

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

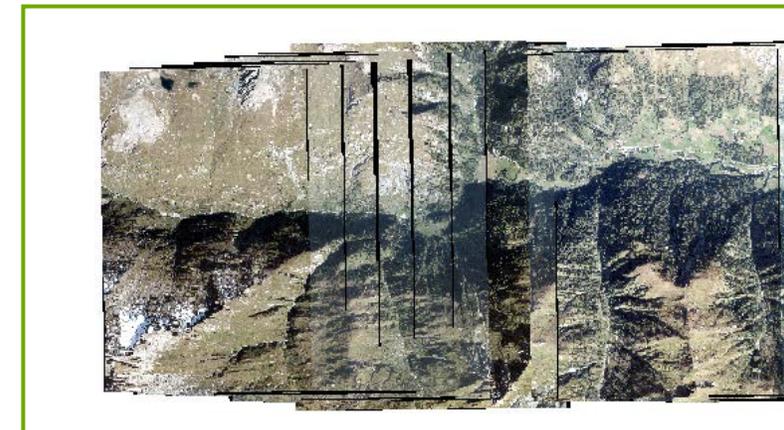
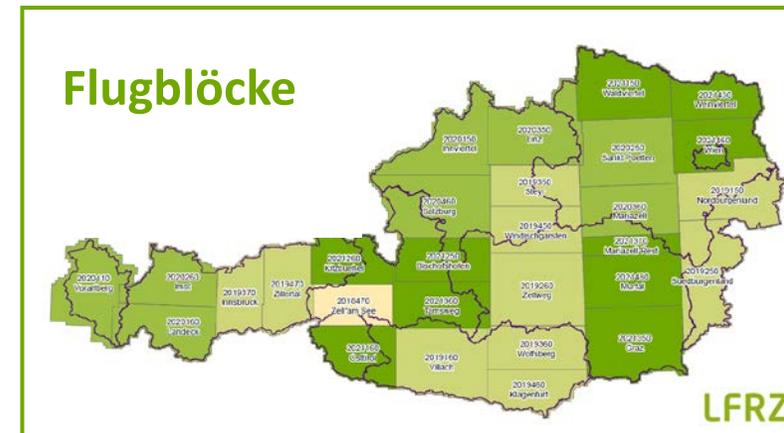
*Ein Projekt im Auftrag des BMLUK, bearbeitet in Kooperation mit der Land-, forst- und
wasserwirtschaftlichen Rechenzentrum GmbH*

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

Klaus Paccagnel, Oliver Bednarski – LFRZ

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



Orthophoto Kooperation (Bund-Länder)
Bildaufnahme in RGBI & panchromatisch



Digitales
Oberflächenmodell
(DOM) – Raster



Kolorierte 3D
Punktwolke



True Orthofotos
(verzerrungsfrei)
– Raster



Mesh – 3D
Flächenmodell



Projektziele

- Beschleunigung des Verfahrens der DOM-Berechnung mit Grafikprozessoren (GPU) im Clusterbetrieb
- Optimierung der Ergebnisse für Einsatz in Land- und Forstwirtschaft & Eruiern 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 – Eruiern weiterer Anwendungsmöglichkeiten

Methodik im Überblick – Image-Matching

Aufbau GPU Cluster

Einarbeitung in Software &
Flugblockmetadaten

DOM Testberechnungen in AOI
Abstimmung von Hardware,
Cluster & Berechnungsprozessen

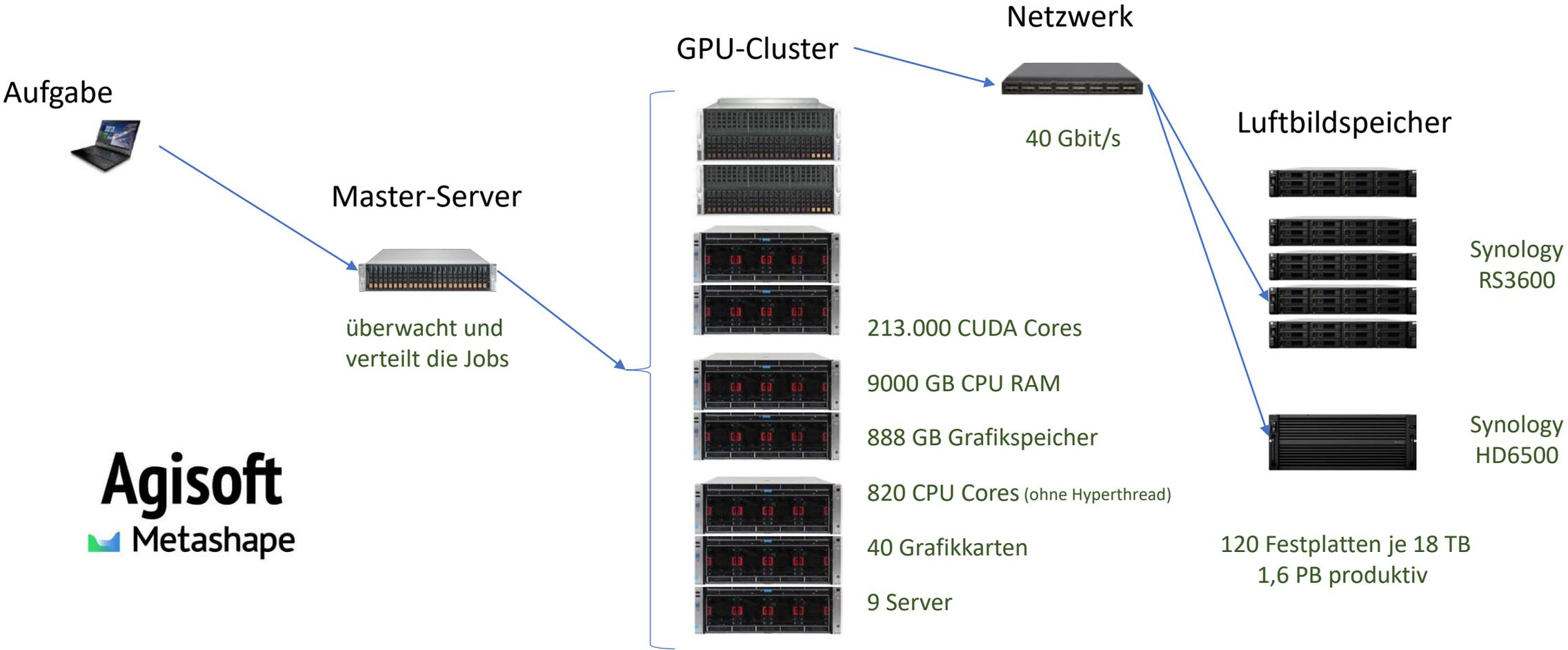
**DOM Prozess- und
Parameteroptimierung**
hinsichtlich Ergebnisqualität &
Berechnungsgeschwindigkeit

Know-How-Aufbau &
Testberechnungen weitere
3D-Folgeprodukte

Fachlicher Austausch

Fokus Nutzbarkeit landw. Fragen

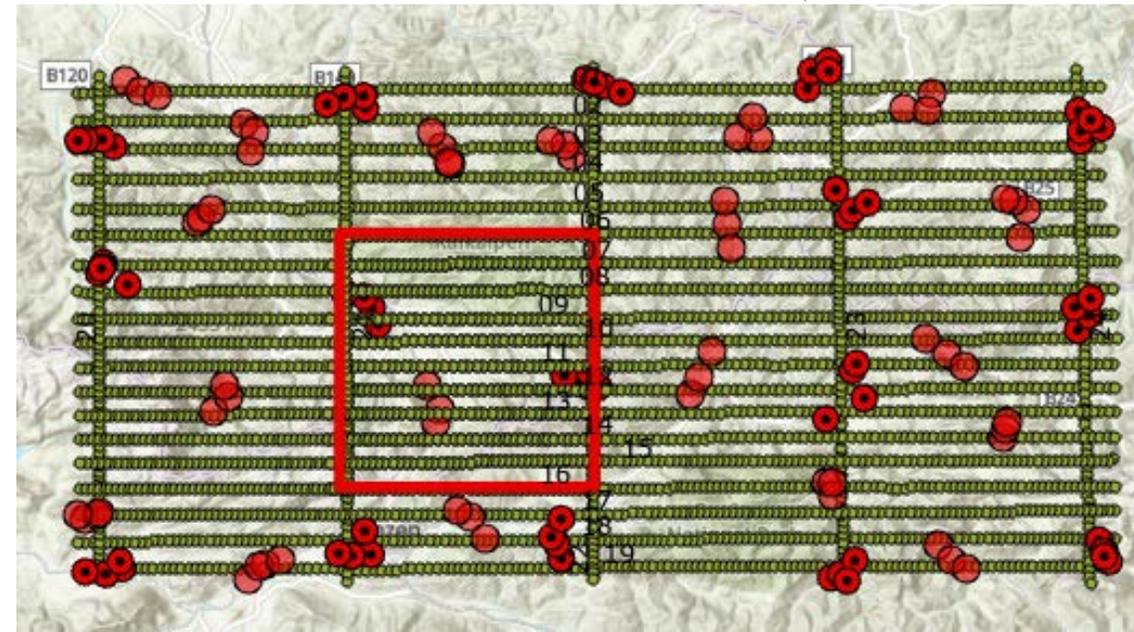
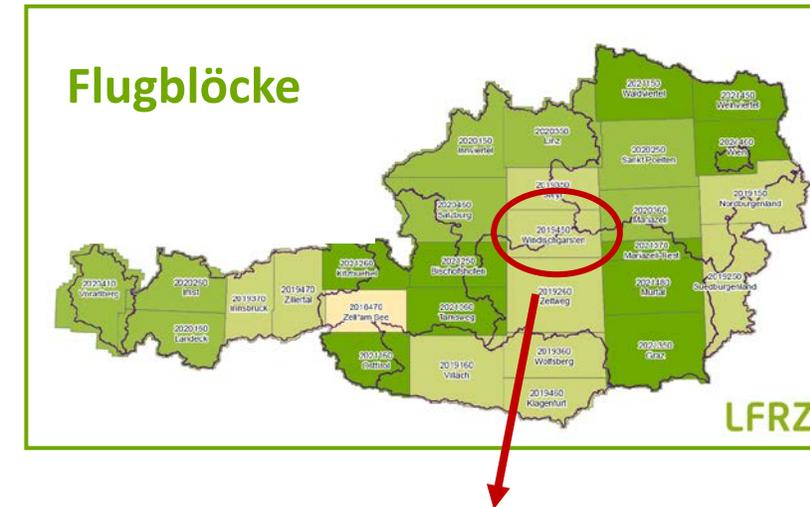
Technische Infrastruktur



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

Image-Matching mit pangeschärften RGBI Bildern

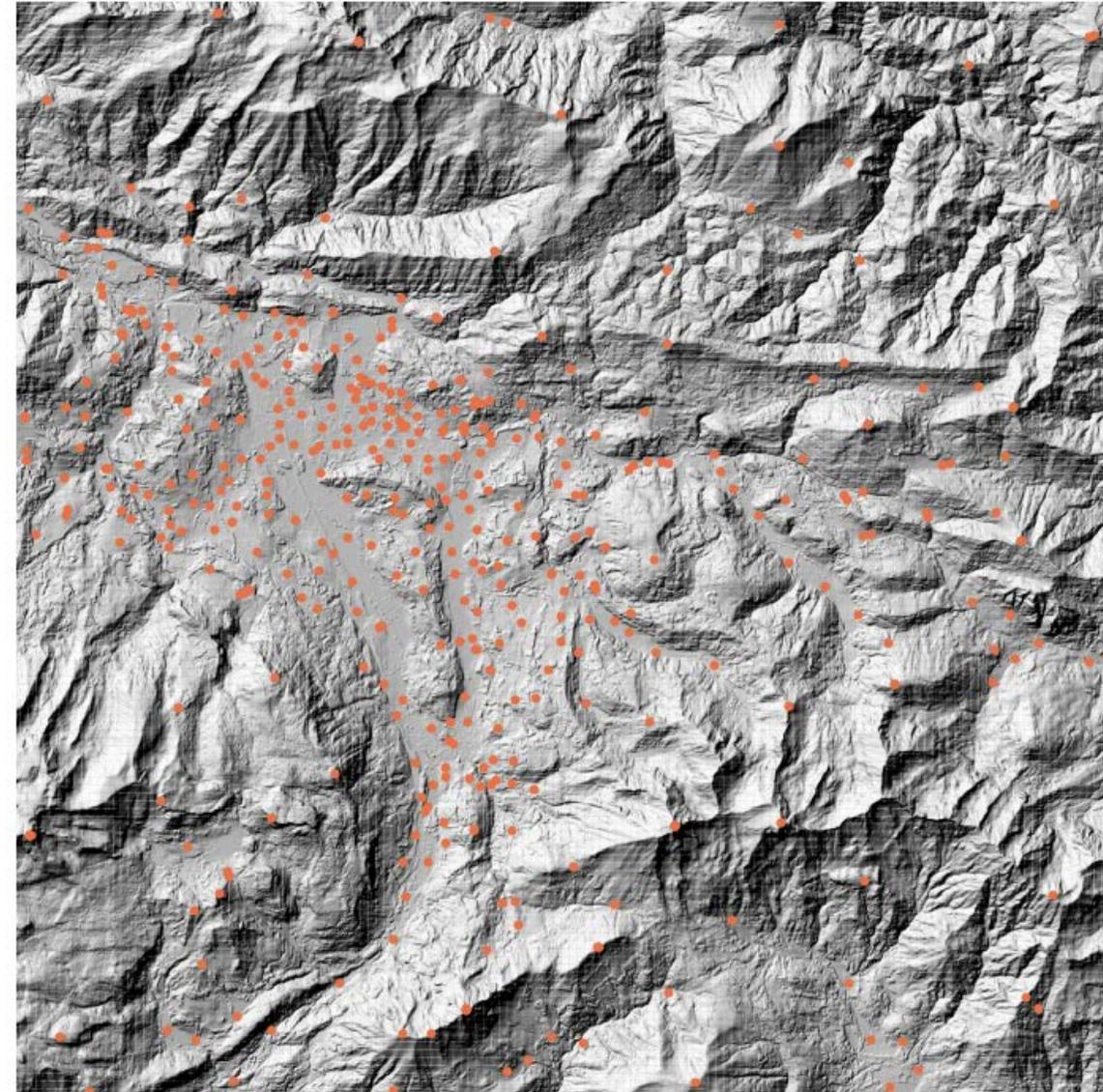
- Flugblock Windischgarsten 2019 (und 2016)
 - AOI 20x20 km als Testgebiet
 - folgend gesamter Flugblock
- Qualitätstests
 - Optische Vergleiche der Schummerung
 - Höhenvergleiche DOM BAB (0,5m)
 - mit ALS DOM (1m)
 - mit BEV(0,5m) und BFW (0,5m) IM-DOM
 - flächig und an stabilen Punkten
 - Bodenfestpunkte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



Qualitätstests – Höhenvergleiche

Vergleich mit einsehbaren
Bodenfestpunkten des BEV

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



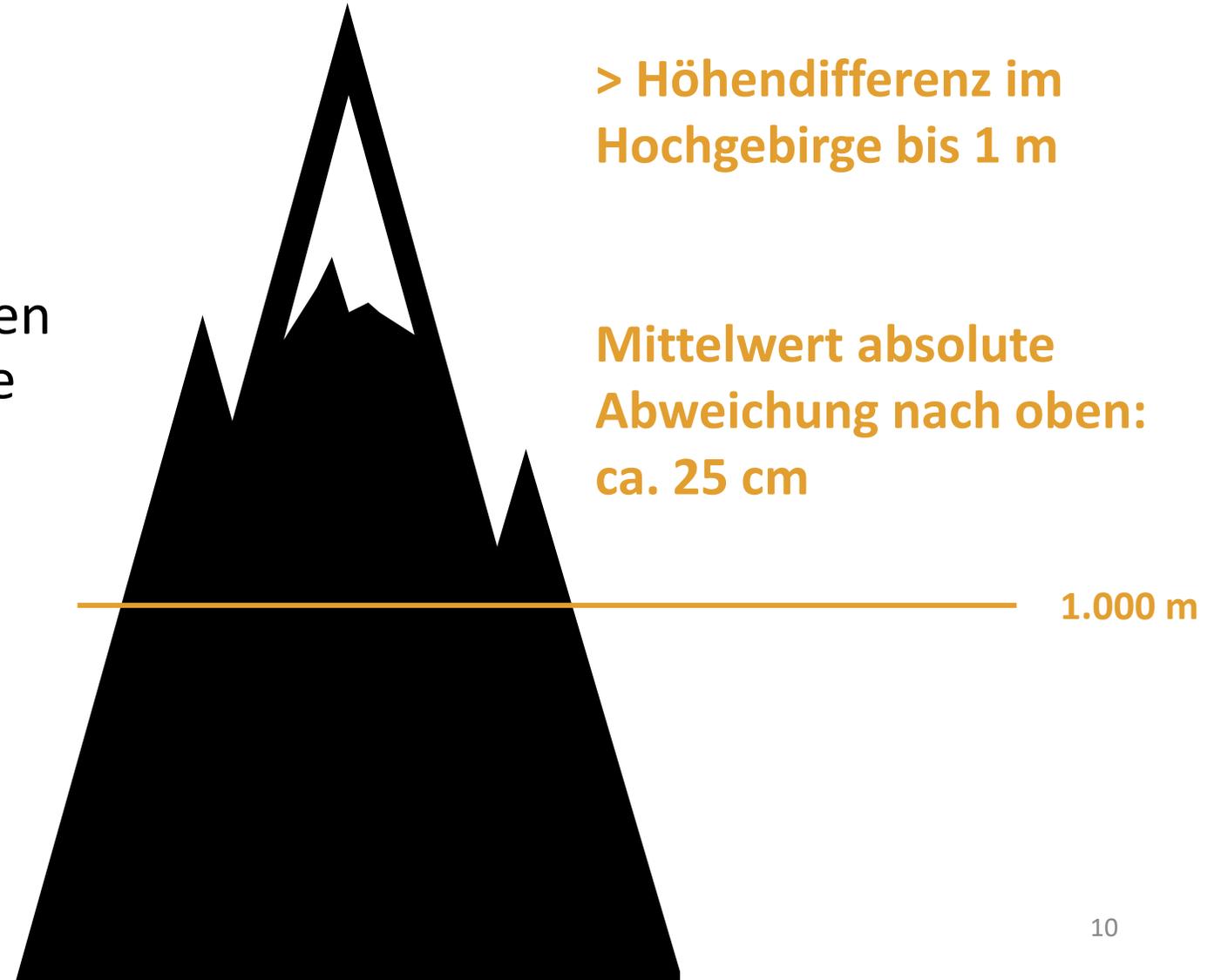
Lage der verwendeten einsehbaren BEV Bodenfestpunkte

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



Qualitätstests - Profilvergleich Wald mit Forststraße

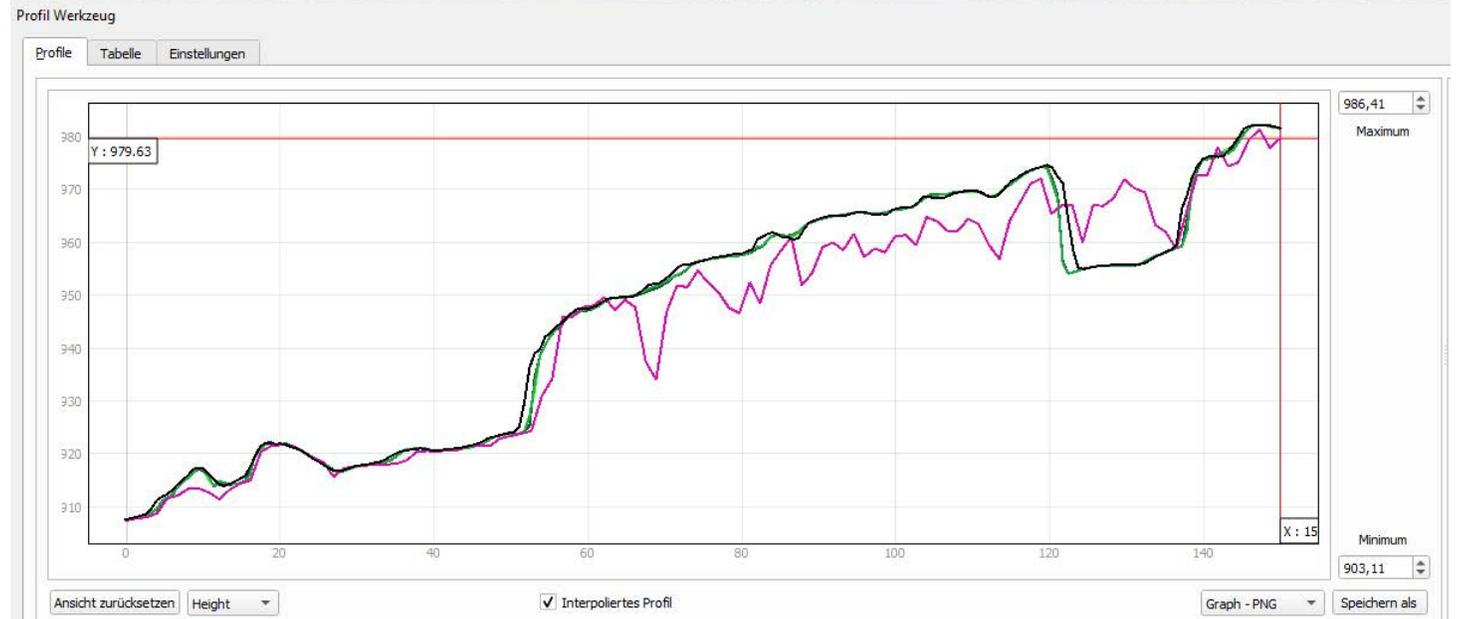
BAB & BEV Modelle
vergleichbar

ALS dringt weiter in
Baumkronen vor

BAB

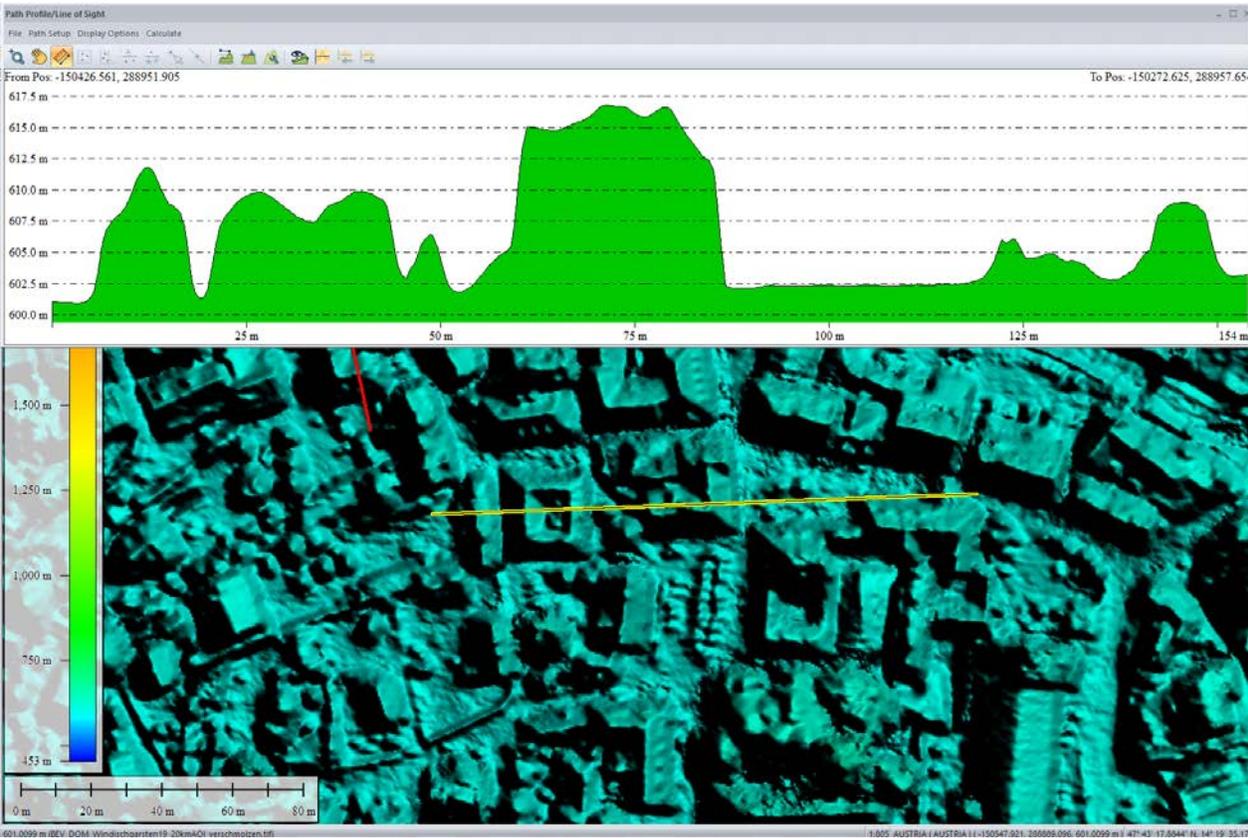
BEV

ALS

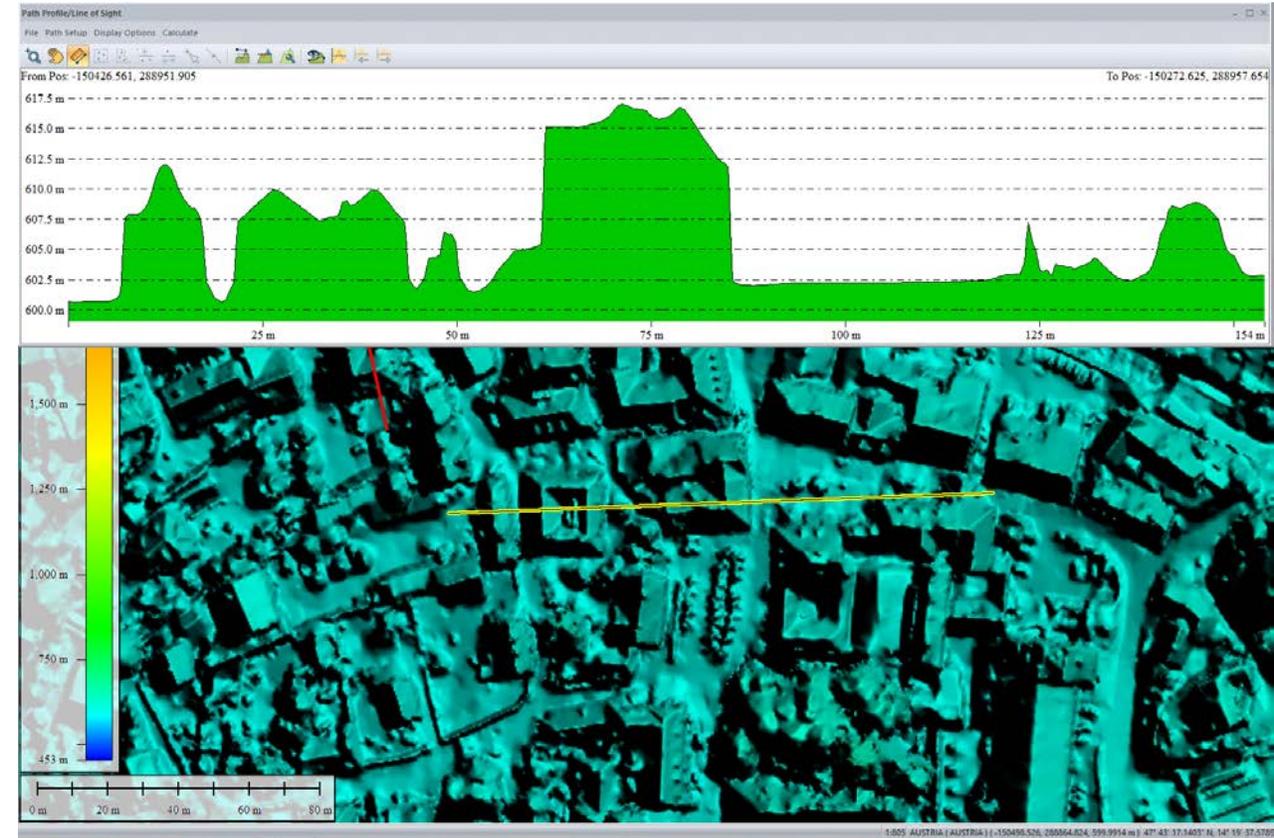


Qualitätstests – Profilvergleich Ortskern

BEV



BAB – etwas schärfere Kanten



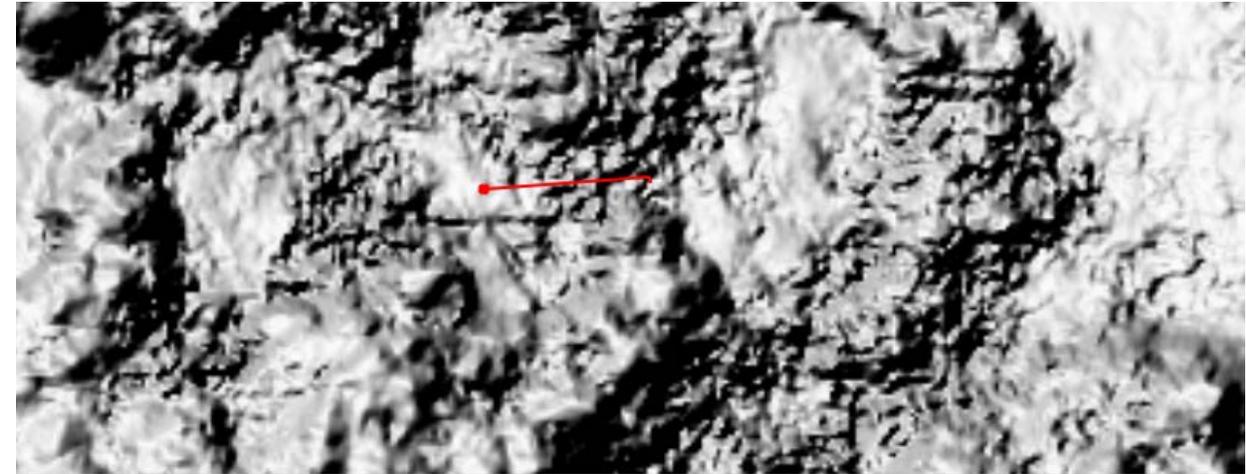
Qualitätstests – Profilvergleich Schattenbereiche – Wald

BAB-Modelle starke
Interpolation in
Schattenbereichen

BAB

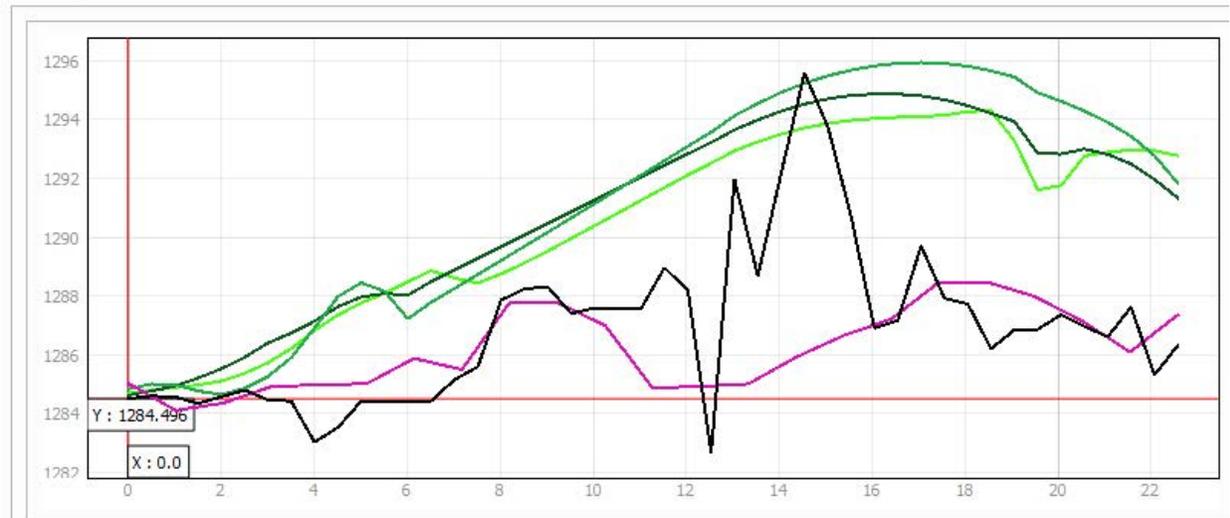
BEV

ALS



Profil Werkzeug

Profil Tabelle Einstellungen



Ansicht zurücksetzen

Height

Interpoliertes Profil

Graph - PNG

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(I) / 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 Längstreifens 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

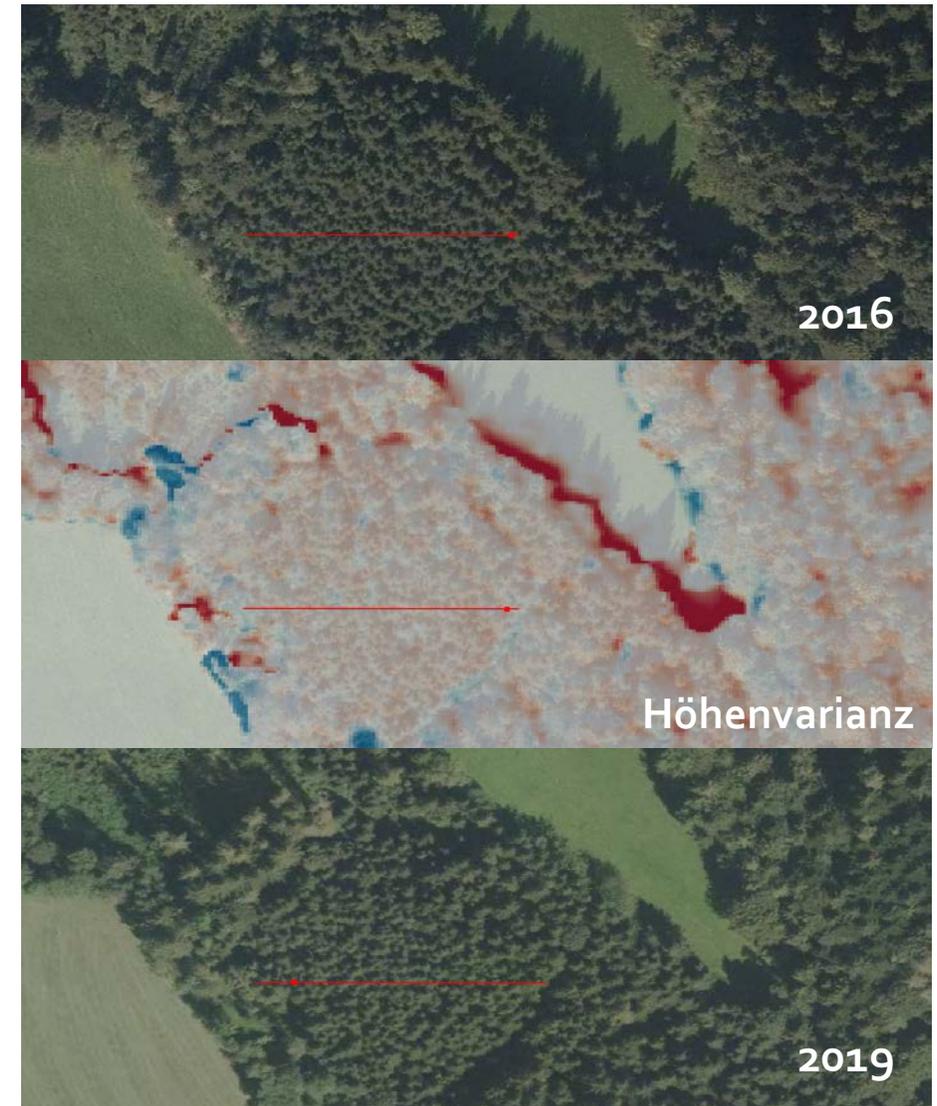
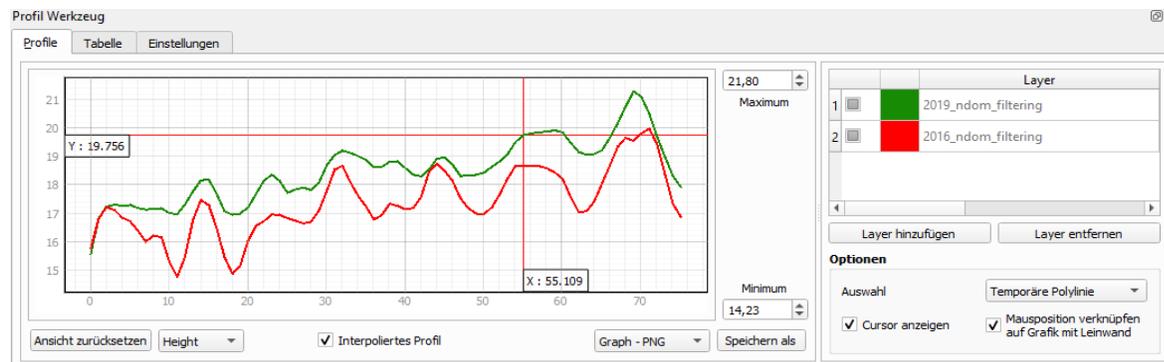
INVEKOS Landschaftselemente 2016 & 2019



bei schmalen linienhaften Elementen großer Einfluss durch Sonnenstand

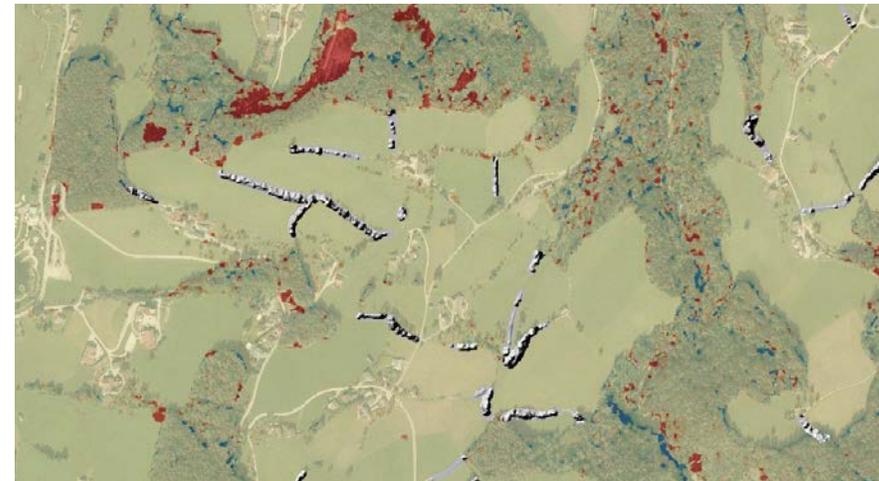
INVEKOS Landschaftselemente

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



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



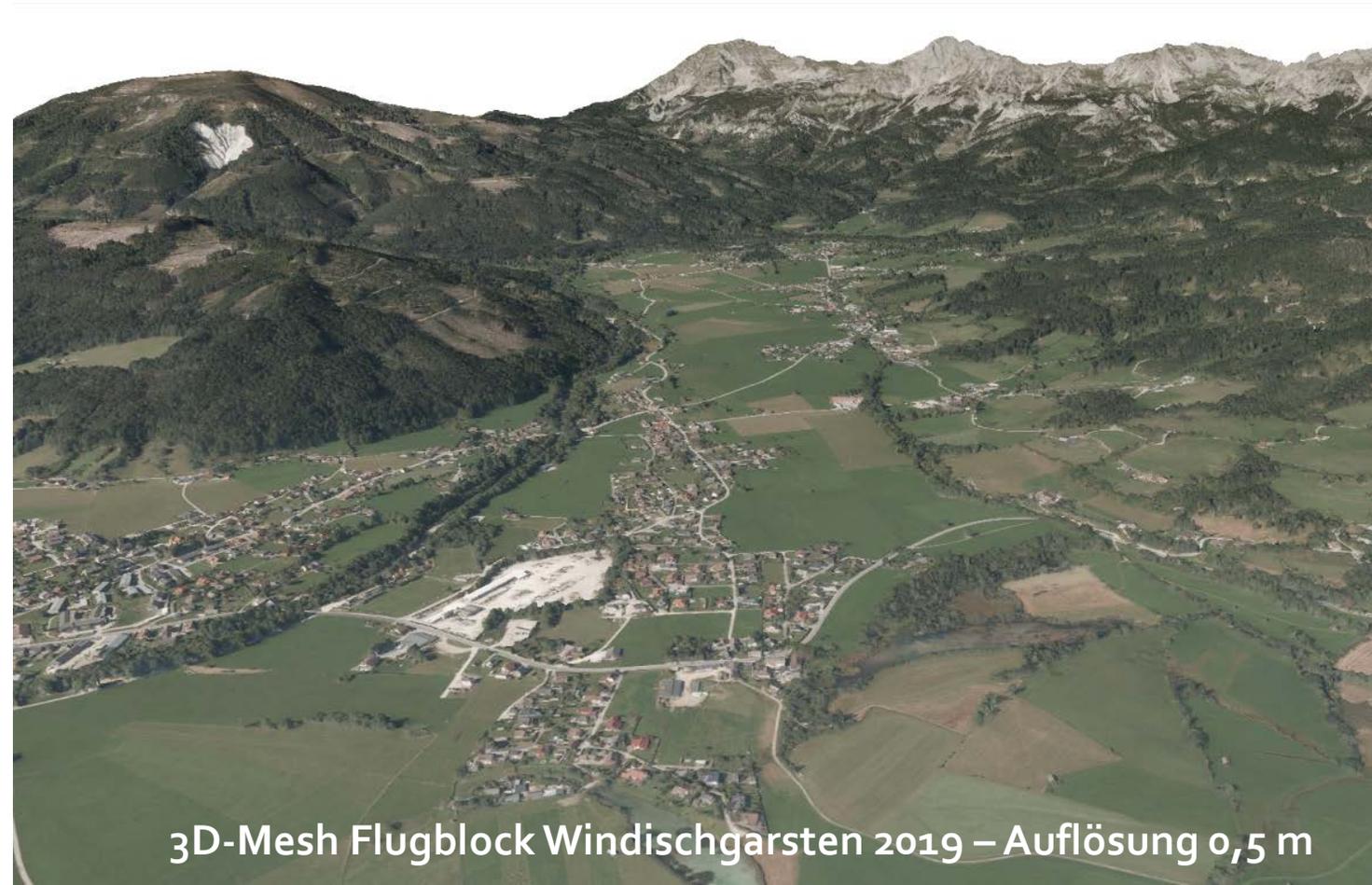
Ergebnisse – True Orthofotos

- 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

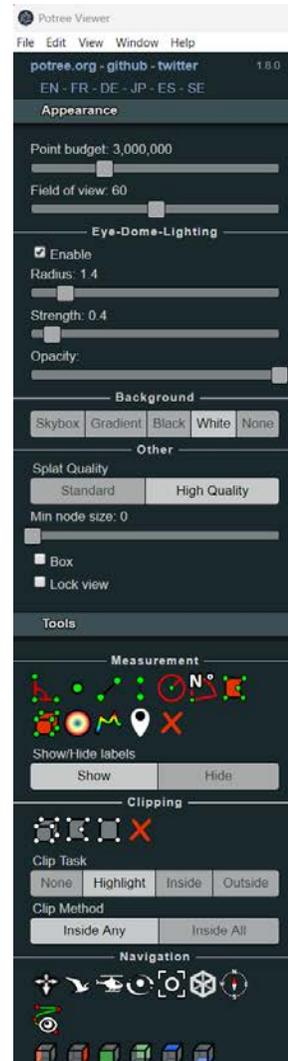
- Berechnungstests erfolgreich
- Unterschiedliche Methoden der Generierung (Merged Model, Blocked Model, **Tiled Model**)
- Unterschiedliche Formate / nicht alle werden mit GIS Applikationen unterstützt (PLY, glTF, **Cesium 3D Tiles**)
- Grobe Auflösung auf geringer Maßstabsebene
- Für Visualisierung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



3D-Mesh Flugblock Windischgarsten 2019 – Auflösung 0,5 m

Ergebnisse – Punktwolken

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



Punktwolke Windischgarsten Navigation Potree Desktop

Kooperation & Austausch & Testeinsätze der DOMs

Kooperation

- LFRZ
- BEV
- BMLUK
- GIS Land STMK – Nicole Kamp

Austausch

- 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

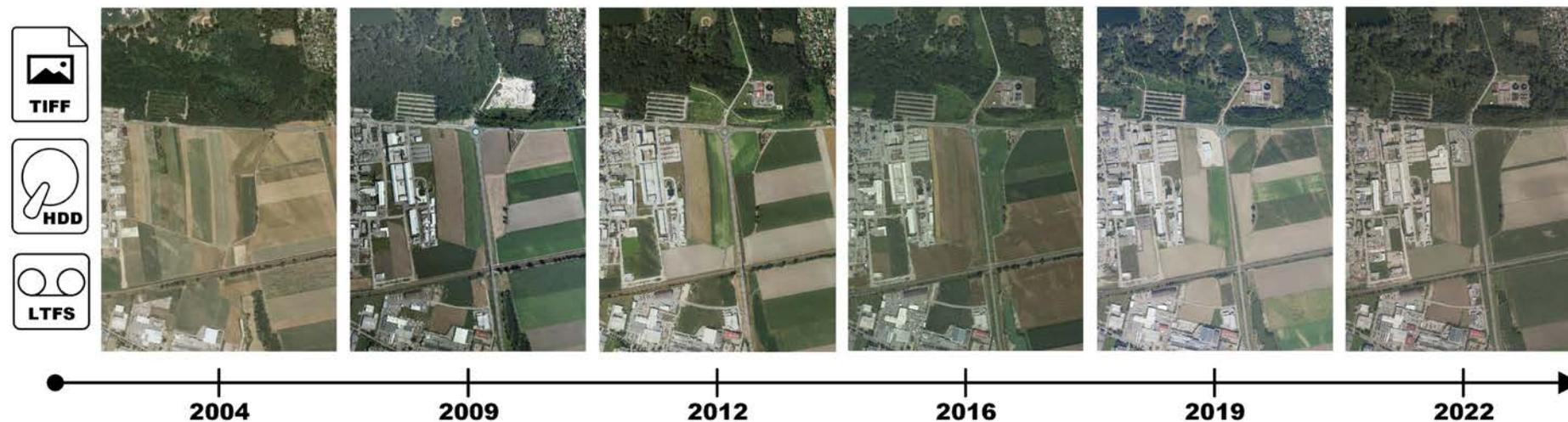
DOM Testeinsätze

- 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

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

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

3-2-1 Regel

3 separate Kopien

2 unterschiedliche
Speichersysteme

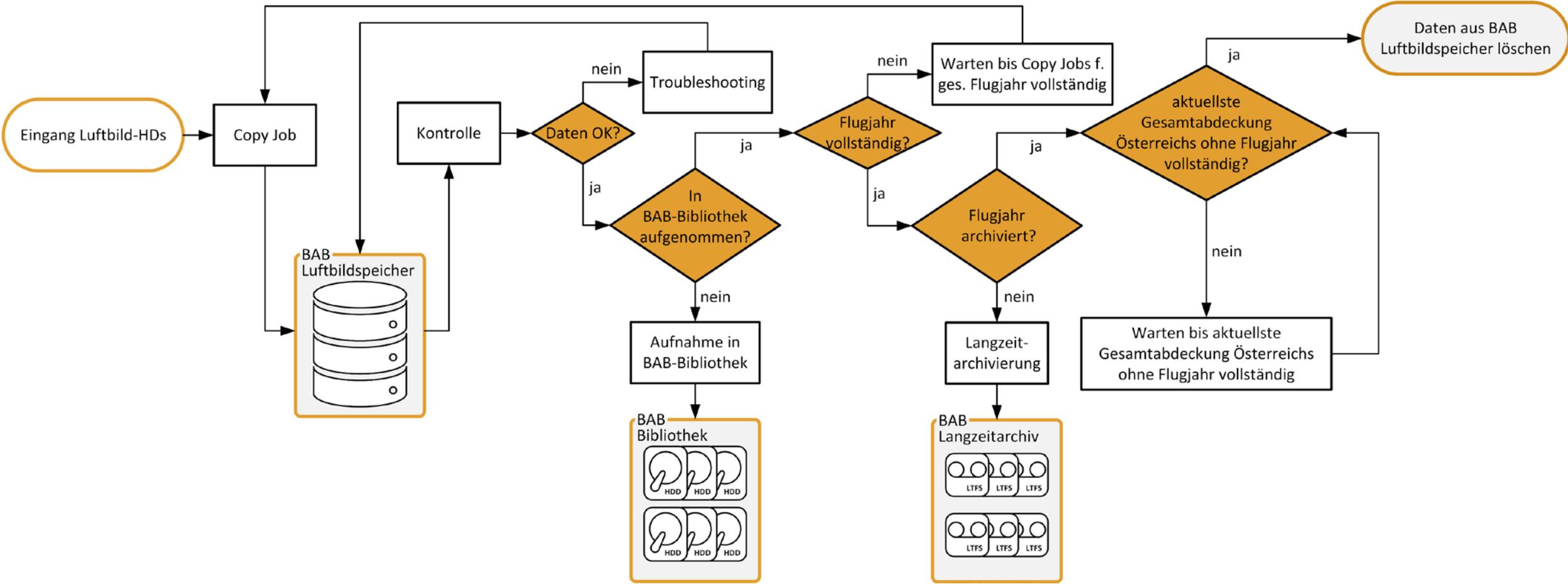
1 Kopie an einem
separaten Standort

- Offline Storage
BAB Bibliothek 
- Offline Storage
BEV / Bundesländer 
- LTFS-Tape-Archiv
BAB Langzeitarchivierung 
- LTFS-Tape-Archiv-
Duplikat 

- Offline Storage 
- LTFS-Tape-Archiv 

- Offline Storage
BEV / Bundesländer 
- LTFS-Tape-Archiv-
Duplikat 
- BMLUK / Staatsarchiv / ...

Prozess



Technische Umsetzung

Luftbild Festplatten



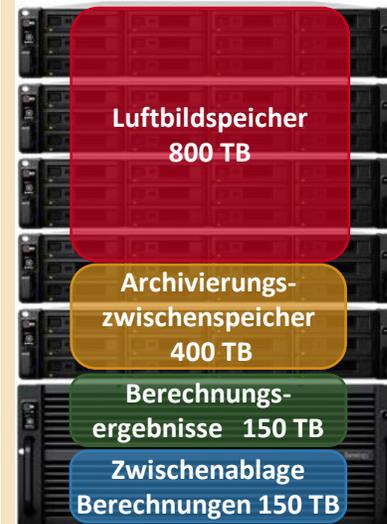
- via BEV (aktuelle Flugjahre) und LFRZ (alte Flugjahre)
- ca. **3 GB** / RGBI TIFF
- ca. **800 MB** / PAN TIFF
- ca. **200 TB** / Flugjahr
- ca. **750 - 800 TB** Österreich komplett + Aufbau akt. Flugjahr
- ca. **4 PB** Luftbilddaten von 1998 – 2027

Kopierstation



- **8-10** Festplatten gleichzeitig
- ca. **200 MB/s** Übertragungsrate pro Festplatte
- Kontrollroutinen

Luftbildspeicher



Network Attached Storage (NAS)

- Speicherplatz **1.5 PB**

Bibliotheksarchiv



Offline Speicher

- Archivierung der Luftbild HDs
- **> 400** externen Festplatten

Langzeitarchivierung



- **2x** LTO-8 Bandlaufwerke
- Bandbibliothek
 - **40** Kassetteneinschübe
- LTO-8 Magnetbänder
 - **10 TB** nutzbare Datenkapazität
 - ca. **20** Bänder / Flugjahr
- Archivierungssoftware Archiware P5
 - **Ohne** Komprimierung
 - LTFS-Format
 - **offener** Standard
 - Software **unabhängig auslesbar**

Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit