symbol in the graphic is correlated to 0.174 [m] in the object.

→ : Residual XY (43) for check points (min=0.0424, avg=0.1499, max=0.2882 [m]).

□ : Residual Z (pos.:22/neg.:21) for check points (min=-0.1435, avg=0.0228, max=0.1956 [m]).

● : Tie point location for 19747 points.

Screenshot Report der Befliegung – Check Point Residuals | aufgenommen von BAB, 2026

Je mehr den Daten vertraut wird, desto niedriger kann der Fehlerwert angegeben werden.

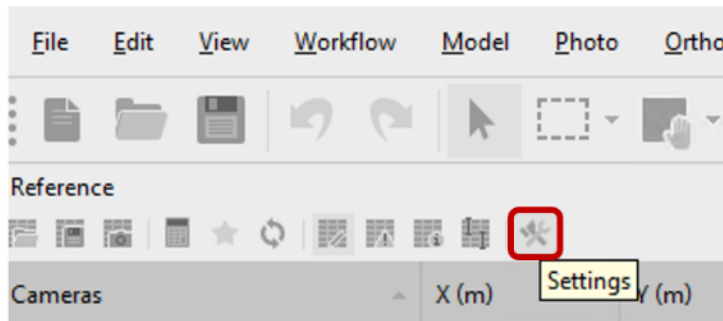
Für das Beispiel oben wurden folgende Werte geschätzt:

- Marker accuracy (m): **0.1**

Scale bar accuracy (m): 0.001 (= default | irrelevant - wird nicht verwendet...)

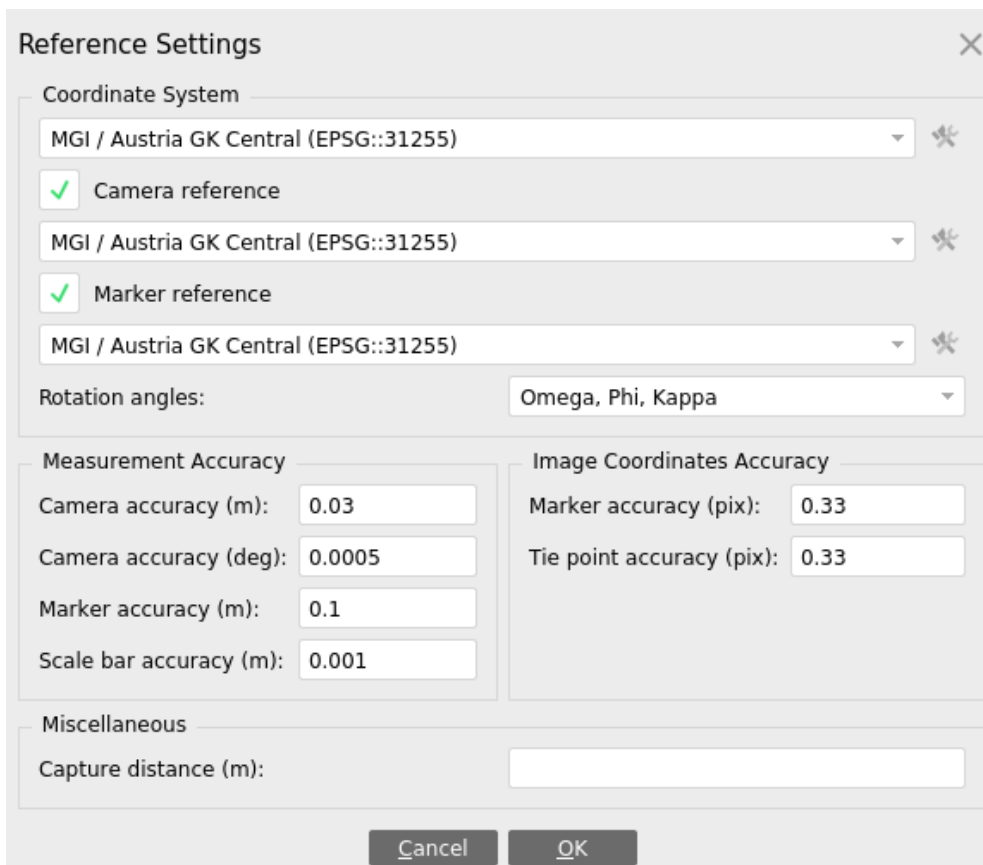
A.3.2.6 Reference Settings Parameter einstellen

Reference > Settings Button klicken



Screenshot Agisoft Metashape - Reference Pane - Settings Button | aufgenommen von BAB, 2026

Für das Beispiel oben wurden folgende Werte eingetragen:



Screenshot Agisoft Metashape - Reference Settings | aufgenommen von BAB, 2026

A.3.2.7 Camera Calibration Parameter ermitteln

Pixel Size

Die Information zur Pixelgröße (Pixel Size, meist in Micron [μm]) des jeweiligen Sensors bzw. des Post-Processing der RGBI Bilder können aus den Dokumentationen der Flugfirmen entnommen werden. Aufgrund der unterschiedlichen Dokumentationsformen sind die Daten in unterschiedlichen Dokumenten aufzufinden.

Variante 1

Die Daten werden in Metainformationen den PAN / RGBI Tiff Dateien bereitgestellt, z.B. bei DLBs von Vermessung AVT, FFM - Forest Mapping Management Ges.m.b.H., ARGE Angst-Primis.

RGBI Pixel Size:

Layer Properties - 0002_0000141_RGBI — Information

Information

Source

Symbology

Transparency

Histogram

Rendering

Temporal

Pyramids

Elevation

Metadata

Legend

Display

Attribute Tables

More information

- TIFFTAG_IMAGEDESCRIPTION=UltraCam-Lv/03 ----- CAM_ID: 431592908X210339-f100 [2] IMG_NO: 141 RECORD_GUID: dfed0b8a-4f18-48e0-ad98-1cb5e7c8ed03 IMG_GUID: B6603A17-4457-4D6E-ABE8-FD06BEE91208 FILE_GUID: A7BE4A2C-DCF3-4867-AD71-022270E678E6 LICENSE_ID: 504697530,1016799171,1265645292 SOFTWARE: UltraMap Aerial v5.0.11.1 (Build 32.6.2102.202) **PIXEL_SIZE_WIDTH: 4.000000 [micron] PIXEL_SIZE_HEIGHT: 4.000000 [micron]** APERTURE: F_6.7 EXPOSURE_TIME: 0.004000000000 [s] HIGH_ISO_MODE_CAPTURE: off HIGH_ISO_MODE_PROCESSING: off ----- Inner Orientation ----- PRINCIPAL_DISTANCE: 100.500000000000 [mm] PRINCIPAL_POINT_X: -0.120000000000 [mm] PRINCIPAL_POINT_Y: 0.000000000000 [mm] SENSOR_AREA_WIDTH: 105.840000000000 [mm] SENSOR_AREA_HEIGHT: 68.016000000000 [mm] ----- Exposure Annotation Data ----- MID_EXPOSURE_CORRECTION: 0.000000000000 [s] FMS_SENSOR_CODE: UCE-M3-f FMS_CAMERA_PORT: 1 FMS_EXPOSURE_NUMBER: 141 FMS_PROJECT: BEV FMS_AREA: 22STEYCE FMS_LINE_NUMBER: 2 FMS_SEGMENT_NUMBER: 1 FMS_WAY_POINT_NUMBER: 7 GPS_DATE: 220519 GPS_TIME: 082730 GPS_LATITUDE: N48.181673 [degree] GPS_LONGITUDE: E014.019788 [degree] GPS_ALTITUDE: 4906.1 [m] GPS_POSITION_SOLUTION: GPS GPS_TRACK_OVER_GROUND: 89 [degree] GPS_ABOVE_GROUND_LEVEL: 4541.1 [m] GPS_GROUND_SPEED: 79.8 [mps] ----- Level-3 Parameters ----- IMG_TYPE: High resolution multi channel RGBI ROTATION: 0 [degree] -----
- TIFFTAG_SOFTWARE=UltraMap Aerial v5.0.11.1 (Build 32.6.2102.202)
- TIFFTAG_DATETIME=2022:05:28 03:14:22
- TIFFTAG_RESOLUTIONUNIT=1 (unitless)

Screenshot QGIS Layer Properties - Information | aufgenommen von BAB, 2026

- Pixel Size (mm): **0.004**

PAN Pixel Size:

Layer Properties - 0002_0000141_PAN — Information

More information

- TIFFTAG_IMAGEDESCRIPTION=UltraCam-Lvl03 ----- CAM_ID: 431592908X210339-f100 [2] IMG_NO: 141 RECORD_GUID: dfed0b8a-4f18-48e0-ad98-1cb5e7c8ed03 IMG_GUID: B6603A17-4457-4D6E-ABE8-FD06BEE91208 FILE_GUID: DA2D9F4A-DB14-411D-9BD5-FA95A40E208F LICENSE_ID: 504697530,1016799171,1265645292 SOFTWARE: UltraMap Aerial v5.0.11.1 (Build 32.6.2102.202) **PIXEL_SIZE_WIDTH: 4.000000 [micron] PIXEL_SIZE_HEIGHT: 4.000000 [micron]** APERTURE: F_6.7 EXPOSURE_TIME: 0.004000000000 [s] HIGH_ISO_MODE_CAPTURE: off HIGH_ISO_MODE_PROCESSING: off ----- Inner Orientation ----- PRINCIPAL_DISTANCE: 100.500000000000 [mm] PRINCIPAL_POINT_X: -0.120000000000 [mm] PRINCIPAL_POINT_Y: 0.000000000000 [mm] SENSOR_AREA_WIDTH: 105.840000000000 [mm] SENSOR_AREA_HEIGHT: 68.016000000000 [mm] ----- Exposure Annotation Data ----- MID_EXPOSURE_CORRECTION: 0.000000000000 [s] FMS_SENSOR_CODE: UCE-M3-f FMS_CAMERA_PORT: 1 FMS_EXPOSURE_NUMBER: 141 FMS_PROJECT: BEV FMS_AREA: 22STEYCE FMS_LINE_NUMBER: 2 FMS_SEGMENT_NUMBER: 1 FMS_WAY_POINT_NUMBER: 7 GPS_DATE: 220519 GPS_TIME: 082730 GPS_LATITUDE: N48.181673 [degree] GPS_LONGITUDE: E014.019788 [degree] GPS_ALTITUDE: 4906.1 [m] GPS_POSITION_SOLUTION: GPS GPS_TRACK_OVER_GROUND: 89 [degree] GPS_ABOVE_GROUND_LEVEL: 4541.1 [m] GPS_GROUND_SPEED: 79.8 [mps] ----- Level-3 Parameters ----- IMG_TYPE: High resolution PAN ROTATION: 0 [degree] -----
- TIFFTAG_SOFTWARE=UltraMap Aerial v5.0.11.1 (Build 32.6.2102.202)
- TIFFTAG_DATETIME=2022:07:02 21:28:07
- TIFFTAG_RESOLUTIONUNIT=1 (unitless)

Dimensions X: 26460 Y: 17004 Bands: 1

Screenshot QGIS Layer Properties - Information PAN-Luftbild | aufgenommen von BAB, 2026

- Pixel Size (mm): **0.004**

Variante 2

Die Informationen können aus dem **FieldCalib-Report** des Sensors in Kombination mit dem **Block-Endbericht** entnommen bzw. hergeleitet werden, z.B. bei DLBs von Meixner Vermessung ZT GmbH.

Zunächst muss im FieldCalib-Report nach der Pixel Size der Panchromatic Camera und der Multispectral Camera gesucht werden.

PAN Pixel Size:

Die Werte für die Panchromatic Camera können so wie sie angegeben sind übernommen werden.

INFO Dateipfad zum FieldCalib-Report: <Befliegungsjahr>\<Archivnummer-Flugblock>\Metadaten\Luftbilder\Dokumentation\FieldCalib-Report_<randomString>.pdf



ULTRACAM

Panchromatic Camera

Large Format Panchromatic Output Image

Image Format	long track	68.016mm	17004pixel
	cross track	105.840mm	26460pixel
Image Extent		(-34.008, -52.920)mm	(34.008, 52.920)mm
Pixel Size		4000 µm *4000µm	
Focal Length	ck	100.500mm	± 0.002mm
Principal Point (Level 2)	X_ppa	0.000mm	± 0.002mm
	Y_ppa	0.000mm	± 0.002mm
Lens Distortion	Remaining Distortion less than 0.002mm		

Multispectral Camera

Medium Format Multispectral Output Image
(Upscaled to panchromatic image format)

Image Format	long track	68.016mm	5668 pixel
	cross track	105.840mm	8820 pixel
Image Extent		(-34.008, -52.920)mm	(34.008, 52.920)mm
Pixel Size		12.000µm*12.000µm	
Focal Length	ck	100.500mm	± 0.002mm
Principal Point (Level 2)	X_ppa	0.000mm	± 0.002mm
	Y_ppa	0.000mm	± 0.002mm
Lens Distortion	Remaining Distortion less than 0.002mm		

Screenshot FieldCalib-Report der Befliegung | aufgenommen von BAB, 2026

- PAN Pixel Size (mm): **0.004**

RGBI Pixel Size:

Die Werte der **Multispectral (RGBI) Bilder** sollten mittels PAN-Schärfung (PAN-Sharpener) in einem Postprocessing Schritt an die Werte der PAN Bilder angeglichen worden sein. Es können daher nicht die Werte aus dem Field-Calib Report übernommen werden. Zur Kontrolle bzw. Herleitung der RGBI Pixel-Size können im Block-Endbericht Informationen gefunden werden.

INFO Dateipfad zum Block-Endbericht: <Befliegungsjahr>\<Archivnummer_Flugblock>\Metadaten\Berichte\Dokumentation\<randomString>_Block-Endbericht.pdf

Beschreibung des Post-Processings der Bilddaten (welche Resamplingschritte mit welchen Parametern waren notwendig, um aus den aufgezeichneten Originaldaten die gelieferten Luftbilddaten zu generieren; welche Schritte der Farbanpassung wurden ggf. gesetzt und mit welchen Parametern; eingesetztes Software-Produkt; welche Methode/Parameter/Software wurde im Falle von pansharpening eingesetzt, etc.):

Prozessierung der Bilder mit UltraMap V4.3.2, **Pansharpening 1:3**, 16-bit Farbtiefe je Kanal (RGBI)

Screenshot Block-Endbericht der Befliegung | aufgenommen von BAB, 2026

Bei einer Multispectral Camera Pixel Size von 0,012mm und einem Pansharpening-Verhältnis von 1:3 wird eine RGBI Pixel Size von 0,004mm erreicht.

- RGBI Pixel Size (mm): **0.004**

Focal length

Die Information zur Focal length (mm) des jeweiligen Sensors bzw. des Post-Processing der RGBI Bilder können aus dem FieldCalib-Report entnommen werden.

INFO Dateipfad zum FieldCalib-Report: <Befliegungsjahr>\<Archivnummer-Flugblock>\Metadaten\Luftbilder\Dokumentation\FieldCalib-Report_<randomString>.pdf



ULTRACAM

Panchromatic Camera

Large Format Panchromatic Output Image

Image Format	long track	68.016mm	17004pixel
	cross track	105.840mm	26460pixel
Image Extent		(-34.008, -52.920)mm	(34.008, 52.920)mm
Pixel Size		4000 μ m * 4000 μ m	
Focal Length	ck	100.500mm	$\pm$ 0.002mm
Principal Point (Level 2)	X_ppa	0.000mm	$\pm$ 0.002mm
	Y_ppa	0.000mm	$\pm$ 0.002mm
Lens Distortion	Remaining Distortion less than 0.002mm		

Multispectral Camera

Medium Format Multispectral Output Image (Upscaled to panchromatic image format)

Image Format	long track	68.016mm	5668 pixel
	cross track	105.840mm	8820 pixel
Image Extent		(-34.008, -52.920)mm	(34.008, 52.920)mm
Pixel Size		12.000 μ m*12.000 μ m	
Focal Length	ck	100.500mm	$\pm$ 0.002mm
Principal Point (Level 2)	X_ppa	0.000mm	$\pm$ 0.002mm
	Y_ppa	0.000mm	$\pm$ 0.002mm
Lens Distortion	Remaining Distortion less than 0.002mm		

Screenshot FieldCalib-Report der Befliegung | aufgenommen von BAB, 2026

- Focal length (mm): **100.5**

Focal length measured in pixels (f)

Berechnung: Focal length (mm) / Pixel Size (mm)

Wenn der Type (siehe unten) "Auto" ausgewählt ist, wird die Focal length in Pixel automatisch berechnet.

Type

Precalibrated (da die Kamera von der Flugfirma kalibriert wurde)

Fixed parameters

All - Verhindert, dass die initialen Parameter im Zuge des Alignments und der Optimierung verändert werden. Verhindert "Adaptive camera model fitting" bei "Align Photos"!

None - Parameter können im Zuge des Alignments und der Optimierung verändert werden.

Fixed parameters: **None**

A.3.2.8 Metashape Camera Calibration Settings einstellen

Tools > Camera Calibration

Für das Beispiel oben wurden folgende Werte eingetragen:

Camera Calibration

UltraCam Eagle Mark 3 f100
2262 images, 26460x17004 pixels

Camera type: Frame

Pixel size (mm): 0.004 x 0.004

Focal length (mm): 100.5

Rolling shutter compensation: Disabled

☐ Film camera with fiducial marks

Initial Adjusted Bands GPS/INS Offset

Type: Precalibrated

f: 25125

cx: 0

cy: 0

k1: 0 p1: 0

k2: 0 p2: 0

k3: 0 b1: 0

k4: 0 b2: 0

Fixed parameters: None

Image-variant parameters: None

Image	Resolution	Camera mode	Focal length	Date & time
0001_0000001_RGBI	26460x17004	UltraCam Ea...		2022:05:27 21:39:56
0001_0000002_RGBI	26460x17004	UltraCam Ea...		2022:05:27 18:29:16
0001_0000003_RGBI	26460x17004	UltraCam Ea...		2022:05:28 03:45:58
0001_0000004_RGBI	26460x17004	UltraCam Ea...		2022:05:28 01:26:16
0001_0000005_RGBI	26460x17004	UltraCam Ea...		2022:05:27 15:08:57

Cancel OK

Screenshot Agisoft Metashape - Camera Calibration | aufgenommen von BAB, 2026

A.3.2.9 Luftbilder ausrichten

Empfohlene Parameter

Accuracy: **Highest**

Generic preselection: **checked**

Reference preselection: **Source**

Key Point Limit: **40.000**

Tie point limit: **10.000** | Empfehlung lt. Agisoft Metashape User Manual (Agisoft LLC, 2024, S. 40)

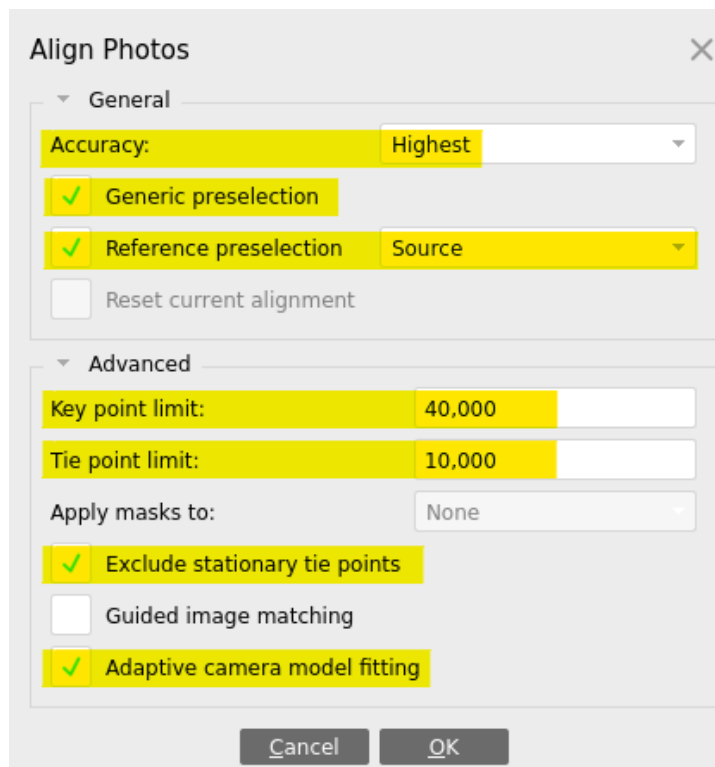
Exclude stationary tie points: **checked**

Adaptive camera model fitting: **checked**

Align Photos Parameter einstellen

Für das Beispiel oben wurden folgende Werte eingetragen:

Workflow > Align Photos



Screenshot Agisoft Metashape – Align Photos | aufgenommen von BAB, 2026

A.3.2.10 Ground Control Points (GCPs) laden

Passpunkte auswählen und vorbereiten

5 Passpunkte

- 4 x im Bereich der 4 Ecken des Flugblocks
- 1 x im Zentrum des Flugblocks

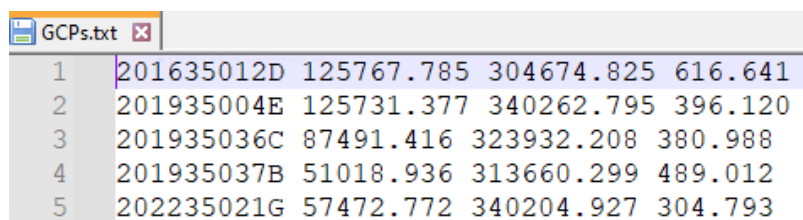
Passpunkte in QGIS laden und die geeignetsten Punkte in Kombination mit den Passpunkt-skizzen auswählen.

INFO Pfad zu den Passpunktskizzen: \<Befliegungsjahr>\<Archivnummer-Flugblock>\Metadaten\Passpunkte\Skizzen

- Wenn möglich Passpunkte wählen die an einem ähnlichen Zeitraumraum aufgenommen wurden wie die Luftbilder.
- Passpunkte sollen auf ebenen Flächen und nicht im Bereich von Gelände bzw. Objektkanten liegen
- Sollen nicht in der Nähe von hochstehender Vegetation oder hochstehenden Objekten liegen (Überschattung)

Die ausgewählten Passpunkte aus den unterschiedlichen .pas-Files in ein .txt File zusammenführen.

INFO Pfad zu den pas. Files: \<Befliegungsjahr>\<Archivnummer-Flugblock>\Metadaten\Passpunkte



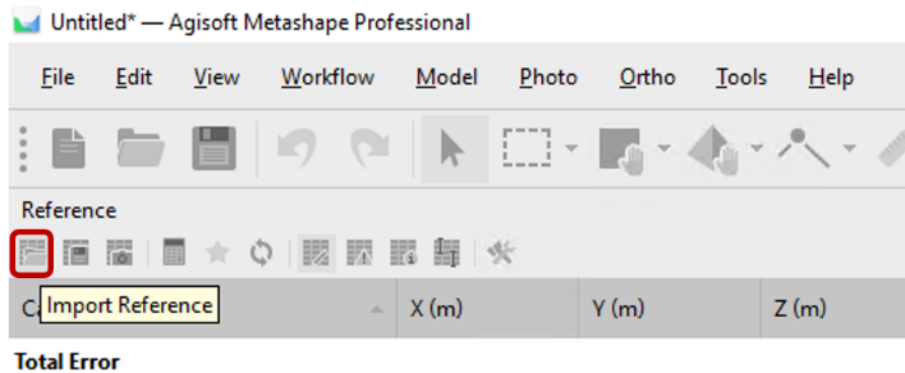
1	201635012D	125767.785	304674.825	616.641
2	201935004E	125731.377	340262.795	396.120
3	201935036C	87491.416	323932.208	380.988
4	201935037B	51018.936	313660.299	489.012
5	202235021G	57472.772	340204.927	304.793

Screenshot eines Txt-Files mit x-y-z-Koordinaten der ausgewählten Ground Control Points | aufgenommen von BAB, 2026

Das erstellte .txt-File im Projektordner ablegen.

GCPs importieren

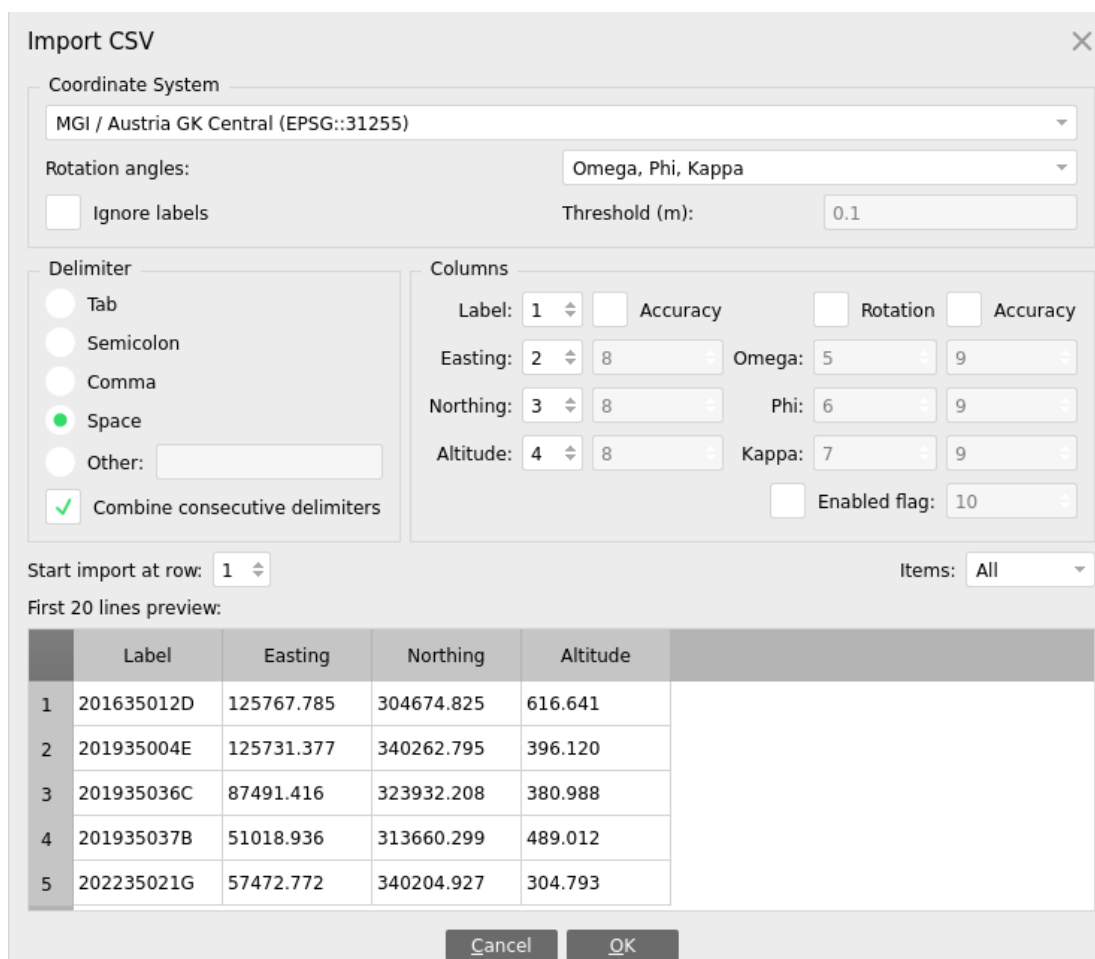
Reference pane > Import Reference Button anklicken > Textdatei mit den GCPs laden



Screenshot Agisoft Metashape -

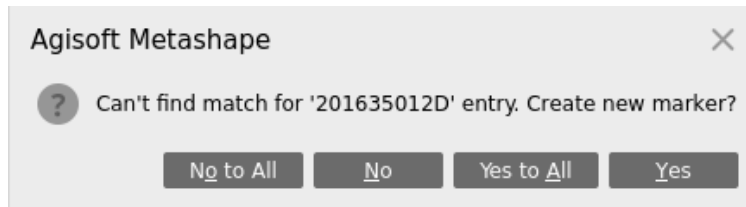
Reference Pane - Import Reference Button | aufgenommen von BAB, 2026

GCPs.txt-File auswählen und Parameter setzen, ähnlich wie bei der Orientierung der Luftbilder.



Screenshot Agisoft Metashape - Import CSV – GCP Koordinaten | aufgenommen von BAB, 2026

Agisoft Metashape erkennt, dass es zu den geladenen Labels der GCPs keine korrespondierenden Luftbilder gibt. Die GCPs sollen als „Marker“ in das Projekt geladen werden.



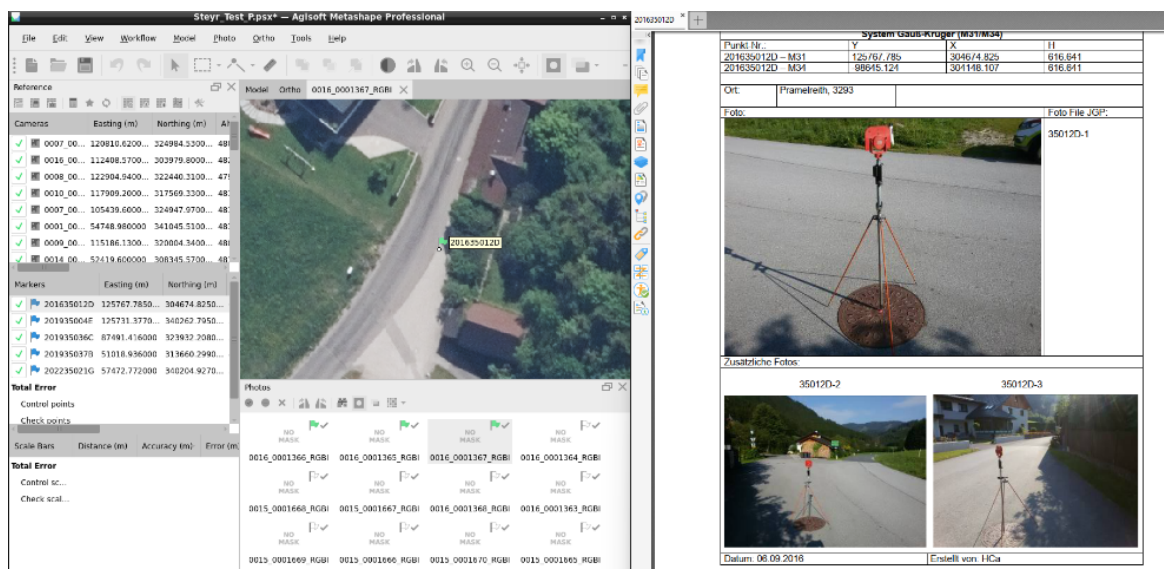
Screenshot Agisoft Metashape – Warnmeldung bzgl. nicht korrespondierender Luftbilder und Erstellung von Markern | aufgenommen von BAB, 2026

> yes to All

GCPs korrekt setzen

Reference Pane > Markers > Rechtsklick auf den jeweiligen Marker > Filter Fotos by Markers

Marker auf den Passpunkt schieben, ggf. visuelle Kontrolle mit Passpunktskizzen in den Luftbild Metadaten



Screenshot Agisoft Metashape – Setzen von Markern & Screenshot einer Passpunktskizze | aufgenommen von BAB, 2026

Nachträglicher Ersatz von GCPs

Im Zuge des Setzens der GCPs entsprechend der Passpunktskizzen kann sich herausstellen, dass die gewählten GCPs nicht geeignet sind, da sie in dem Luftbild nicht ausreichend identifiziert werden können um eine exakte Verortung zu ermöglichen. In diesem Fall müssen diese GCPs mit geeigneteren ersetzt werden.

Hierzu kann wie zuvor erneut ein txt-File geladen werden welches den bzw. die Ersatz-GCPs enthält.

Die zu ersetzenden GCPs können mittels Rechtsklick auf dem jeweiligen GCP und "Remove Marker" entfernt werden.

A.3.2.11 Control und Checkpoints definieren

Reference pane > Markers

Markers		Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Error (pix)	Projections	
☒		201635012D	125767.7850...	304674.8250...	616.641000	0.010000	0.049066	0.799	12
☐		201935004E	125731.3770...	340262.7950...	396.120000	0.010000	0.189696	0.287	10
☒		201935036C	87491.416000	323932.2080...	380.988000	0.010000	0.021275	0.807	10
☐		201935037C	51045.551000	313659.7390...	488.376000	0.010000	0.448903	0.278	10
☐		202235021F	57492.934000	340182.1170...	304.998000	0.010000	0.625947	0.539	10
Total Error									
Control points							0.037816	0.803	
Check points							0.458006	0.388	

Screenshot Agisoft Metashape – Markers | aufgenommen von BAB, 2026

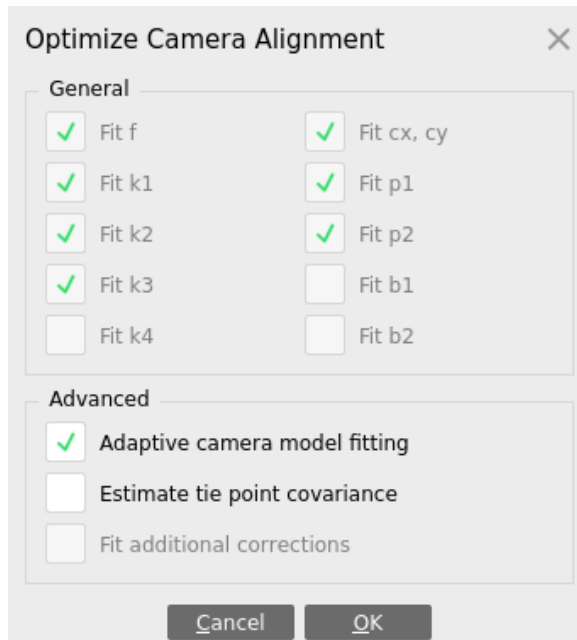
Mit Häkchen = Control point | Ohne Häkchen = Check point

A.3.2.12 Camera Alignment optimieren

INFO Die Optimierung kann nach jeder Veränderung z.B. Änderung Check point / Control point / Deaktivierung von Markern / Änderung Channel / ... durchgeführt werden

Tools > Optimize cameras

Checkbox "Adaptive camera model fitting" auswählen.



Screenshot Agisoft Metashape – Optimize Camera Alignment | aufgenommen von BAB, 2026

INFO Die Berechnung muss nicht im Cluster ausgeführt werden, da trotz Clusterberechnung nur ein einzelner Worker verwendet wird...

Optimiertes GCPs

Markers		Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Error (pix)	Projections
☒	201635012D	125767.7850...	304674.8250...	616.641000	0.010000	0.032185	0.596	12
☐	201935004E	125731.3770...	340262.7950...	396.120000	0.010000	0.129384	0.294	10
☒	201935036C	87491.416000	323932.2080...	380.988000	0.010000	0.016307	0.548	10
☐	201935037C	51045.551000	313659.7390...	488.376000	0.010000	0.293219	0.282	10
☐	202235021F	57492.934000	340182.1170...	304.998000	0.010000	0.474095	0.527	10
Total Error								
Control points						0.025513	0.575	
Check points						0.330396	0.384	

Screenshot Agisoft Metashape – Markers – GCPs nach Alignment Optimierung | aufgenommen von BAB, 2026

Die **Optimization Paramter** werden in den **Tie Points Properties** im **Workspace Pane** gespeichert:

☐☐ Tie Points (6,483,637 points)	
Property	Value
Tie Points	
Points	6,483,637 of 7,023,558
Point colors	4 bands, uint16
Key points	7.71 GB
Average tie point multiplicity	3.21301
Alignment parameters	
Accuracy	Highest
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Source
Key point limit	40,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	10,000
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	20 hours 24 minutes
Matching memory usage	17.46 GB
Alignment time	3 hours 46 minutes
Alignment memory usage	5.08 GB
Optimization parameters	
Parameters	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Adaptive camera model fitting	Yes
Exclude corners	No
Optimization time	1 minutes 46 seconds
Date created	2024:09:03 20:05:18
Software version	2.1.2.18548
File size	632.76 MB

Screenshot Agisoft Metashape – Tie Points Properties | aufgenommen von BAB, 2026

A.3.2.13 Digitales Oberflächenmodell (DOM)

engl.: Digital Elevation Mode (DEM)

Workflow > Build DEM

Die folgenden Parameter wurden als optimal identifiziert:

Source Data: **Depth Maps** | Quality: **High** | Interpolation: **Enabled** | Depth filtering: **disabled** | Setup Boundaries: *sollte hier eingestellt werden, hier wird der Rasterursprung initial festgelegt! - Koordinaten auf ganzen Meter!* | Resolution: **0.5**

Build DEM

Projection

Type: ☒ Geographic ☐ Planar ☐ Cylindrical

MGI / Austria GK Central (EPSG::31255)

Parameters

Source data: Depth maps

Quality: High

Interpolation: Enabled (default)

Point classes: All Select...

Advanced

Depth filtering: Disabled

☐ Reuse depth maps

☐ Replace default DEM

Region

☐ Setup boundaries: 29762.468 - 145639.876 X

Reset 288907.961 - 356178.667 Y

Resolution (m): 0.5

Total size (pix): 231732 x 134528

Cancel OK

Screenshot Agisoft Metashape – Build DEM | aufgenommen von BAB, 2026

Hilfe für die Koordinaten-Zuordnung der Setup Boundaries in Agisoft Metashape:

X min X max

left 49951.91 right 125528.620 X

bottom 304653.965 top 340448.656 Y

Y min Y max

Koordinaten Zuordnung | BAB, 2026

Die **Parameter der Depth Maps Erstellung** werden in den **Depth Maps Properties** im **Workspace** gespeichert:

Depth Maps (2262, High quality, Disabled filtering)	
Property	Value
Depth Maps	
Count	2262
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Disabled
Max neighbors	6
Processing time	1 days 18 hours
Memory usage	164.89 GB
Date created	2025:01:14 02:40:13
Software version	2.1.2.18548
File size	333.58 GB

Screenshot Agisoft Metashape – Depth Maps Properties | aufgenommen von BAB, 2026

Die **Parameter der DEM Erstellung** werden in den **DEM Properties** im **Workspace** gespeichert:

DEM (167114x83621, 50 cm/pix)	
Property	Value
DEM	
Size	167,114 x 83,621
Resolution	50 cm/pix
Coordinate system	MGI / Austria GK Central (EPSG::31255)
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Disabled
Max neighbors	6
Processing time	1 days 18 hours
Memory usage	164.89 GB
Reconstruction parameters	
Source data	Depth maps
Interpolation	Enabled
Processing time	1 days 2 hours
Memory usage	205.40 GB
Date created	2025:01:14 09:56:43
Software version	2.1.2.18548
File size	60.73 GB

Screenshot Agisoft Metashape – DEM Properties | aufgenommen von BAB, 2026

Export DEM

Workspace > Rechtsklick auf das DEM > Export DEM...

Es muss darauf geachtet werden, dass wieder die bei der DOM Erstellung gewählte Pixelauflösung gewählt wird (=0,5m)

Zudem sollen bei großflächigen Gebieten die folgenden **Compression Parameters** ausgewählt werden:

Write tiled TIFF: **checked** | Write BigTIFF file: **checked** | Generate TIFF overviews: **checked**

INFO Die Berechnung muss nicht im Cluster ausgeführt werden, da trotz Clusterberechnung nur ein einzelner Worker verwendet wird...

Export DEM - TIFF

Coordinate System: MGI / Austria GK Central (EPSG::31255)

Raster:

- ☒ Pixel size (m): 0.5 X, 0.5 Y (Metres...)
- ☐ Max. dimension (pix): 4096
- ☐ Split in blocks (pix): 10000 x 10000
- Raster transform: None
- No-data value: -9999

Region:

- ☐ Setup boundaries: 45942.997 - 129507.893 X, 301655.666 - 343470.117 Y (Reset)
- Total size (pix): 167129 x 83628
- ☐ Clip to boundary shapes
- ☐ Write KML file
- ☒ Write World file
- ☐ Write tile scheme

Metadata:

Image description:

Compression:

- ☒ Write tiled TIFF
- ☒ Write BigTIFF file
- ☒ Generate TIFF overviews
- ☐ Save alpha channel

Cancel OK

Screenshot Agisoft Metashape – Export DEM - TIFF | aufgenommen von BAB, 2026

Pfad zum TIFF-File dokumentieren.

A.3.2.14 3D-Mesh-Modell

Farbkalibrierung und Texturierung wird im Rahmen der Erstellung des Mesh-Modells automatisch durchgeführt.

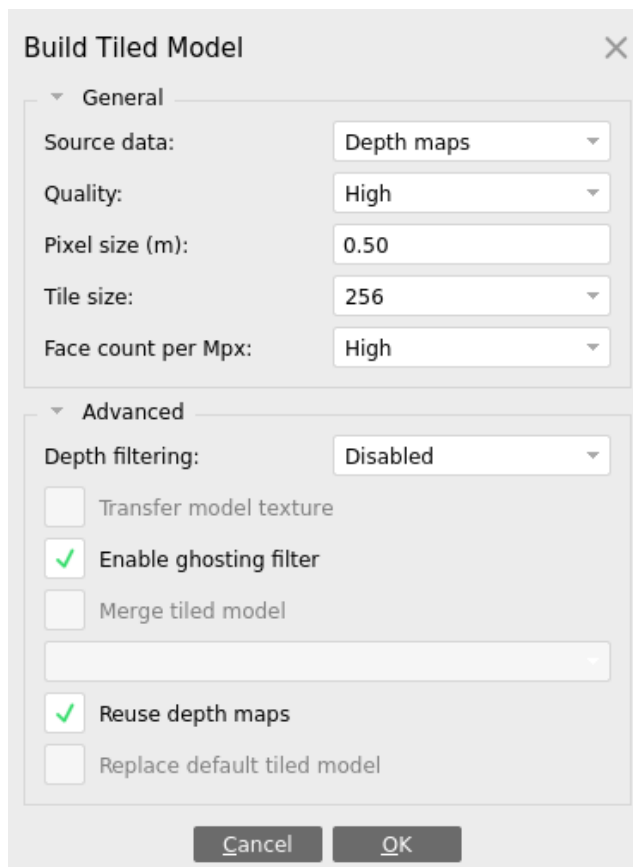
Mesh-Modell erstellen

Zur performanten Erstellung und späteren Visualisierung wird ein **gekacheltes Mesh-Modell** erstellt.

Workflow > Build Tiled Model

Die folgenden Parameter wurden als optimal identifiziert:

Source data: **Depth Maps** | Quality: **High** | Pixel Size: **0.50m** | Tile size: **256** | Face count per Mpx: **high** | Depth filtering: **Disabled** | Enable ghosting filter: **checked** | Reuse depth maps **checked** (es werden die bereits im Zuge der DOM Erstellung generierten Depth maps, bzw. die Depth maps die auf "default" gesetzt wurden, verwendet)



Screenshot Agisoft Metashape – Build Tiled Model | aufgenommen von BAB, 2026

Die Parameter der **Mesh-Modell Erstellung** werden in den **Properties** des erstellten **Modells** im **Workspace** gespeichert:

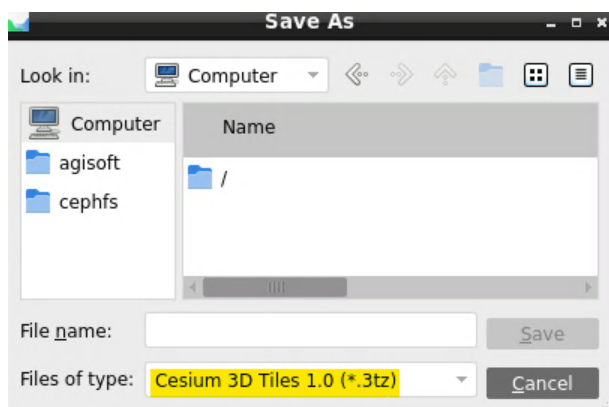
MeshModel_Tiled_TestL_HighQual (10 levels, 50 cm/pix)	
Property	Value
MeshModel_Tiled_TestL_HighQual	
Texture	4 bands, uint16
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Disabled
Max neighbors	6
Processing time	2 hours 15 minutes
Memory usage	132.48 GB
Reconstruction parameters	
Source data	Depth maps
Tile size	256
Face count	High
Enable ghosting filter	Yes
Processing time	16 hours 36 minutes
Memory usage	147.31 GB
Date created	2024:07:24 20:48:38
Software version	2.1.2.18548
File size	38.71 GB

Screenshot Agisoft Metashape – Mesh-Model Properties | aufgenommen von BAB, 2026

Mesh-Modell exportieren

Rechtsklick auf das gewünschte Tiled-Model > Export Tiled Model

Files of type: Cesium 3D Tiles 1.0



Screenshot Agisoft Metashape – Export Tiled Model – Save As | aufgenommen von BAB, 2026

Pfad zum 3tz-File dokumentieren.

INFO Bei dem .3tz Dateiformat handelt es sich um eine Kompressions-Archiv-Datei. Sehr ähnlich zu einer ZIP-Datei. Damit das exportierte Mesh mit QGIS geöffnet werden kann muss zunächst die Dateiendung manuell von ".3tz" in ".zip" geändert werden. Danach kann die ZIP Datei mit 7ZIP (o.ä.) entpackt werden. In der entpackten Dateistruktur befindet sich die "tileset.json" Datei. Diese Datei kann in der QGIS geladen werden und das 3D-Mesh-Modell in einer "3D Map View" visualisiert werden.

A.3.2.15 True Orthofoto

Agisoft empfiehlt bei Luftbilddaten die Generierung von Orthofotos **auf Basis des DOM** (Agisoft LLC, 2024, S. 66).

True Orthomosaic erstellen

Falls sich mehrere DOMs im Projekt befinden, sicherstellen, dass das relevante DOM auf **default** gesetzt ist.

Workflow > Build Orthomosaic

Es muss darauf geachtet werden, dass wieder die bei der DOM Erstellung gewählte Pixelauflösung gewählt wird (=0,5m)

Die folgenden Parameter wurden als optimal identifiziert:

Surface: **DEM** | Blending mode: **Mosaic** | Refine seamlines: **checked** | Enable hole filling: **checked** | Pixel Size: x **0.5** / y **0.5**

Build Orthomosaic

×

Projection

Type:

☒ Geographic
☐ Planar
☐ Cylindrical

MGI / Austria GK Central (EPSG::31255)

✖

Parameters

Surface:

DEM

Blending mode:

Mosaic (default)

Color source:

Images

☒ Refine seamlines
☒ Enable hole filling
☐ Enable ghosting filter
☐ Enable back-face culling

☒ Pixel size (m):

0.5

X

Metres...

0.5

Y

☐ Max. dimension (pix):

4096

☐ Replace default orthomosaic
☒ Save project after each step

Region

☐ Setup boundaries:

79014.821

-

95958.926

X

Estimate

268045.370

-

283379.323

Y

Total size (pix):

33888

x

30667

Cancel

OK

Screenshot Agisoft Metashape – Build Orthomosaic | aufgenommen von BAB, 2026

True Orthomosaik exportieren

Workspace Pane > Rechtsklick auf das gewünschte Orthomosaik > Export Orthomosaik

Es muss darauf geachtet werden, dass wieder die bei der DOM Erstellung gewählte Pixelauflösung gewählt wird (=0,5m)

Zudem sollen bei großflächigen Gebieten die folgenden **Compression Parameters** ausgewählt werden:

Write tiled TIFF: **checked** | Write BigTIFF file: **checked** | Generate TIFF overviews: **checked**
| Save alpha channel: **checked**

INFO Die Berechnung muss nicht im Cluster ausgeführt werden, da trotz Clusterberechnung nur ein einzelner Worker verwendet wird...

Export Orthomosaic - TIFF

Coordinate System
MGI / Austria GK Central (EPSG::31255)

Raster
☒ Pixel size (m): 0.5 X
Metres... 0.5 Y
☐ Max. dimension (pix): 4096
☐ Split in blocks (pix): 7500 x 7500
Raster transform: None
Background color: White

Region
☐ Setup boundaries: 79014.500 - 95958.500 X
Reset 268045.000 - 283379.000 Y
Total size (pix): 33888 x 30668
☐ Clip to boundary shapes
☐ Write KML file ☒ Write World file
☐ Write tile scheme

Metadata
Image description:

Compression
TIFF compression: LZW
JPEG quality: 90
☒ Write tiled TIFF ☒ Write BigTIFF file
☒ Generate TIFF overviews
☒ Save alpha channel

Cancel OK

Screenshot Agisoft Metashape – Export Orthomosaic – TIFF | aufgenommen von BAB, 2026

Pfad zum Orthomosaik dokumentieren.

A.4 BAB Präsentation Vernetzungstreffen 08.05.2025

 Bundesanstalt
für Agrarwirtschaft
und Bergbauernfragen

Eine Einrichtung des Bundesministerium für
Land- und Forstwirtschaft, Umwelt, Klima,
Regionen und Wasserwirtschaft

Image-Matching von Luftbildern mit Hilfe von Graphikprozessoren zur Erstellung von aktuellen Oberflächenmodellen

*Ein Projekt im Auftrag des BMLUK, bearbeitet in Kooperation mit der Land-, forst- und
wasserwirtschaftlichen Rechenzentrum GmbH*

Roland Neissl, Karin Schroll, Gabriel Zeglovits, Lena Mitterhuber – BAB

Klaus Paccagnel, Oliver Bednarski – LFRZ

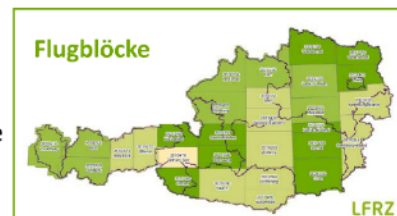
 Bundesanstalt
für Agrarwirtschaft
und Bergbauernfragen

LFRZ

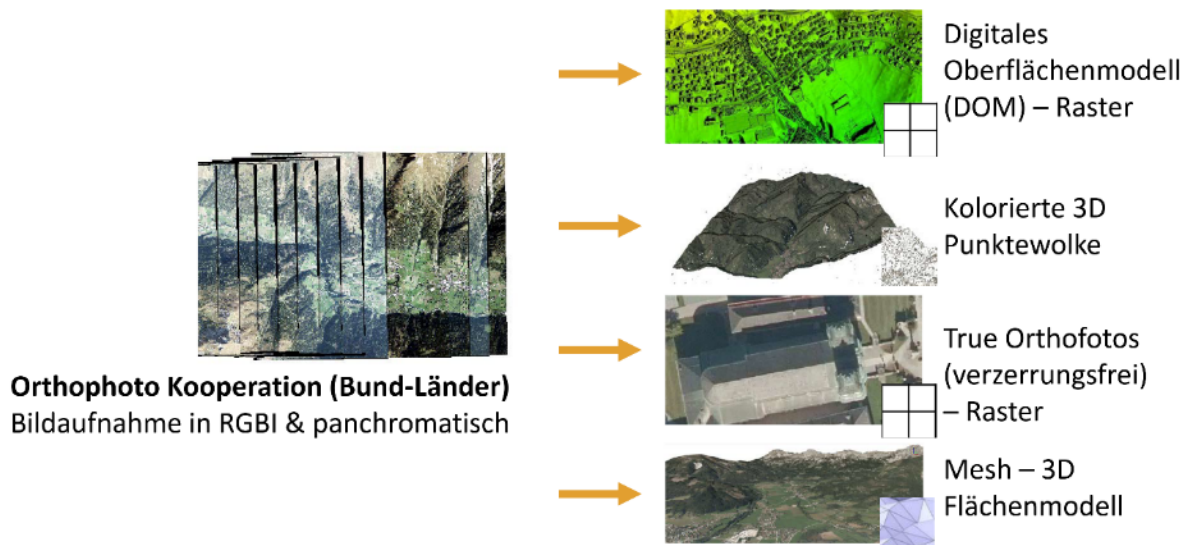
 Bundesanstalt
für Agrarwirtschaft
und Bergbauernfragen

Ausgangssituation 2021

- Jährlich wird ca. 1/3 von Österreich befliegen
 - Luftbilder für Erstellung von Orthofotos nach Flugblöcken
- Aufnahme mit Längs- und Querüberlappung (80/40) ermöglicht Image-Matching (Bildabgleich)
 - hoch aufgelöste dreidimensionale Daten der Erdoberfläche
> wertvolle Datengrundlage & rechenintensiver Prozess,
Ergebnisse zeitverzögert verfügbar
- Eignung der Daten für landwirtschaftliche Fragestellungen?
- bisher kein langfristiges Sicherungskonzept für Luftbilddaten vorhanden (jährlich ca. 200 TB)



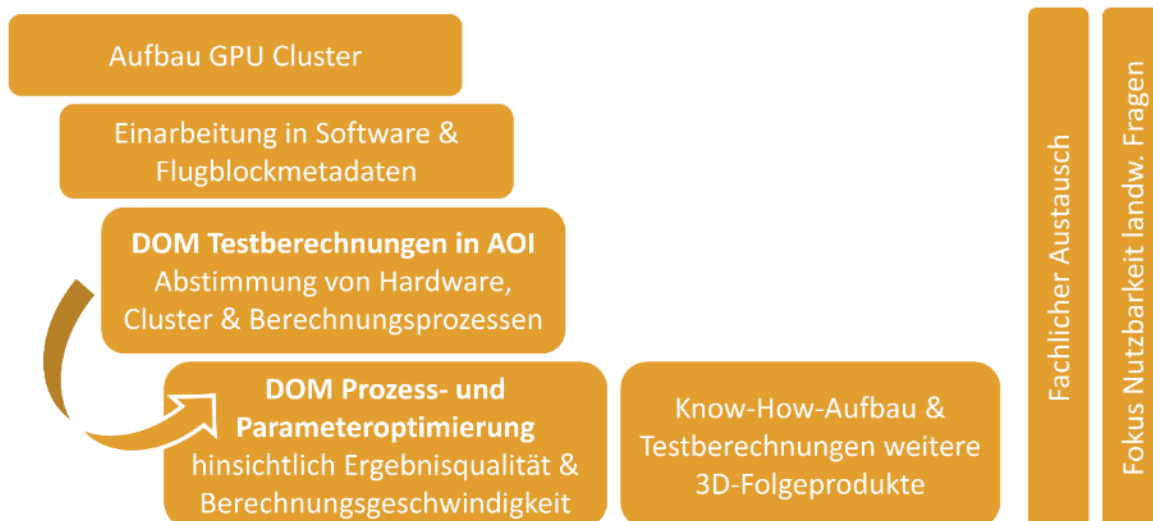
Ableitbare Produkte aus Image-Matching der Luftbilder



Projektziele

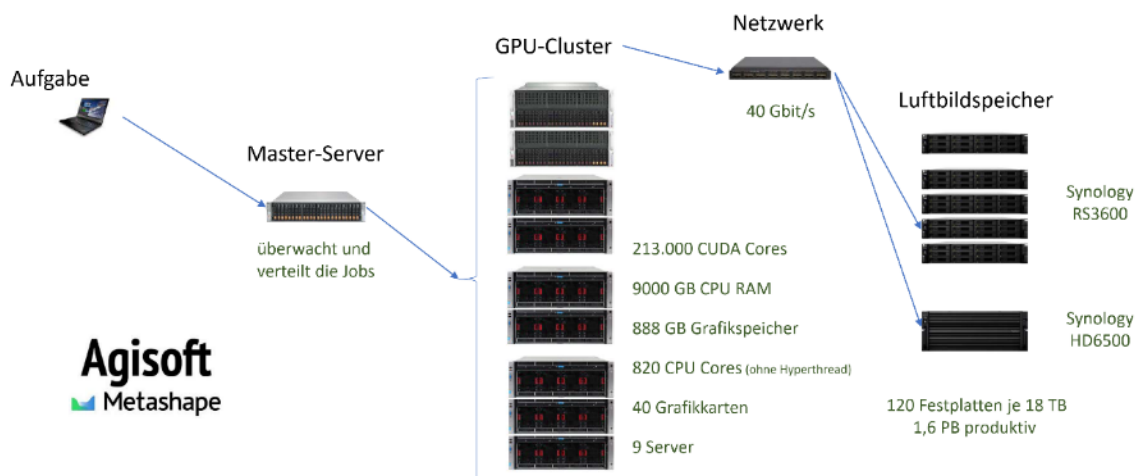
- Beschleunigung des Verfahrens der DOM-Berechnung mit Grafikprozessoren (GPU) im Clusterbetrieb
- Optimierung der Ergebnisse für Einsatz in Land- und Forstwirtschaft & Eruiere der Nutzbarkeit für landwirtschaftliche Fragestellungen
- Berechnungs-Tests mit weiteren dreidimensionalen Folgeprodukten
- Ausbau der methodischen Kompetenz zur Nutzung neuer Geodatenquellen im Ressort (Handlungsempfehlungen Digitalisierungsbericht BMNT 2018)
- Konzeptionierung der Langzeitsicherung der Luftbilddaten
- Kommunikation und Diskussion der Ergebnisse im Ressort – Eruiere weiterer Anwendungsmöglichkeiten

Methodik im Überblick – Image-Matching



5

Technische Infrastruktur

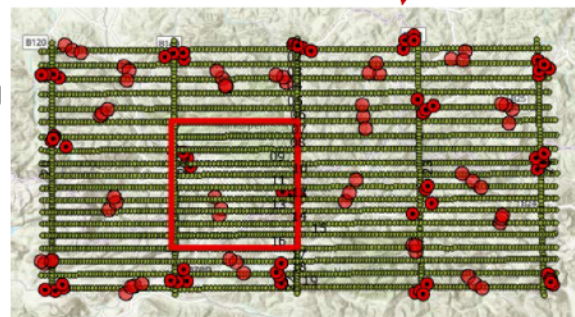


Rechenzentrumstechnologie > Cluster > Aufgaben- und Lasterverteilung
Software-Lizenz lässt komplette Hardware zu und unterstützt Cluster

6

Image-Matching mit pangeschärften RGBI Bildern

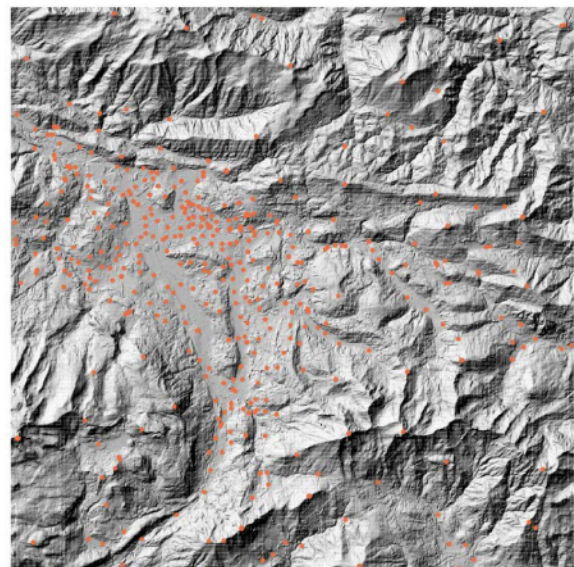
- Flugblock Windischgarsten 2019 (und 2016)
 - AOI 20x20 km als Testgebiet
 - folgend gesamter Flugblock
- Qualitätstests
 - Optische Vergleiche der Schummerung
 - Höhenvergleiche DOM BAB (0,5m)
 - mit ALS DOM (1m)
 - mit BEV(0,5m) und BFW (0,5m) IM-DOM
 - flächig und an stabilen Punkten
 - Bodenfestpunkte des BEV
 - Profilvergleiche



Qualitätstests – Höhenvergleiche

Vergleich mit einsehbaren
Bodenfestpunkten des BEV

- Absolute mittlere Abweichung
ca. 21 cm bei BAB-Modellen



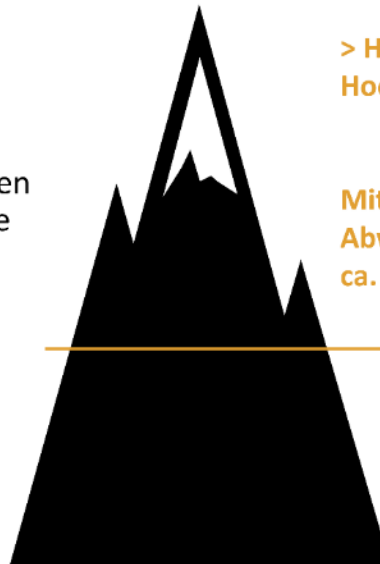
Lage der verwendeten einsehbaren BEV Bodenfestpunkte

Qualitätstests – Höhenverzerrung im Gebirge

Vergleich BAB-Modell mit
Bodenfestpunkten & ALS

- über 1.000 Höhenmeter weisen
Image-Matching-Modelle eine
absolute Verschiebung nach
oben auf

> Vorsicht bei
Differenzmodellberechnungen
(nDOM) im Gebirge



> Höhendifferenz im
Hochgebirge bis 1 m

Mittelwert absolute
Abweichung nach oben:
ca. 25 cm

1.000 m

10

Qualitätstests - Profilvergleich Wald mit Forststraße

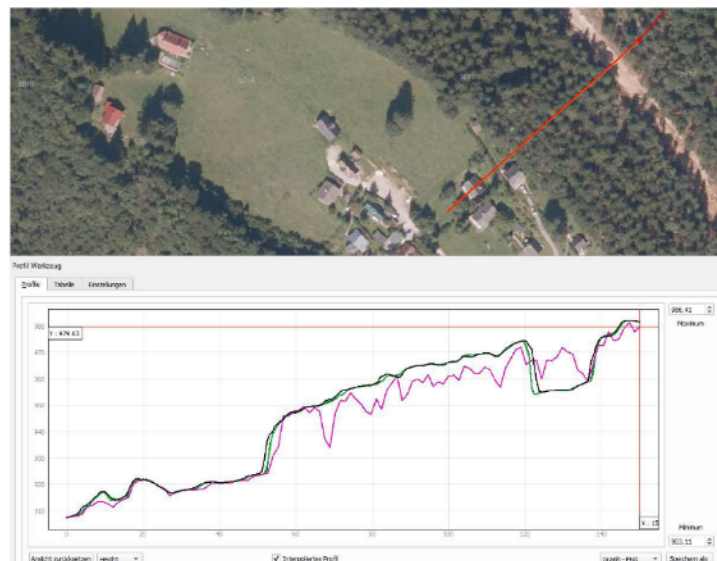
BAB & BEV Modelle
vergleichbar

ALS dringt weiter in
Baumkronen vor

BAB

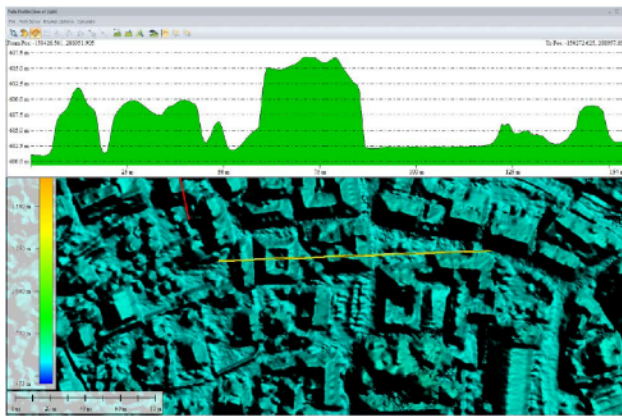
BEV

ALS

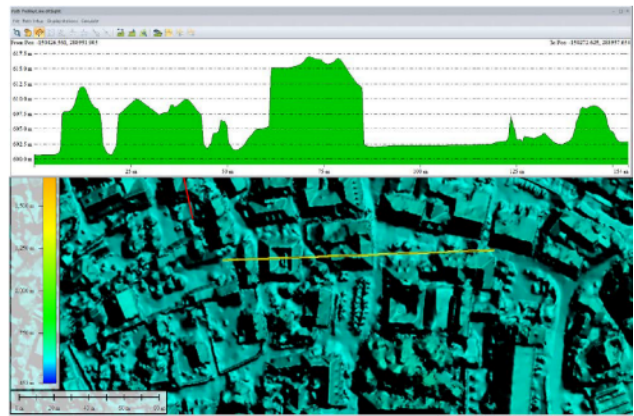


Qualitätstests – Profilvergleich Ortskern

BEV

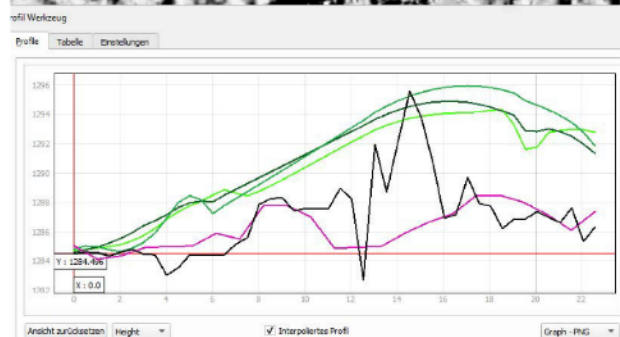
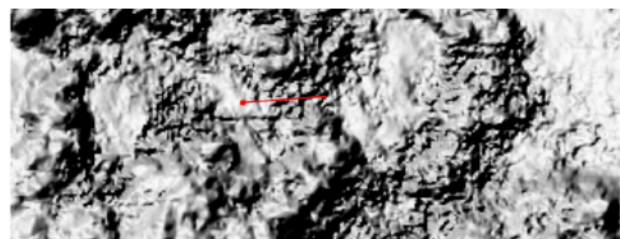


BAB – etwas schärfere Kanten



Qualitätstests – Profilvergleich Schattenbereiche – Wald

BAB-Modelle starke
Interpolation in
Schattenbereichen



BAB

BEV

ALS

Optimierung von Einstellungen & Workflow für DOM

	Einstellung	Begründung
DOM Qualität	high	Guter Kompromiss zwischen Qualität und Berechnungsdauer, mit dieser Einstellung sind 36 cm Bodenauflösung möglich
Querstreifen-Bilder	ohne	Miteinbezug bringt keine Verbesserung, da Aufnahmezeitpunkte abweichen (Lichtbedingungen) lassen wir Querstreifen weg
Verwendeter Kanal zum Matching „primary channel“	RGB(l) / NIR	sehr ähnliche Ergebnisse, leicht bessere Ergebnisse mit RGBI („default“)
Anzahl der Nachbarbilder, die beim Matching miteinbezogen werden	6	Alle Bilder mit mehr als 100 (point threshold) übereinstimmenden tie points werden gematcht. Aus Performancegründen kann die Anzahl in Tweaks auf 6 Nachbarbilder ohne Qualitätsverlust beschränkt werden > Bei ausreichenden gemeinsamen tie points werden auch Bilder des nächsten Längsstreifens verwendet
Originalorientierung oder adaptive Camera Model Fitting	adaptive camera model fitting	liefert bessere Ergebnisse als Originalorientierungen, zum Teil aber „black box“
Anzahl der GCPs als Pass- und Kontrollpunkte	5 (3PP, 2 KP)	eine höhere Anzahl an verwendeten Pass- und Kontrollpunkten lieferte keine besseren Ergebnisse
Filtering-Einstellung	no	Software filtert generell sehr stark, um Vegetation im DOM zu erkennen ist es sinnvoll, nicht bzw. wenig zu filtern (kaum Unterschied zwischen no und mild filtering)
Anzahl Key / Tie-Points	40.000 / 10.000	Empfehlung laut Manual; tie points sind Punkte, die in mehreren Bildern übereinstimmen – werden zur Fotoausrichtung benutzt, um Kamerapositionen und -orientierungen zu berechnen

Ergebnisse – Beschleunigung der Berechnung

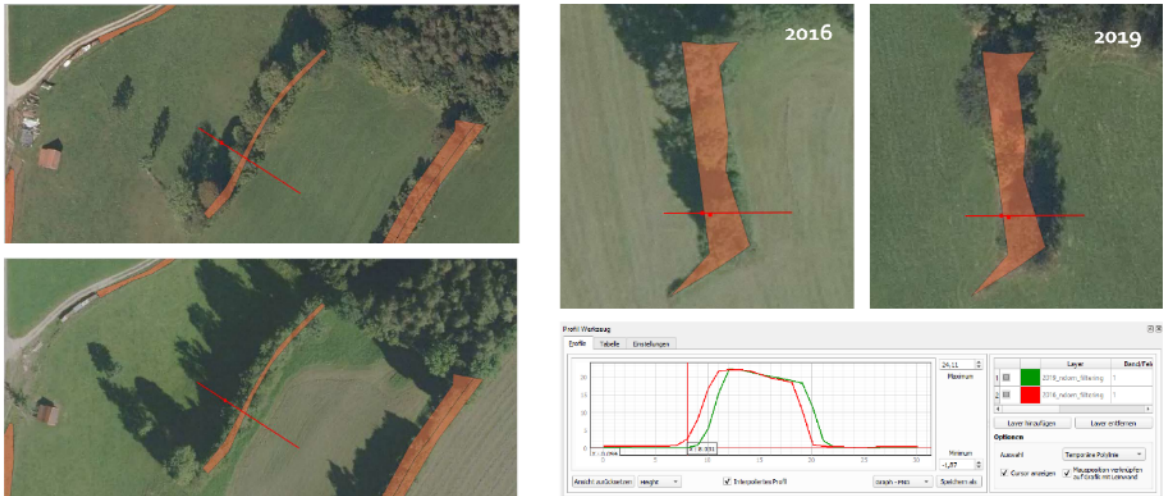
- Berechnungsgeschwindigkeit Flugblock Windischgarsten 2019

Luftbild-Alignment	3,5 h
Berechnung Depth-Maps	11,0 h
<u>Berechnung DOM 0,5m</u>	<u>11,0 h</u>
= reine Berechnungszeit	25,5 h

1-2 Wochen insgesamte Bearbeitungszeit je Flugblock

- Vorteile der Berechnung im Cluster
 - > Software lässt skalierbare Hardware zu
 - > Fällt Maschine im Cluster aus, wird Berechnung von anderen übernommen

INVEKOS Landschaftselemente 2016 & 2019

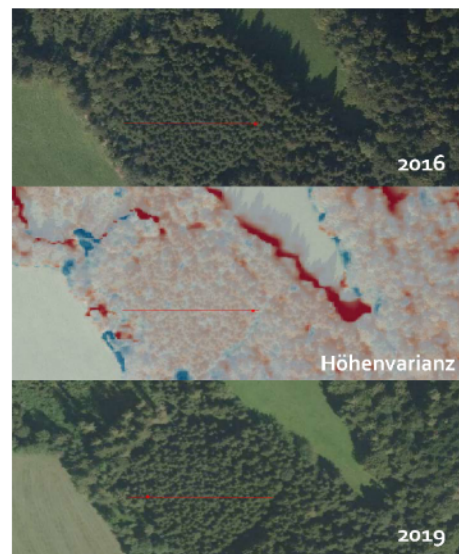
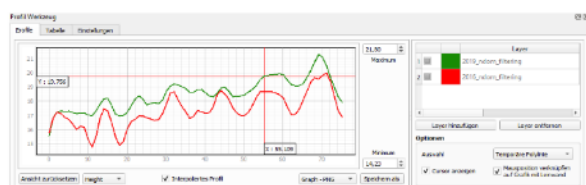


bei schmalen linienhaften Elementen großer Einfluss durch Sonnenstand

16

INVEKOS Landschaftselemente

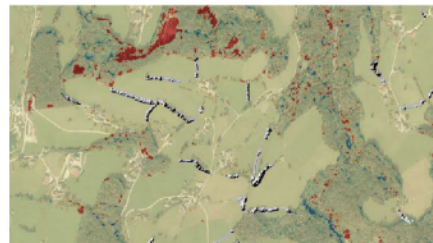
- Höhenvarianz DOM 2019 & DOM 2016
- Schwächen der Modelle im Randbereich von Objekten durch Schattenwurf
- ohne diesen Randeffekt sehr gute Beurteilungsgrundlage
- Höhenzuwachs klar ersichtlich



17

INVEKOS Landschaftselemente – Lessons Learned

- Detektion sehr gut möglich
- Objektbasierter Ansatz zur Detektion von Vorteil
- Befliegungszeitpunkt - Sonnenstand
- Auswirkung von Schatteneffekt (Interpolation) bei linienhaften Objekten beachten
- Kontrast im Schattenbereich



18

Ergebnisse – True Orthofotos

- Berechnungstests erfolgreich > Qualität zum Teil unzureichend
- Für qualitativ hochwertige TrueOrthos wird ein Überlappungsverhältnis von mind. 80/60 benötigt
- Anforderung an Flugfirmen ist Überlappung 80/40 (in Tallagen werden häufig auch 80/60 erreicht)



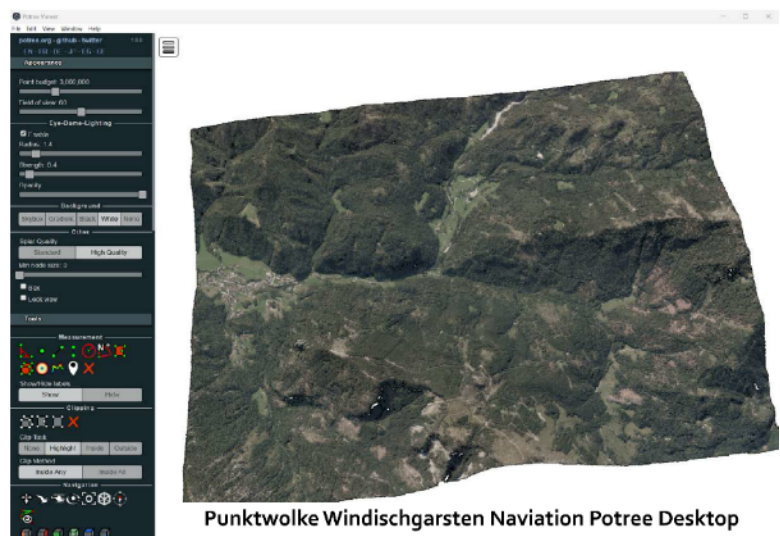
Ergebnisse – Mesh

- Berechnungstests erfolgreich
- Unterschiedliche Methoden der Generierung (Merged Model, Blocked Model, **Tiled Model**)
- Unterschiedliche Formate / nicht alle werden mit GIS Applikationen unterstützt (PLY, glTF, **Cesium 3D Tiles**)
- Grobe Auflösung auf geringer Maßstabsebene
- Für Visualisierung geeignet, Auswertungen mit DOM ressourceneffizienter



Ergebnisse – Punktwolken

- Vorteil gegenüber DOM sind Spektralinformationen an Punkten
- In hoher Auflösung sehr ressourcenintensiv



Kooperation & Austausch & Testeinsätze der DOMs

Kooperation	Austausch	DOM Testeinsätze
• LFRZ • BEV • BMLUK • GIS Land STMK – Nicole Kamp	• BFW • Präsentationen & Austausch bei GIS-Jour-Fixe des BMLUK • Markus Schütz, Darstellung von Punktwolken mit potree & weiteren Visualisierungstools • Hasso Plattner Institut Potsdam - Visualisierung und Analyse von Punktwolken • GIS Land OÖ, Land Kärnten, Land Vorarlberg • Stadt Wien	• AMA im Jänner 2022: Anwendbarkeit der Ergebnisse geprüft – Projekt OARA – überschirmte Waldflächen ermitteln. • BOKU (Institut für Waldwachstum): Testeinsatz im Projekt Ladiwaldi im Juli 2024: Vegetationshöhenmodelle zur Berechnung von Holzvorräten

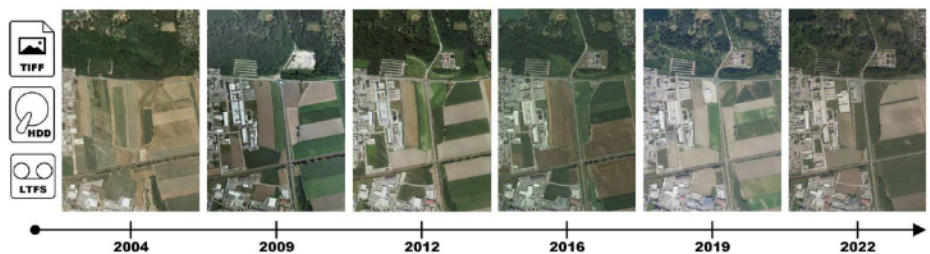
22

Schlussfolgerungen

- Beschleunigung der DOM-Berechnung erreicht
- Herausforderungen in Berechnung (Analyse & Bereitstellung) – potente, abgestimmte Infrastruktur notwendig
- Anwendungsziel entscheidet über optimale Wahl der Einstellungen – Unterschiede zwischen DOMs von BFW, BEV und BAB
- Matching von RGBI Luftbildern sinnvoll – Spektralinformationen in Folgeprodukten verwendbar (Vegetationsanalysen)
- Limitationen:
 - Interpolation in Schattenbereichen – Wald & lineare Elemente
 - Höhenverzerrung im Gebirge
 - Monitoring von Dauervegetation möglich, von einjährigen Kulturen nicht
 - Weitere Erfahrung nötig für stabile Mehrjahresvergleiche
- Methode & Produkte haben Potential – bei weiterer technischer Entwicklung > Zusammenarbeit fortsetzen und Synergien ausbauen

23

Langzeitarchivierung von Luftbilddaten



Roland Neissl, Karin Schroll, Gabriel Zeglovits – BAB

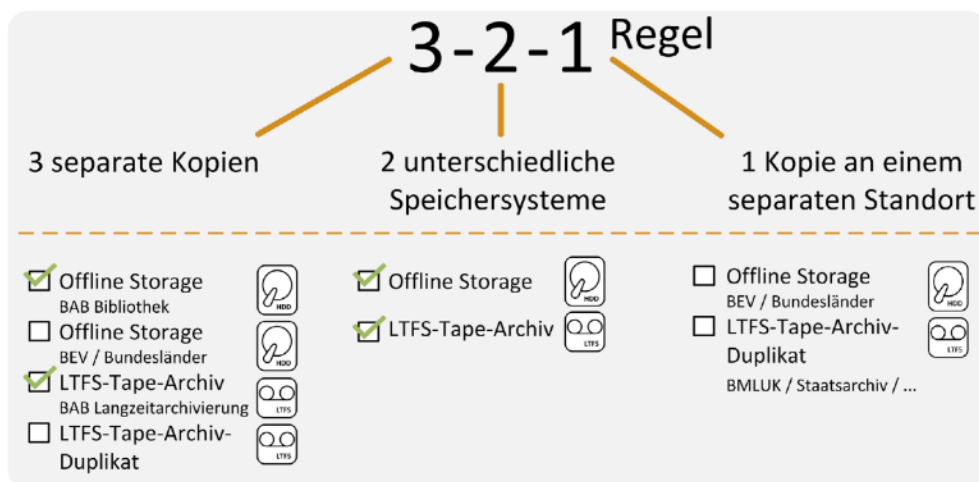
Bereitstellung und Langzeitarchivierung ...

... von **unkomprimierten** Luftbildern & DOPs (16 Bit TIF-Format) aus der
Luftbildkooperation von Bund & Ländern,
... in den folgenden Varianten



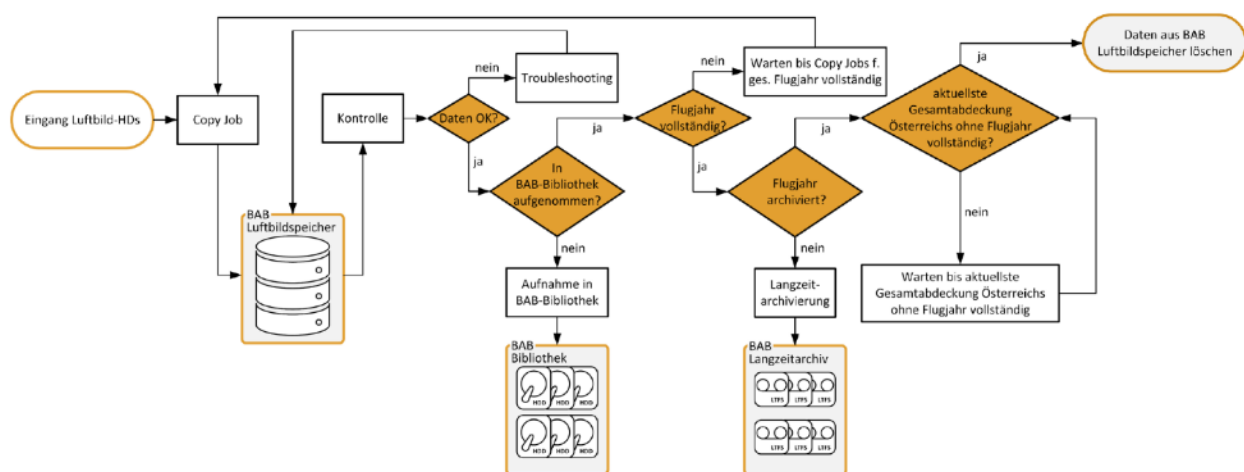
- **Luftbildspeicher mit Luftbildern der letzten 3 - 4 Befliegungsjahre**
> jeweils aktuellsten Luftbilder für das gesamte österreichische Bundesgebiet
- **Offline-Speicher, der original Luftbild-HDs seit 2015** (Stand 2025)
- **Langzeit-Backup auf Magnetspeichermedien, basierend auf LTFS-Technologie**

Archivierungskonzept



26

Prozess



27

Technische Umsetzung

Luftbild Festplatten	Kopierstation	Luftbildspeicher	Bibliotheksarchiv	Langzeitarchivierung
 • via BEV (aktuelle Flugjahre) und LFRZ (alte Flugjahre) • ca. 3 GB / RGBI TIFF • ca. 800 MB / PAN TIFF • ca. 200 TB / Flugjahr • ca. 750 - 800 TB Österreich komplett + Aufbau akt. Flugjahr • ca. 4 PB Luftbilddaten von 1998 – 2027	 • 8-10 Festplatten gleichzeitig • ca. 200 MB/s Übertragungsrate pro Festplatte • Kontrollroutinen	 Network Attached Storage (NAS) • Speicherplatz 1.5 PB	 Offline Speicher • Archivierung der Luftbild HDs • > 400 externen Festplatten	 • 2x LTO-8 Bandlaufwerke • Bandbibliothek ○ 40 Kassetteneinschübe • LTO-8 Magnetbänder ○ 10 TB nutzbare Datenkapazität ○ ca. 20 Bänder / Flugjahr • Archivierungssoftware Archiware P5 ○ Ohne Komprimierung ○ LTF5-Format – offener Standard – Software unabhängig auslesbar

28

Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit

29

