

Melanie Elias¹, Maximilian Ulm², Eliisa Lotsari³, Katharina Anders² & Anette Eltner¹

Automatisierte Veränderungsdetektion in 4D-Punktwolken: Überwachung von Uferdynamiken mit kostengünstigen Geosensorsystemen und Photogrammetrie

1 Institut für Photogrammetrie & Fernerkundung, TU Dresden (DE)

2 Department of Aerospace & Geodesy, TUM School of Engineering & Design (DE)

3 Department of Built Environment, Aalto University (FI)

Warum?

- Klimawandel: frühere Flussaufbrüche und geringere Schneedecke in **kalten / subarktischen** Klimazonen
- Klimawandel + Sedimentation = **erhöhtes Hochwasserrisiko**
- verlangt **raumzeitlich hochaufgelöstes** Monitoring zur hydro-morphologischen Modellierung und für ein **besseres Verständnis** der angrenzenden Uferdynamik

Perspective 3D

Perspective 3D



Unterstützung des Hochwasserschutzes
arktischer Fließgewässer

Ziele

- Entwicklung eines **automatisierten passiven Geosensorsystems** auf Grundlage der Stereophotogrammetrie und **kostengünstiger Wildkameras**
- zur Berechnung **georeferenzierter raumzeitlich hochauflöser 3D Punktwolken**
- für die **Erkennung von Veränderungen** bzw. für eine **langfristige 4D Überwachung der Ufererosion**



Studiengebiet – Pulmankijoki (Arola, FI)



Kamerasetup

Wildkameranpezifikationen

4x Burrel EDGE HD Wildkamas

- entwickeltes Design für den Einsatz in kalten Klimaten
- Zeitraffer-Modus
- lange Betriebszeiten mit einer Akkuladung

RGB + NIR:

- Sensor: 1/3" CMOS (4.8 x 3.6 mm)
- Brennweite: 6 mm
- Pixelgröße: 1.19 μm
- Bildgröße: 4032 x 3024 px
- FOV: 58°

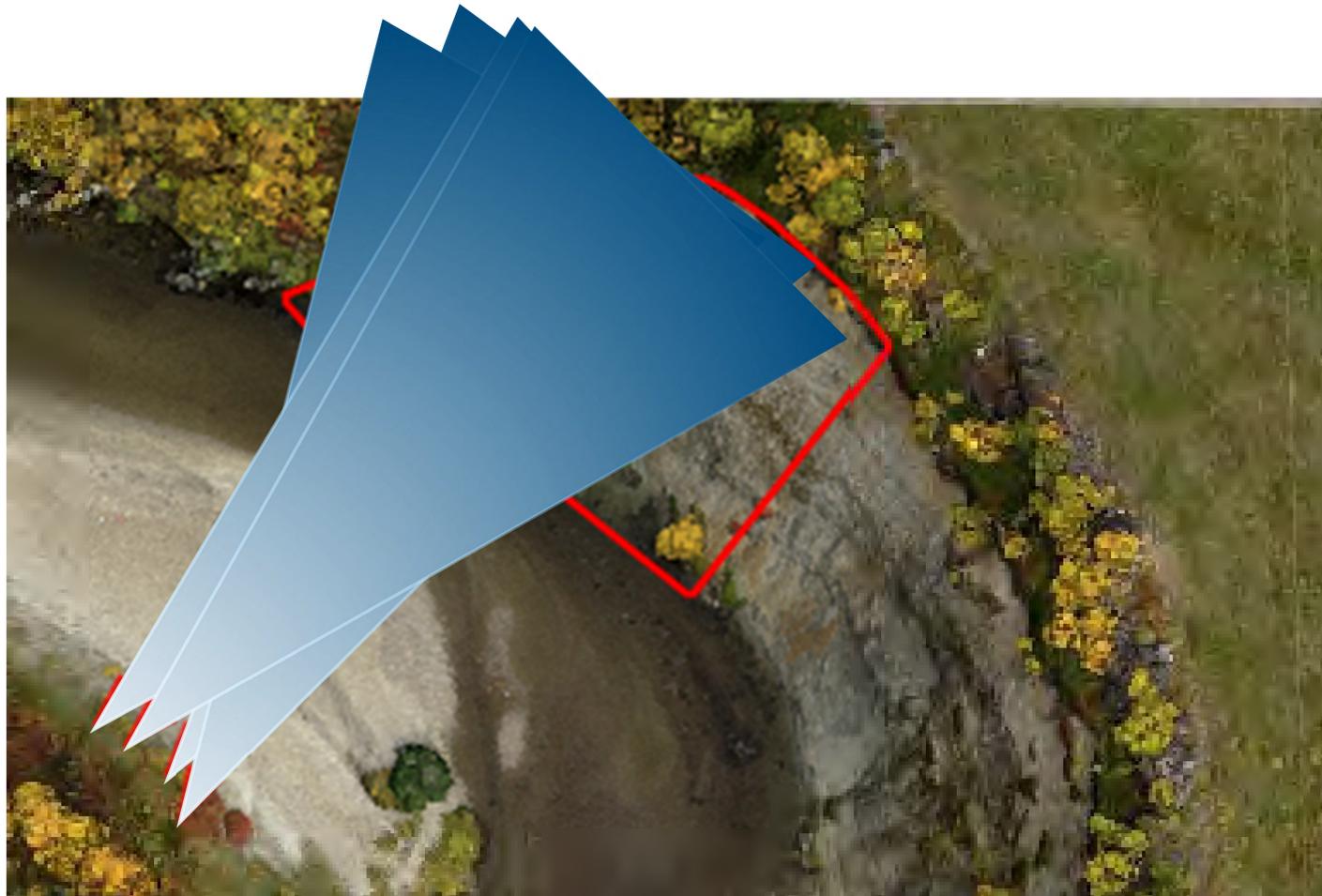


© Alaska Brands Oy, 2021

Kamerasetup

Kameraanordnung

- leicht konvergente (*unauffällige*) Anordnung an Birken (h = ~2 m)
- Distanz Kameras – Uferbank: ± 60 m
- Distanz zwischen Kameras: 4 – 12 m



Kamerasetup

Kameraanordnung



Überlappungsbereiche: 4 / 3 / 2 Kameraaufnahmen

Kamerasetup

Georeferenzierung

6 Vollpasspunkte (PP, vermarkte Einschlaghülssen)

- 3 vor Kameras / 3 auf Uferseite
- Einmessung via RTK-GNSS
- CRS: WGS84 / UTM 35N (EPSG: 32635)

Bildmessung:

- bis 2024: semi-automatische Bildmessung der PP
- ab 2024: **KI-gestützter Ansatz** zur vollautomatischen Bildmessung



PP #	Acc XY / Z (cm)	
T01	0.8	1.4
T02	1.7	3.6
T03*	1.8	3.1
T04	1.3	2.9
T05	1.7	2.8
T06	1.4	2.4
Ø	1.45	2.70

*T03 zeitweise
schneebedeckt

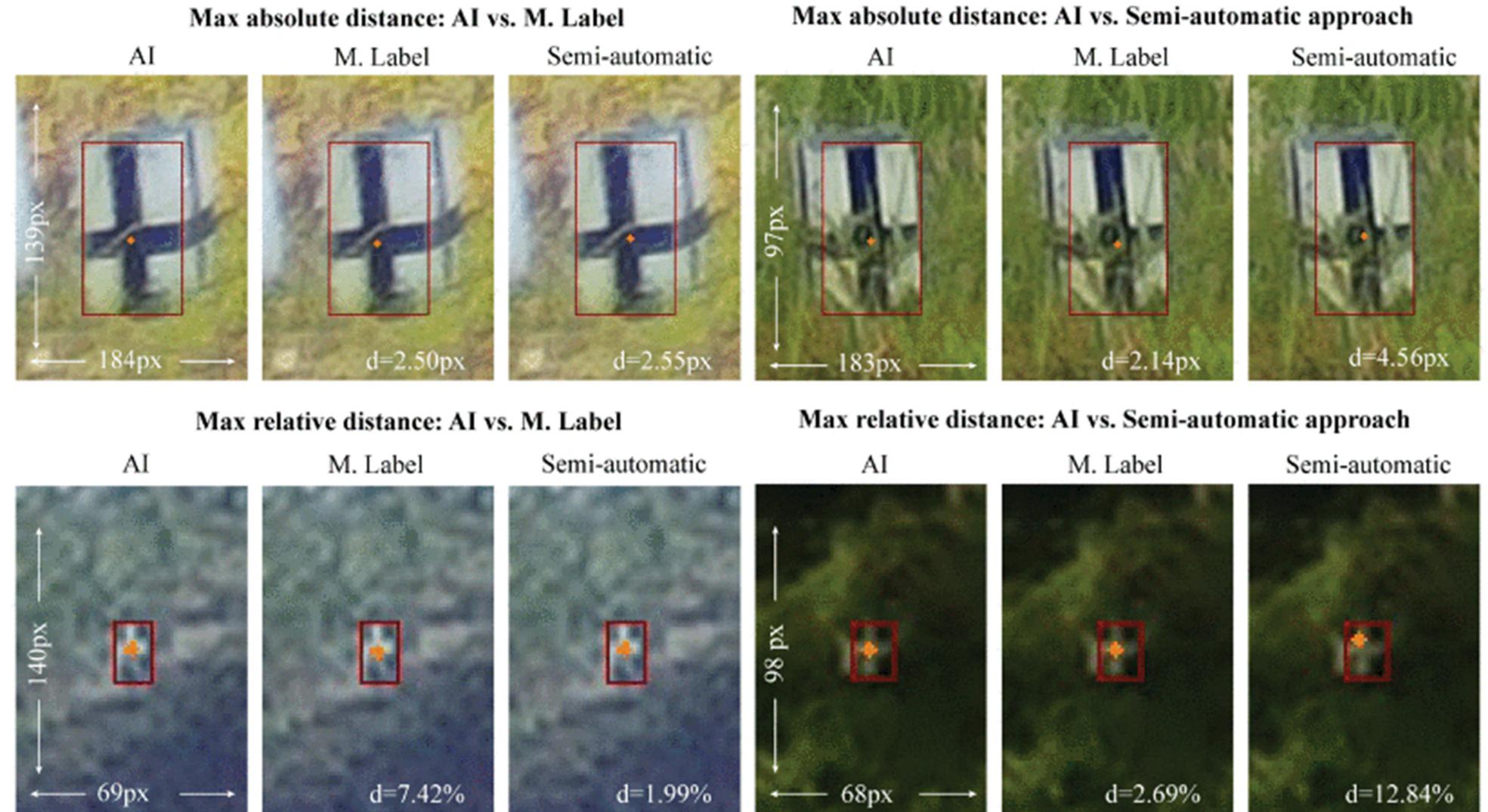


Kamerasetup

Exkurs: KI-gestützte PP-Messung



IEEE TGRS - Blanch et al., 2025



Datasets	AI vs. M. Label			AI vs. Semi-automatic		
	X Med.	Y Med.	Eucli. D. Med.	X Med.	Y Med.	Eucli. D. Med.
Pulmankijoki	0.43 px.	0.71 px.	0.96 px.	0.79 px.	0.96 px.	1.37 px.

Kamerasetup

Konfiguration

- Aufnahmestart: 19.09.2020 – on-going
- Synchronisierte Kameras im Zeitraffermodus (2-Stunden-Intervalle)

Ausschluss von RGB-Aufnahmen bei

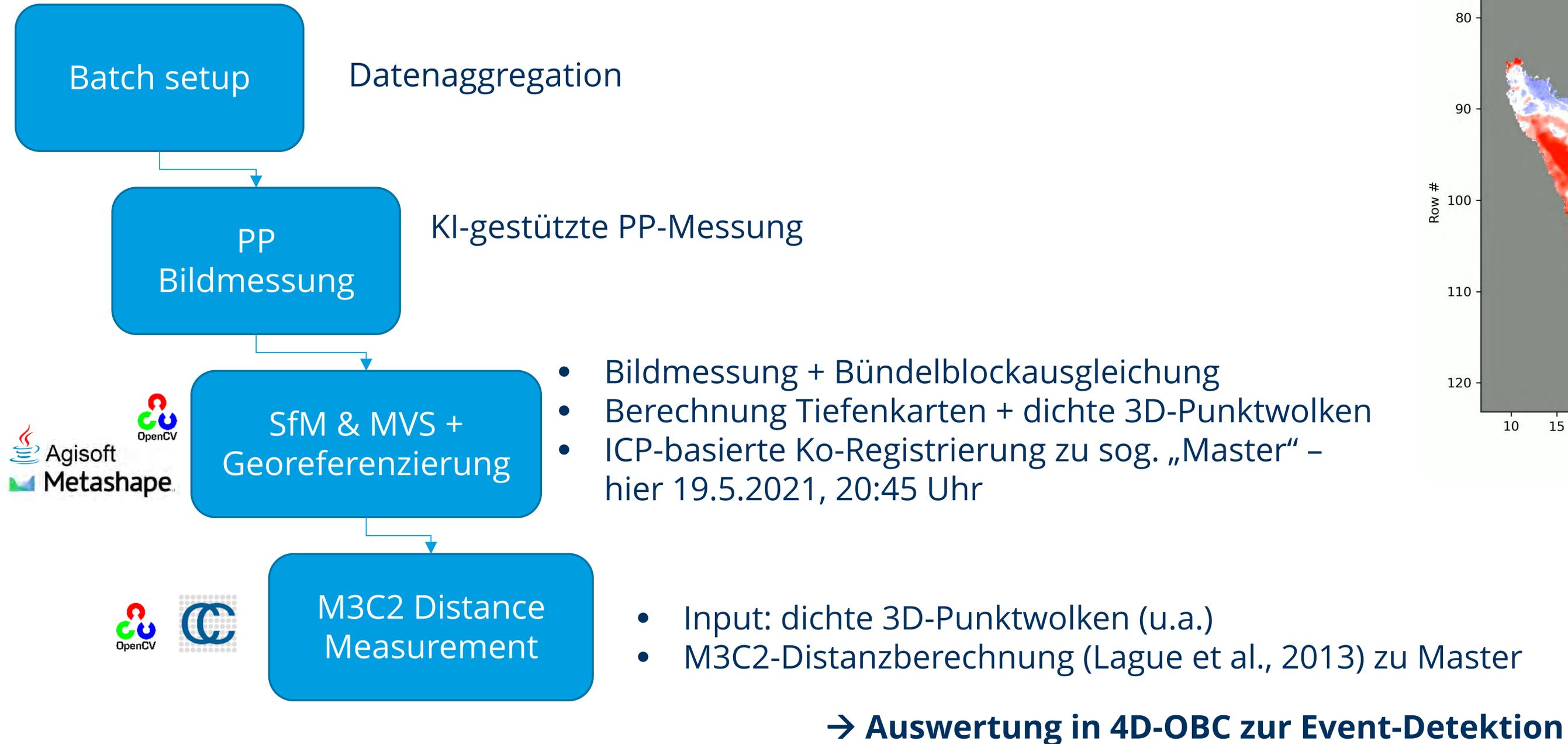
- ungünstigen Licht- / Wetterverhältnissen
 - vollständig schneebedecktem Hang
- + sowie NIR-Aufnahmen

Beobachtungszeitraum für
Methodenentwicklung: **18.04.2021 – 21.10.2021**
= **910** 3D-Punktwolken

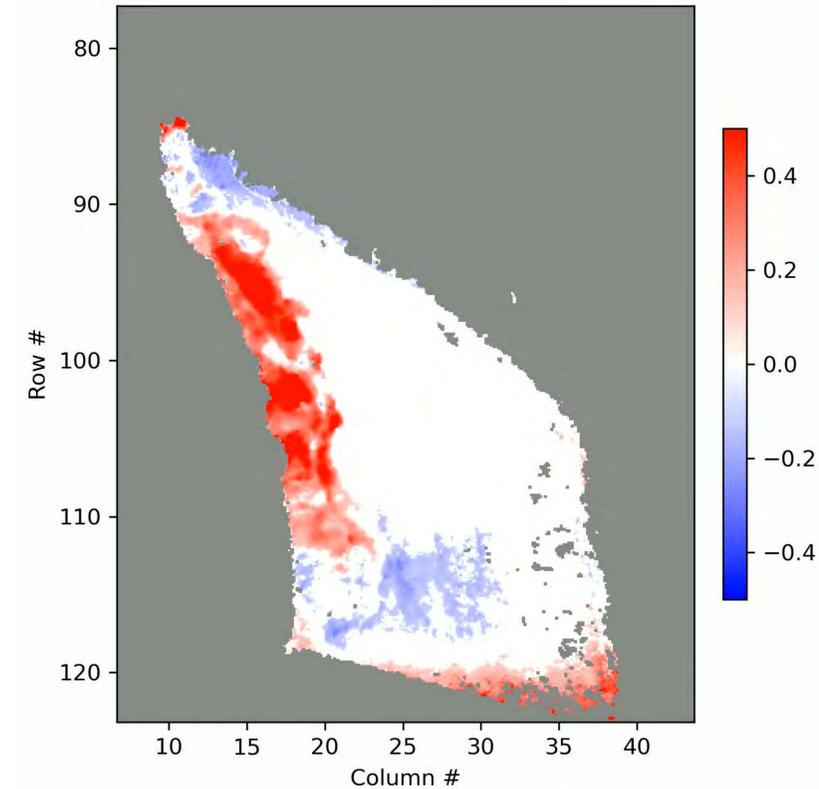


Workflow

3D Punktwolkenberechnung via SfM → Grundlage für 4D-OBC



M3C2 distance: 2021-04-18, 14:45



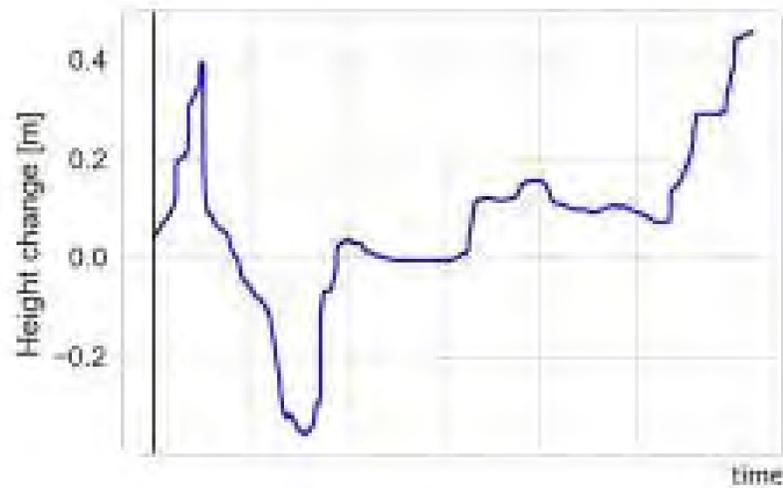
4D-OBC Erweiterung

zur Prozessierung von low-cost Punktwolken

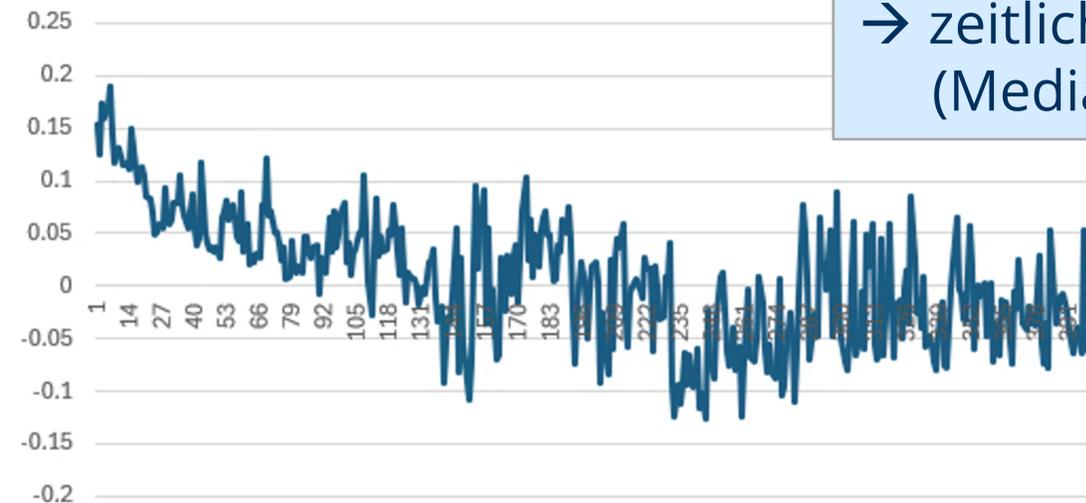
- entwickelt zur Erkennung **räumlich-zeitliche Veränderungsmuster** in Oberflächen aus TLS-Daten
 - Identifikation von Oberflächenbereichen, die sich in definierten Zeitfenstern ähnlich verhalten
- **Übertragbarkeit auf verrauschte Punktwolken aus low-cost Kameras?**

Problem:

- automatische Extraktion führt häufig zur Übersegmentierung (mehrere Ereignisse erkannt für ein Ereignis)
- Lösung durch **Zeitreihenglättung + Fusion** übersegmentierter Ereignisse!

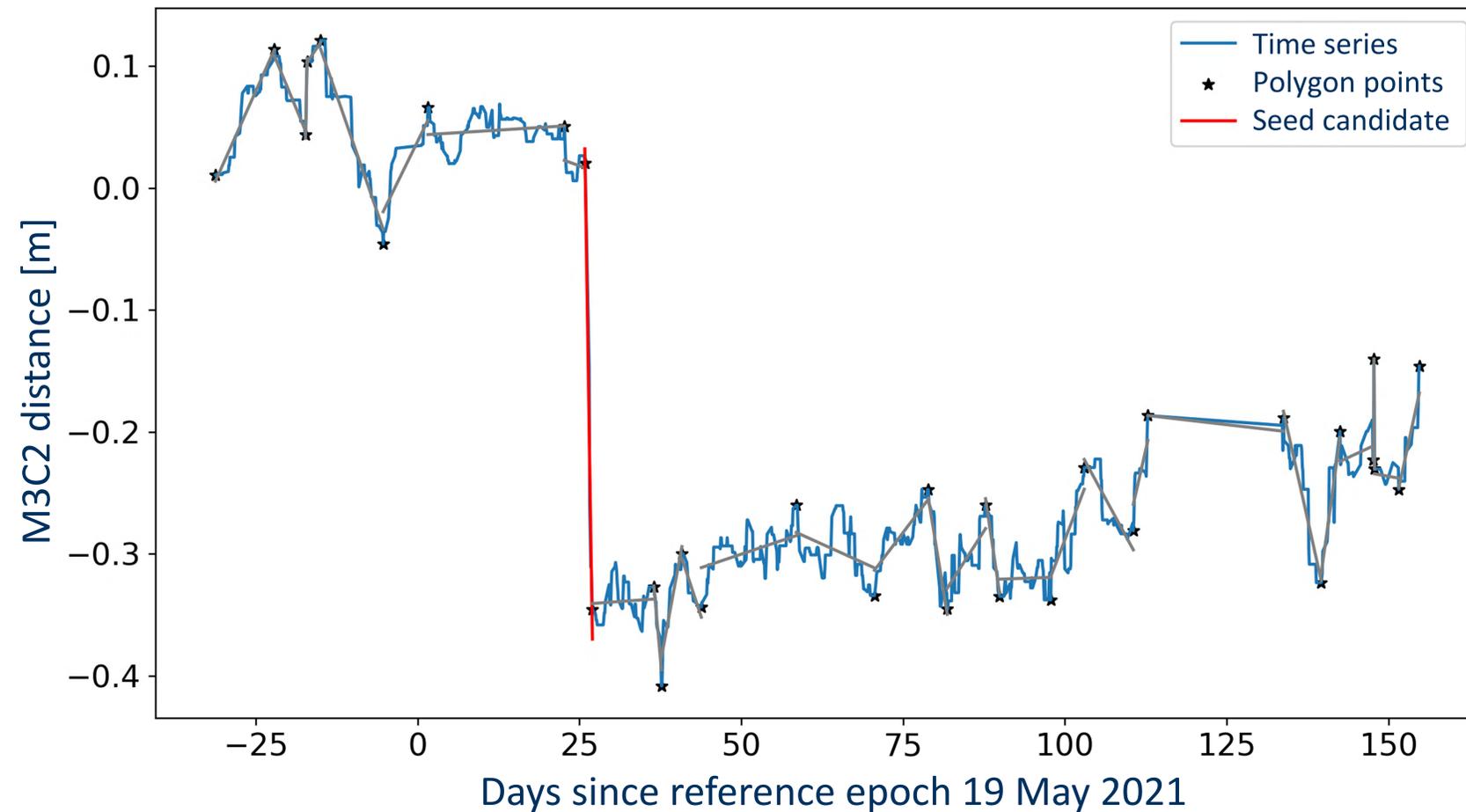


Profil aus TLS-Daten (Anders et al., 2020)

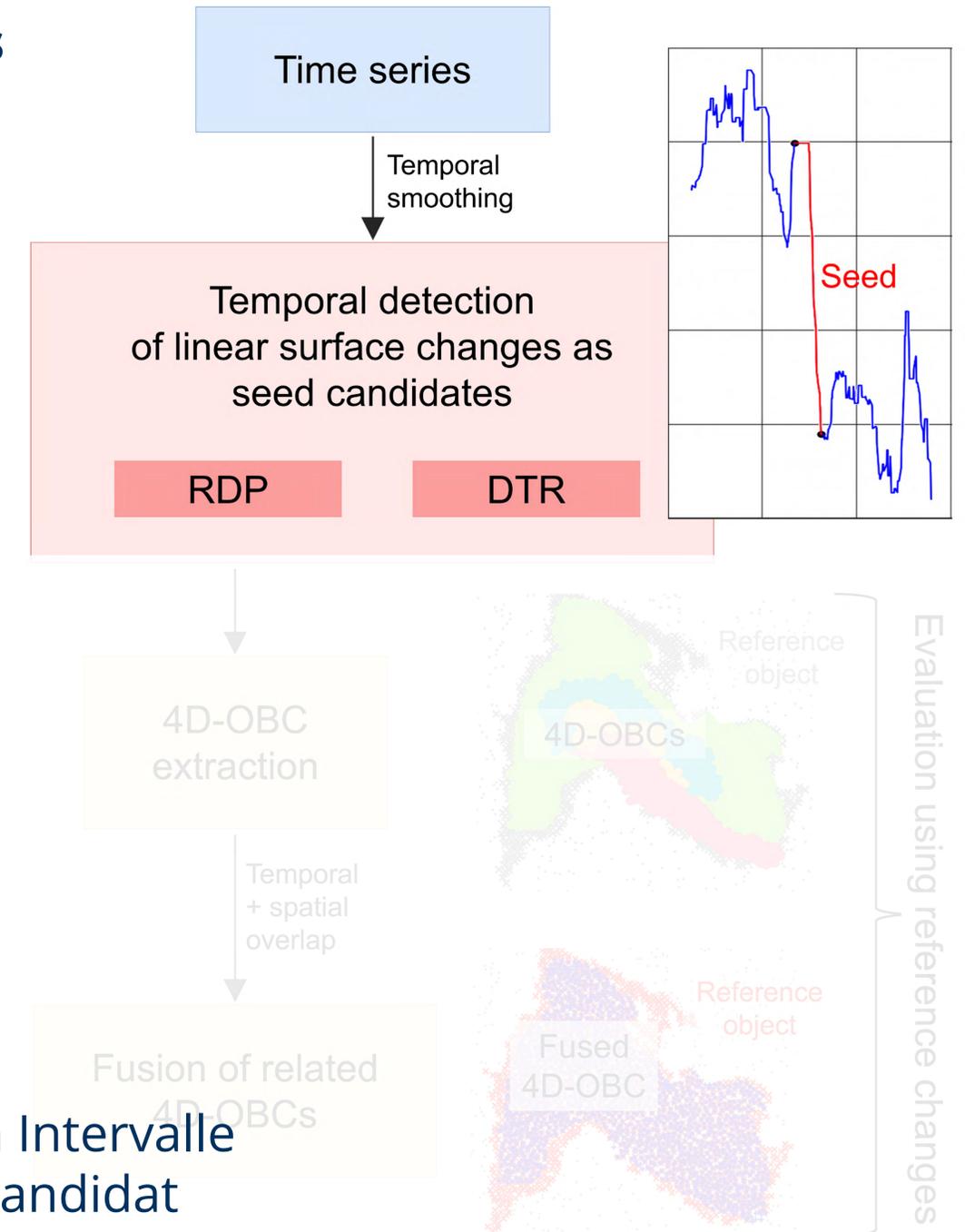


Workflow

Seedpoint-Extraktion mittels Ramer-Douglas-Peucker Algorithmus



- Polyline-Fit in Zeitreihe, $\epsilon = 4.8 \text{ cm}$ \rightarrow Polyline unterteilt Zeitreihe in Intervalle
- Lineare Regression für jedes Intervall, Amplitude $> 20 \text{ cm}$ \rightarrow Seed-Kandidat



Workflow

4D-OBC

Übersegmentierung durch festdefinierte 4D-OBCs

- unkorrelierter Rauschanteil
- Folge: mehrere Teilsegmente für eine reale Veränderung

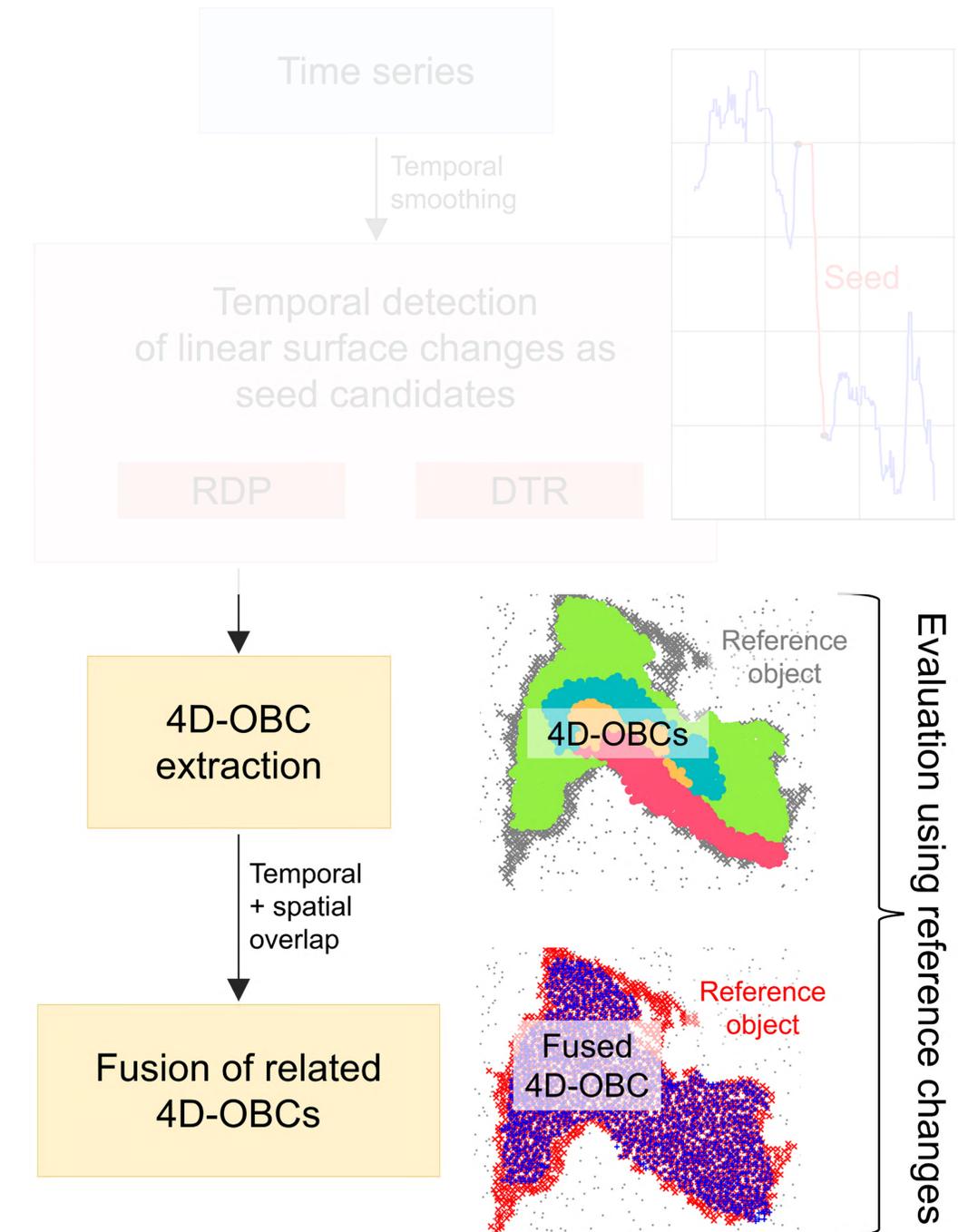
→ **Fusion raumzeitlich verwandter 4D-OBC**

Kriterien:

- **Gleiche Vorzeichen** der Veränderung (positiv/negativ)
- Mindestmaß an **zeitlicher Überlappung**
- Mindestmaß an **räumlicher Überlappung**

Optimiert die Übersegmentierung:

→ Halbierung der extrahierten Objekte

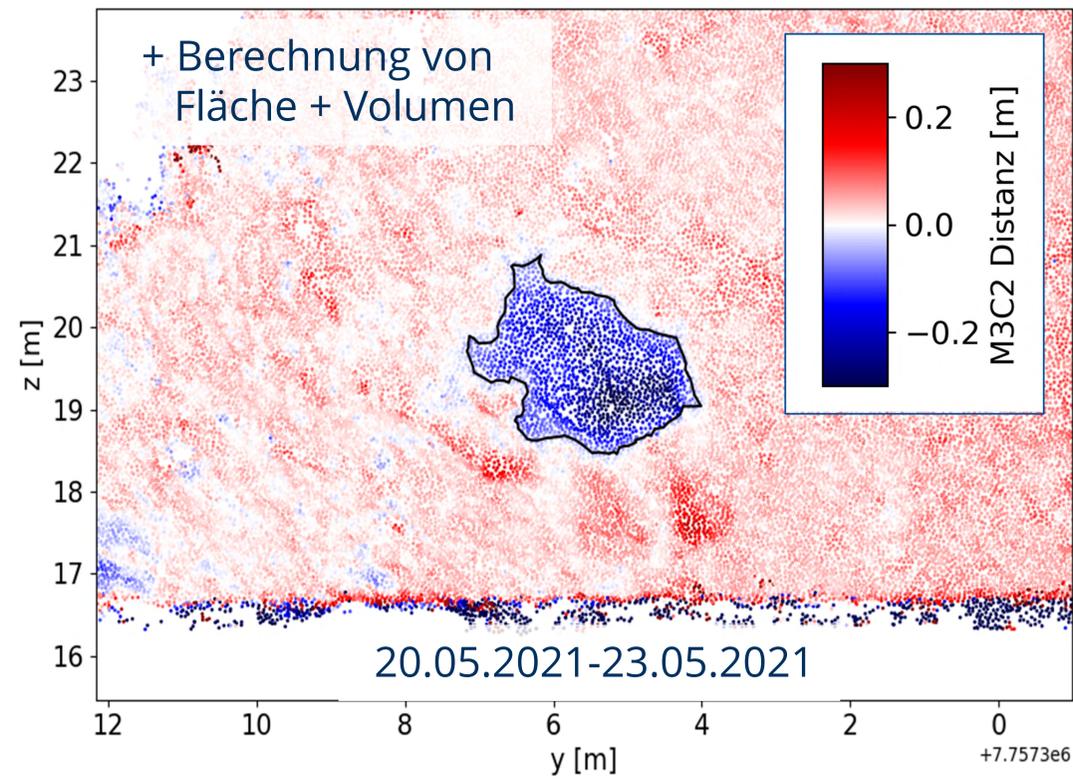
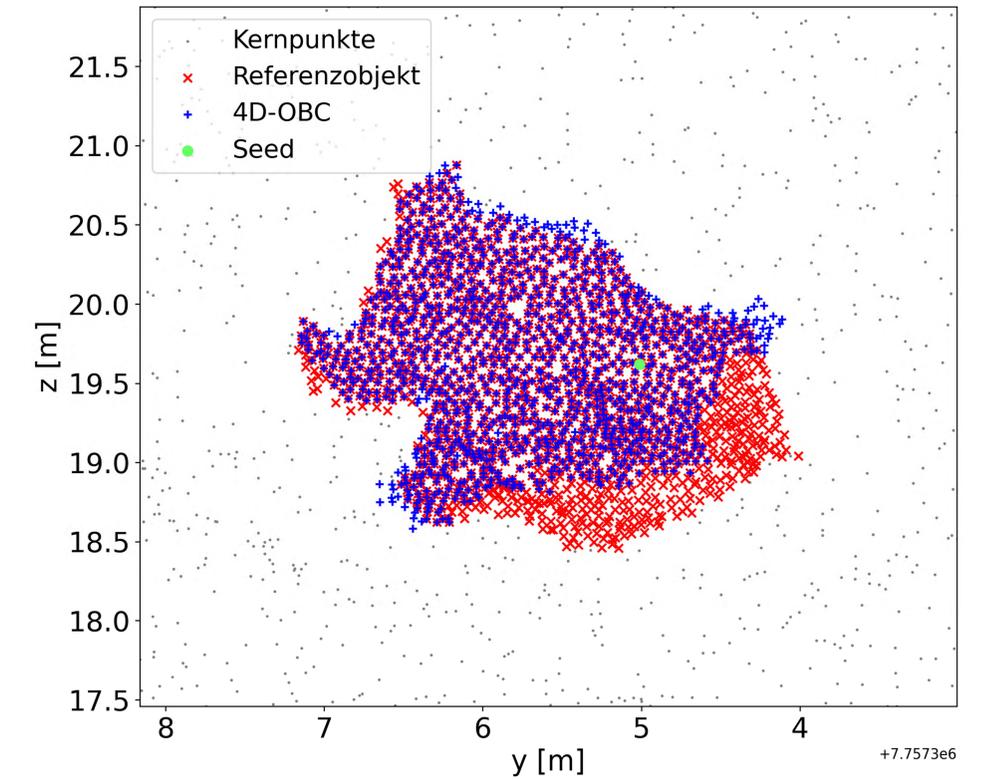


Evaluierung

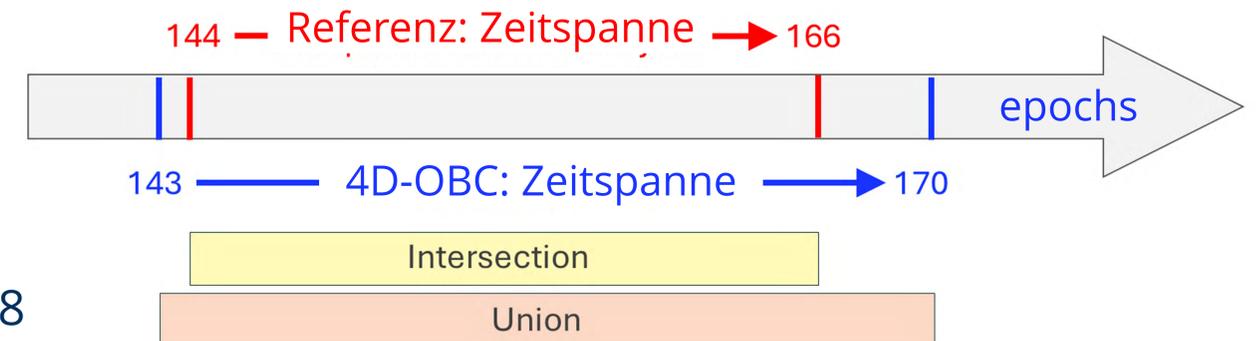
4D-OBC – an einem Beispierevent

Extraktion von **22 Änderungen als Referenz** zur Bewertung der Qualität der raumzeitlichen Segmentierung

- **Zeitliches Ausmaß:** manuelle Selektion Start- / Endpunkt einer Epoche
- **Räumliches Ausmaß:** Gruppe von Kernpunkten, M3C2-Abstände > LoD (20 cm)

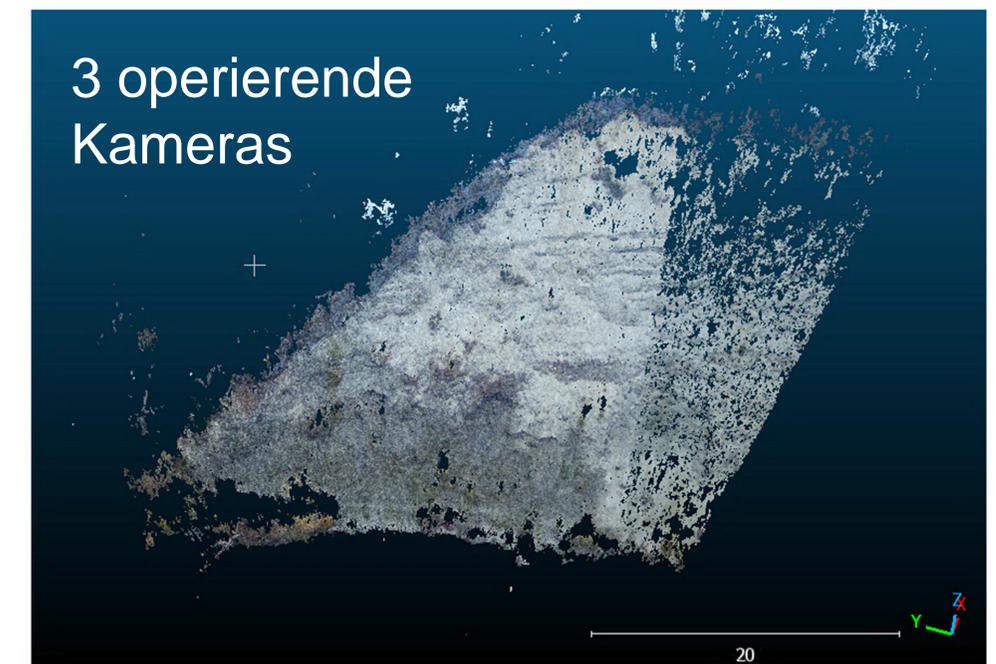
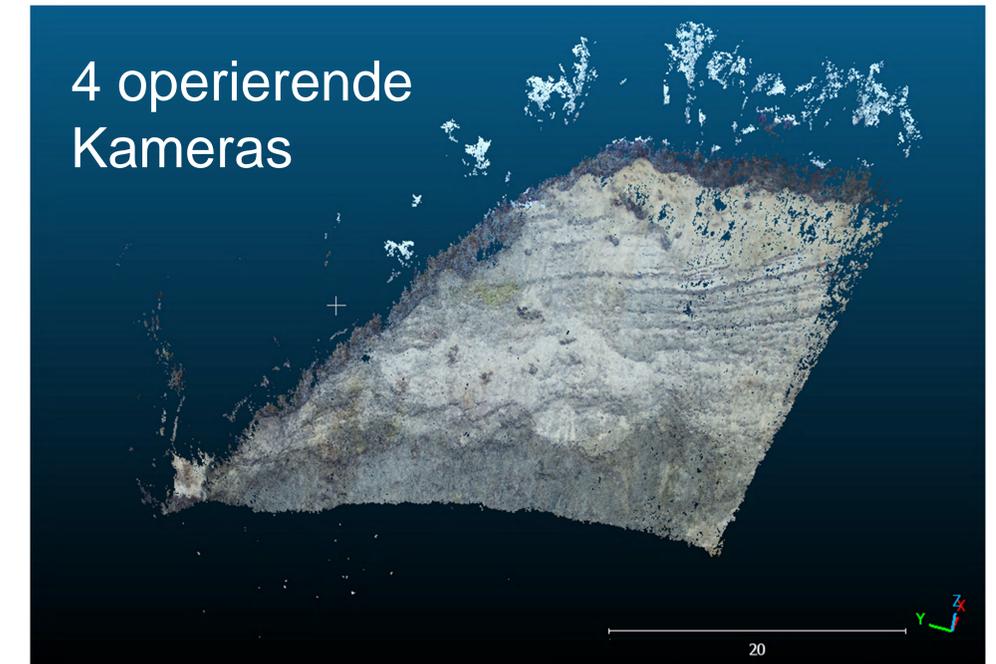
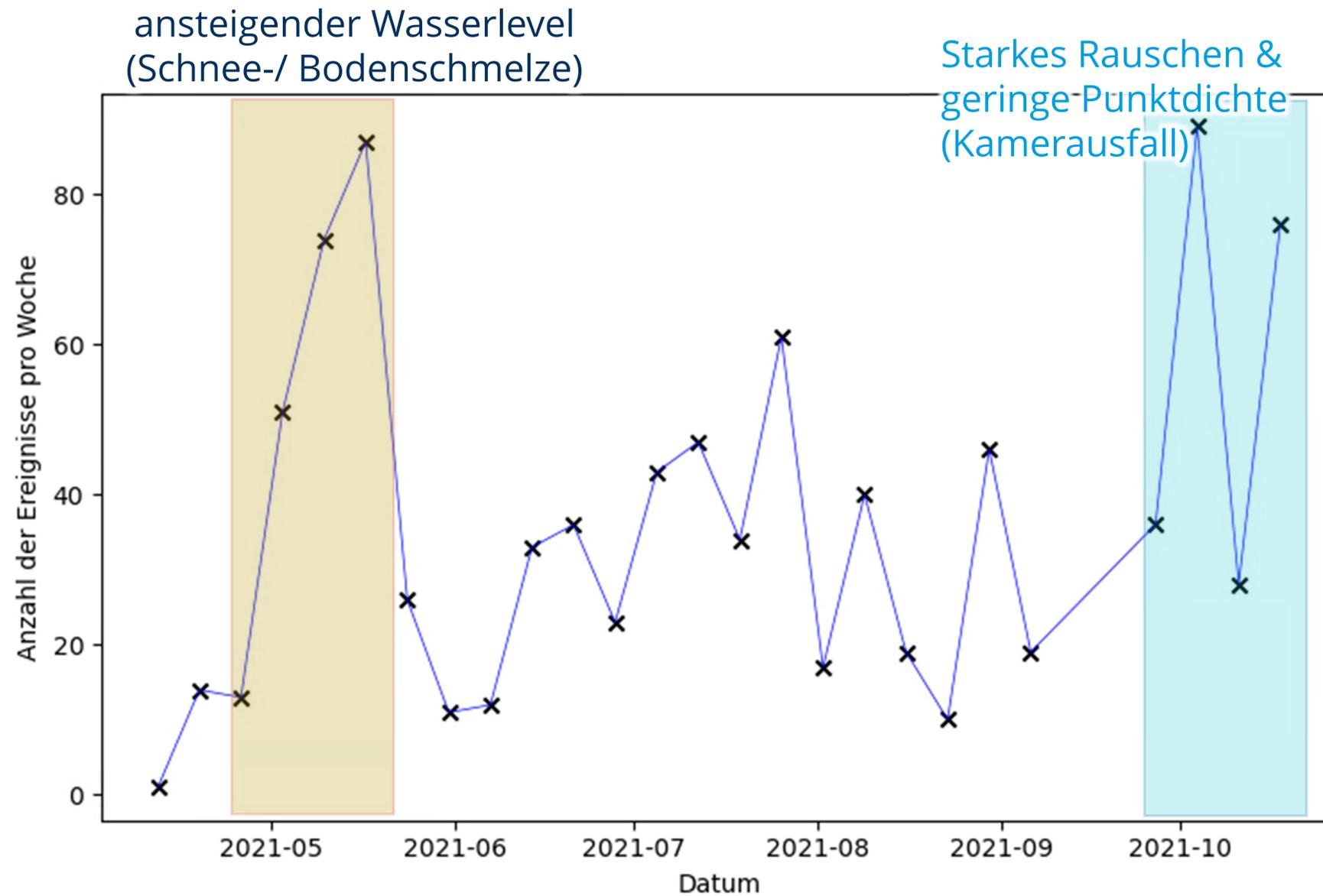


Zeitl. IoU = 0.82
 räuml. IoU = 0.73
 Flächen ratio = 0.82
 Volumen ratio = 0.98



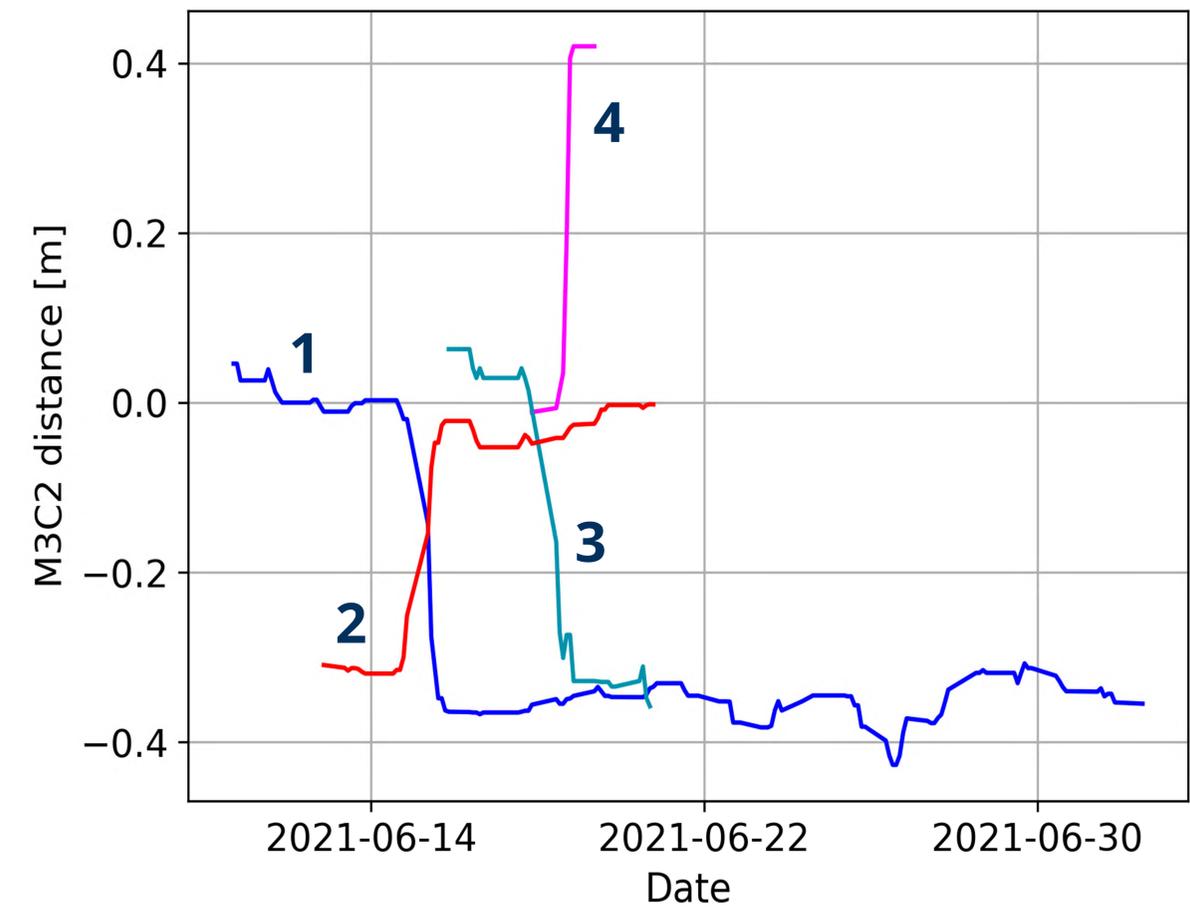
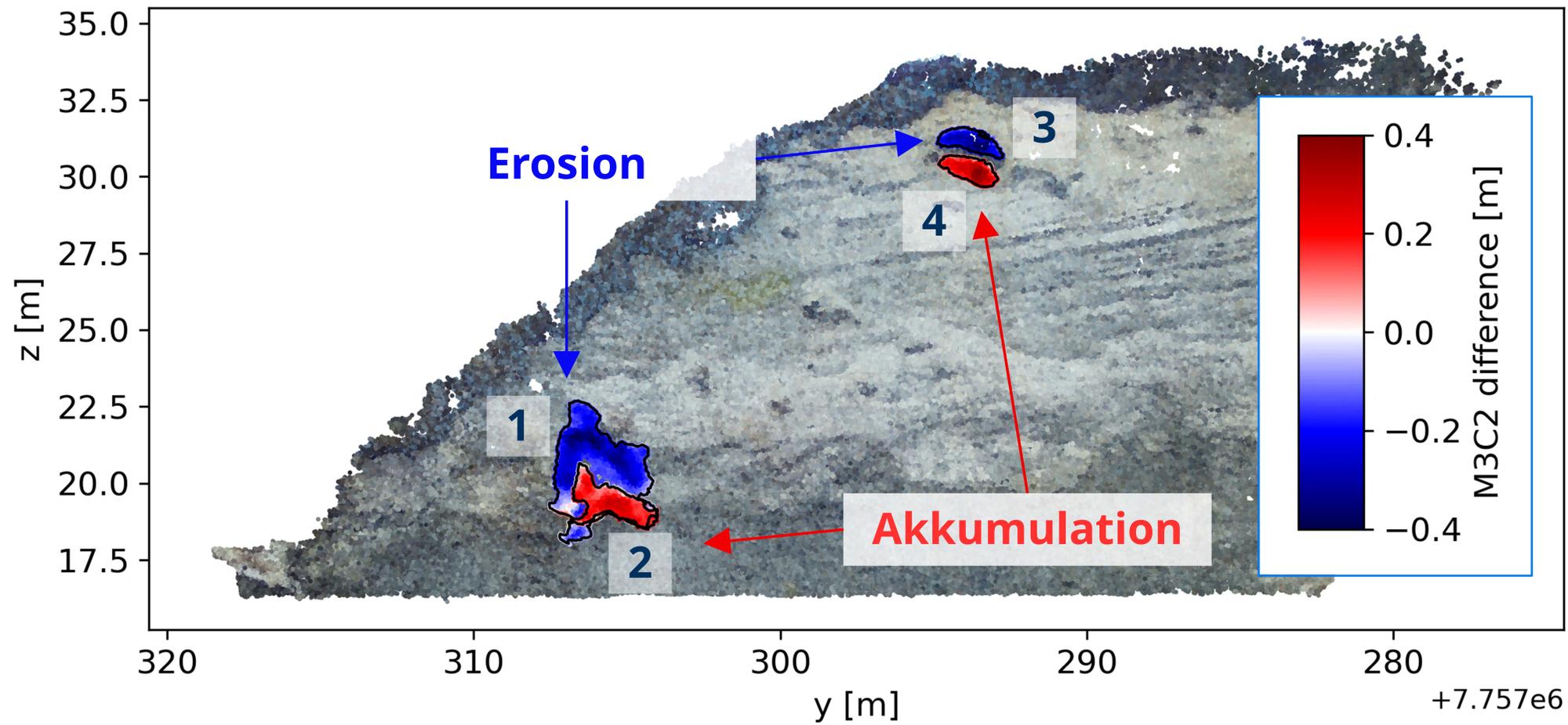
Geomorphologische Aktivitäten

Zeitreihe 2021



Geomorphologische Aktivitäten

Exemplarische Erosions-/Akkumulationsevents



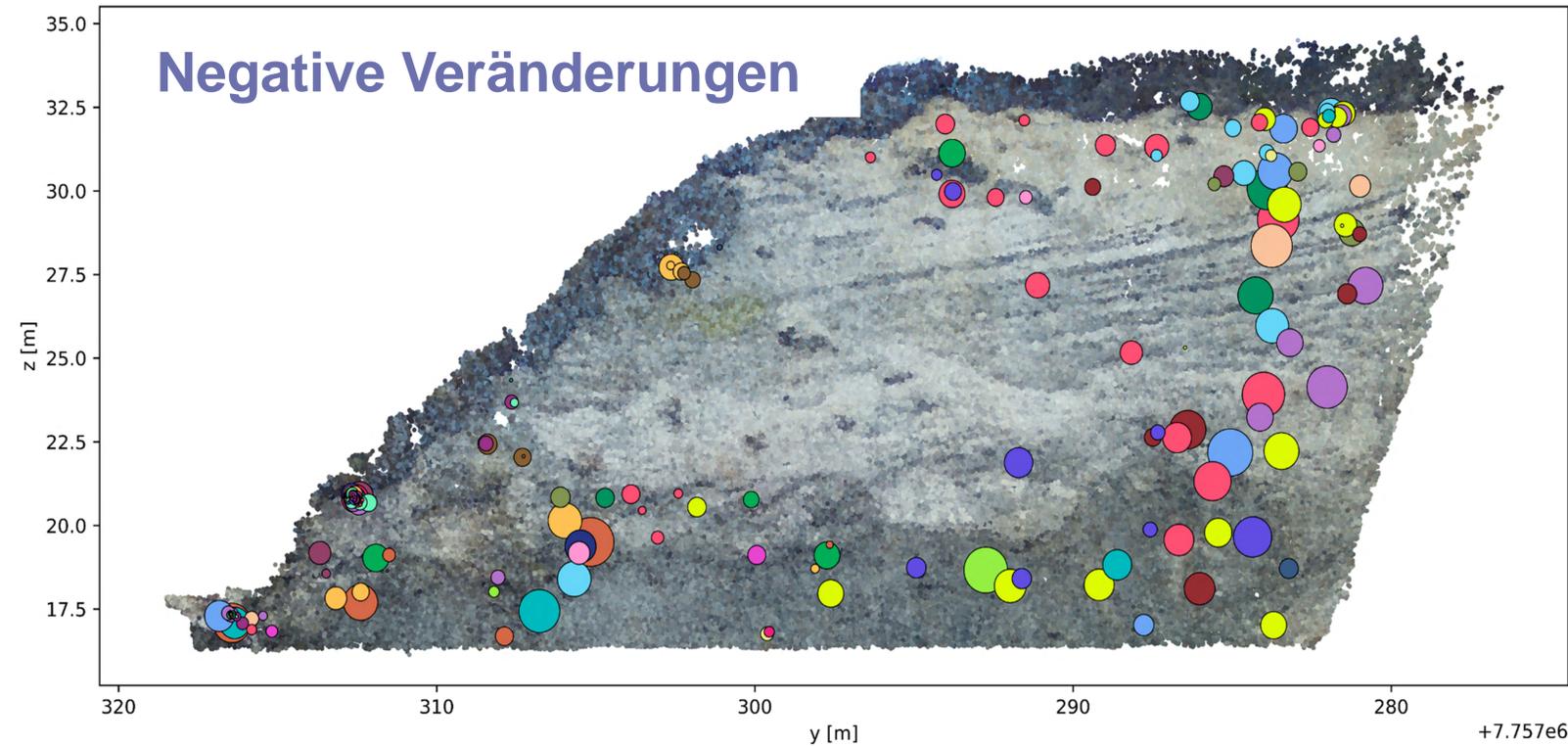
Geomorphologische Aktivitäten

Zeitreihe 2021 - Ergebnisse der 4D-OBC-Fusion

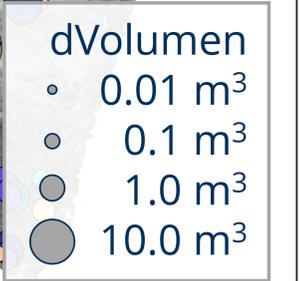
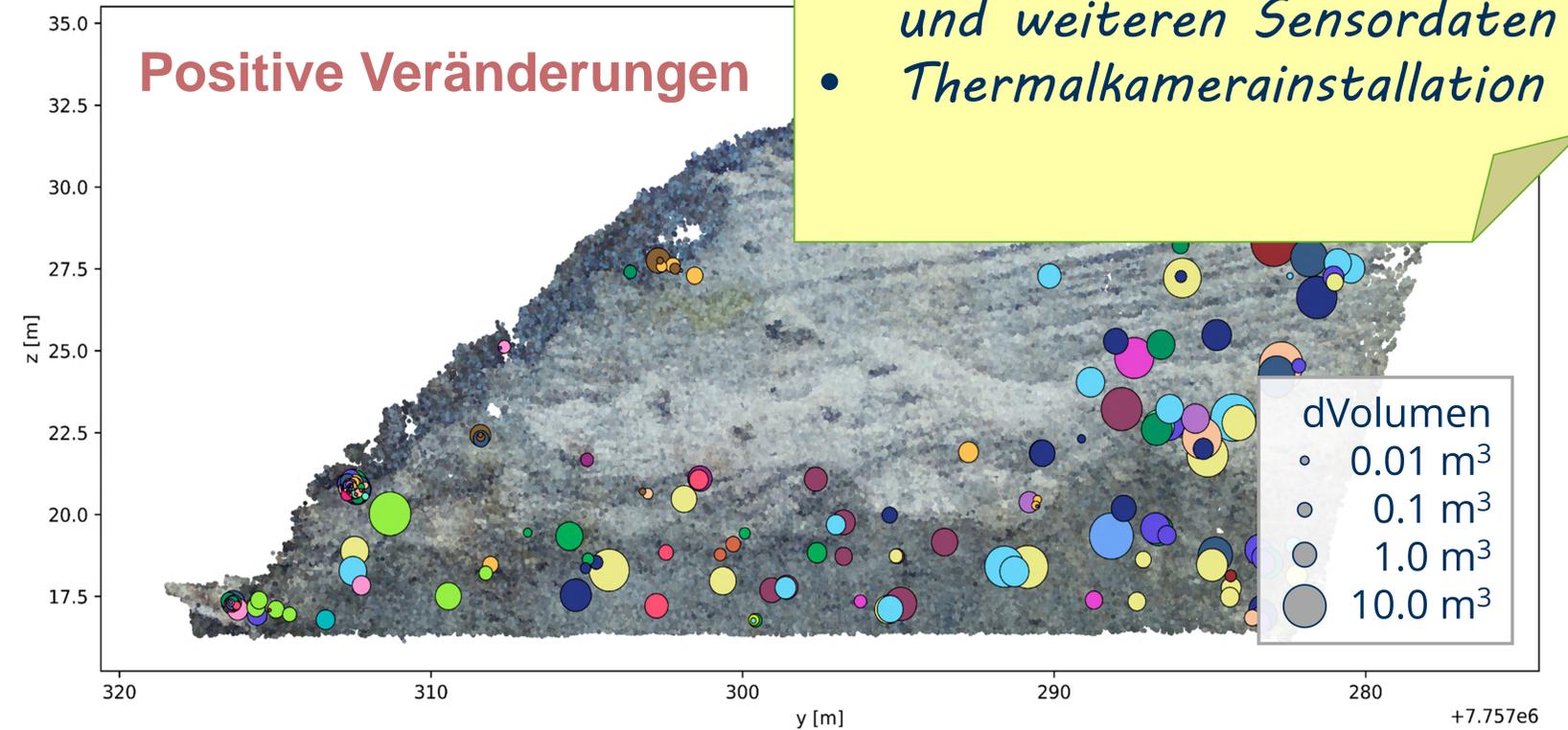
Next Steps:

- SfM-Pipeline: Open Source
- Tiefere Betrachtung des Fehlerhaushalts
- Korrelation von Events und weiteren Sensordaten
- Thermalkamerainstallation

Negative Veränderungen



Positive Veränderungen



● 19.04.2021 - 25.04.2021	● 07.06.2021 - 13.06.2021	● 26.07.2021 - 01.08.2021	● 27.09.2021 - 03.10.2021
● 26.04.2021 - 02.05.2021	● 14.06.2021 - 20.06.2021	● 02.08.2021 - 08.08.2021	● 04.10.2021 - 10.10.2021
● 03.05.2021 - 09.05.2021	● 21.06.2021 - 27.06.2021	● 09.08.2021 - 15.08.2021	● 11.10.2021 - 17.10.2021
● 10.05.2021 - 16.05.2021	● 28.06.2021 - 04.07.2021	● 16.08.2021 - 22.08.2021	● 18.10.2021 - 24.10.2021
● 17.05.2021 - 23.05.2021	● 05.07.2021 - 11.07.2021	● 23.08.2021 - 29.08.2021	
● 24.05.2021 - 30.05.2021	● 12.07.2021 - 18.07.2021	● 30.08.2021 - 05.09.2021	
● 31.05.2021 - 06.06.2021	● 19.07.2021 - 25.07.2021	● 06.09.2021 - 12.09.2021	

**SPRINGER
NATURE** - Fachartikel (OA!)

Bleiben wir in Kontakt! 



Dr.-Ing. Melanie Elias
melanie.elias@tu-dresden.de