

An aerial photograph of a coastal cliffside. A white drone with a camera is flying over the water on the left. The cliffside is sandy and eroded, with a dense forest of green trees on top. In the background, a red building complex is visible on the cliffside. The sky is clear and blue.

Steilküsten-Monitoring an der Ostsee durch UAV-Photogrammetrie

Thomas P. Kersten, Klaus Mechelke & Maren Lindstaedt



Agenda

- Einführung
- Das Brodtener Steilufer
- Projektvorstellung
- UAV-Photogrammetrie
- Auswertung & Ergebnisse
- Fazit & Ausblick



1. Einführung

■ Die Situation

Startseite > Welt

Nur noch vier Meter bis zum Abgrund: Haus an der Ostsee steht kurz vor dem Abriss

25.02.2024, 04:51 Uhr

Von: [Marcus Giebel](#)

🗨️ Kommentare

🖨️ Drucken



Haus am Meer: Die Tage des Gebäudes sind nach einem erneuten Kantenabbruch an der Steilküste gezählt. © Marcus Brandt/ dpa

Steilküsten in Schleswig-Holstein brechen stetig weiter ab

Stand: 08.02.2024 16:28 Uhr



Der nasse und frostige Januar hat dafür gesorgt, dass an vielen Steilküsten in Schleswig-Holstein große Teile weggebrochen sind. Vor allem das Brodtener Ufer in Travemünde hat es wieder erwischt. Doch in dem Naturschutzgebiet wird dem bewusst nicht entgegengewirkt.

von Phillip Kamke

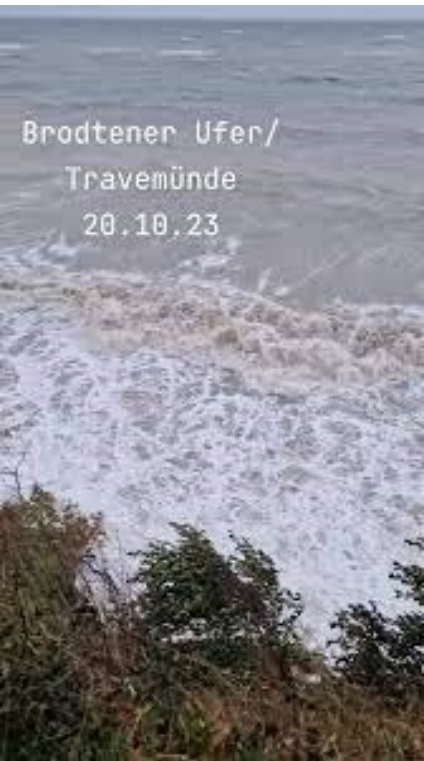
3 Min



1. Einführung

■ Ursachen der Erosion an der Steilküste

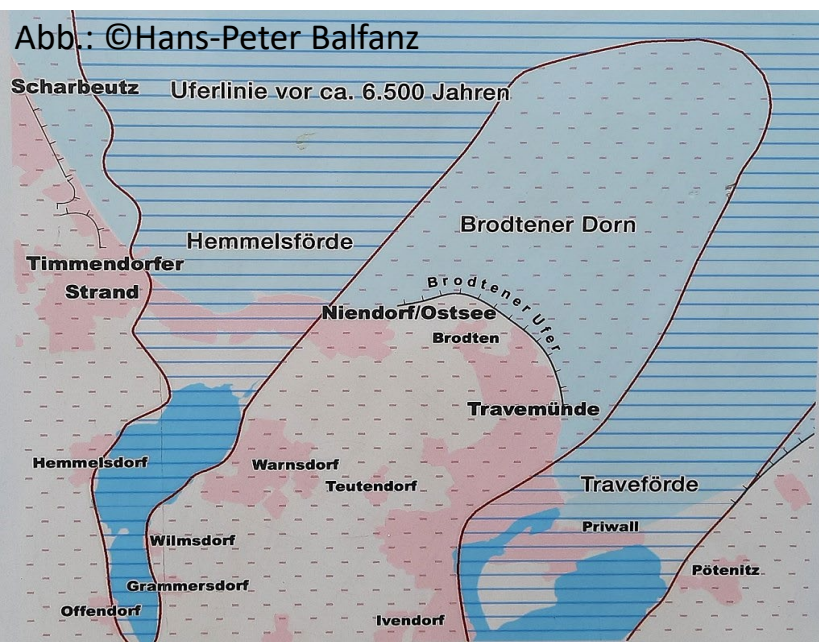
- Seeseite – Stürme und Sturmfluten
- Landseite – Wasser durch heftige Regenfälle
- Steilufer – Bruthöhlen der Uferschwalben





2. Das Brodtener Steilufer

- 4 km lange Steilküste von Travemünde bis Niendorf
- bis zu 20 m hohe Steilküste
- Jährlicher Landverlust zwischen 50 und 100 cm
- Brodtener Dorn nach der Eiszeit und Abtrag seit ca. 6500 Jahren

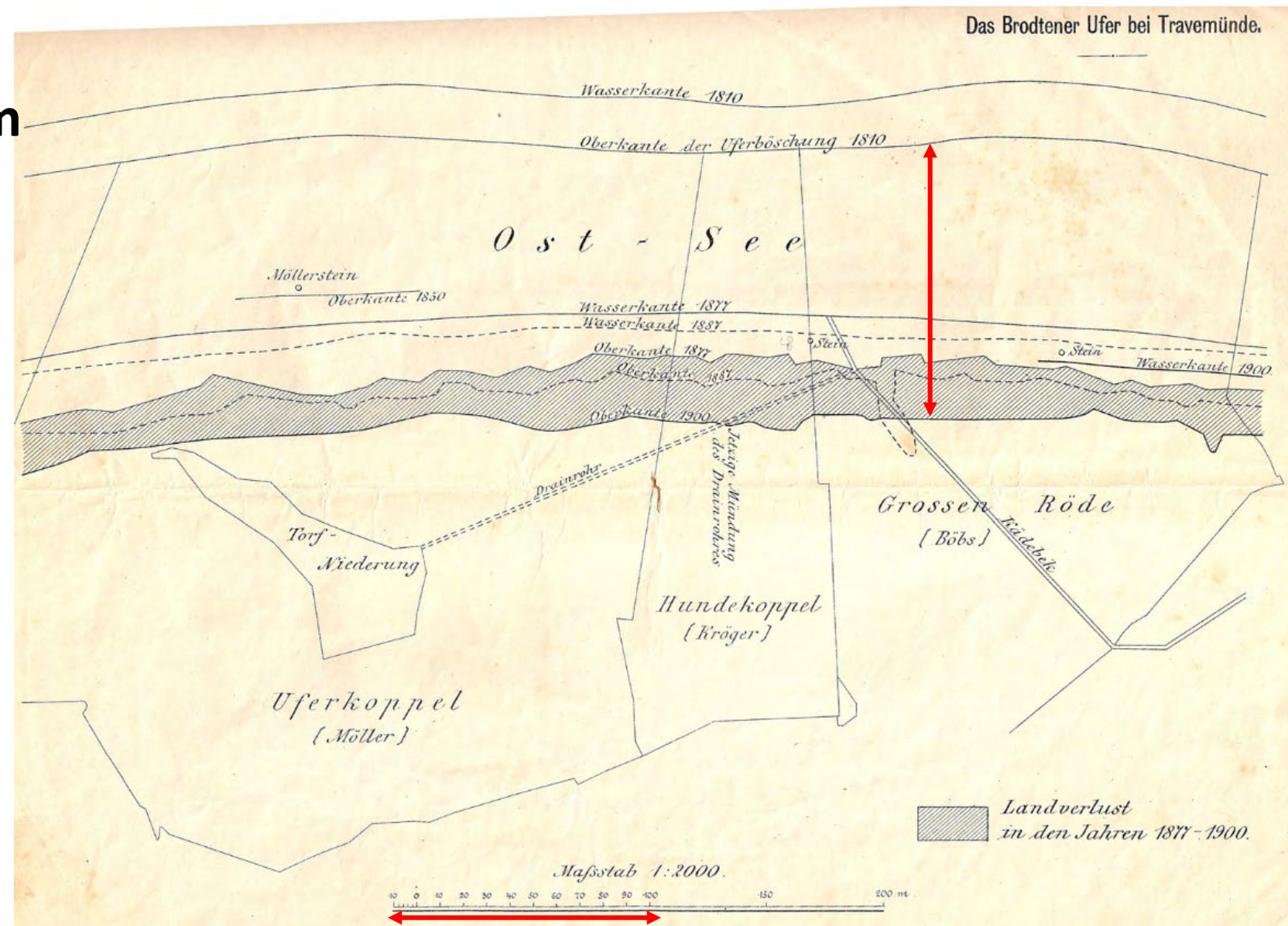




2. Das Brodtener Steilufer

- Die Historie –
Landverlust ca. 100m
von 1810 bis 1900

Das Brodtener Ufer bei Travemünde.





2. Das Brodtener Steilufer

■ Café Hermannshöhe

Mai 2006

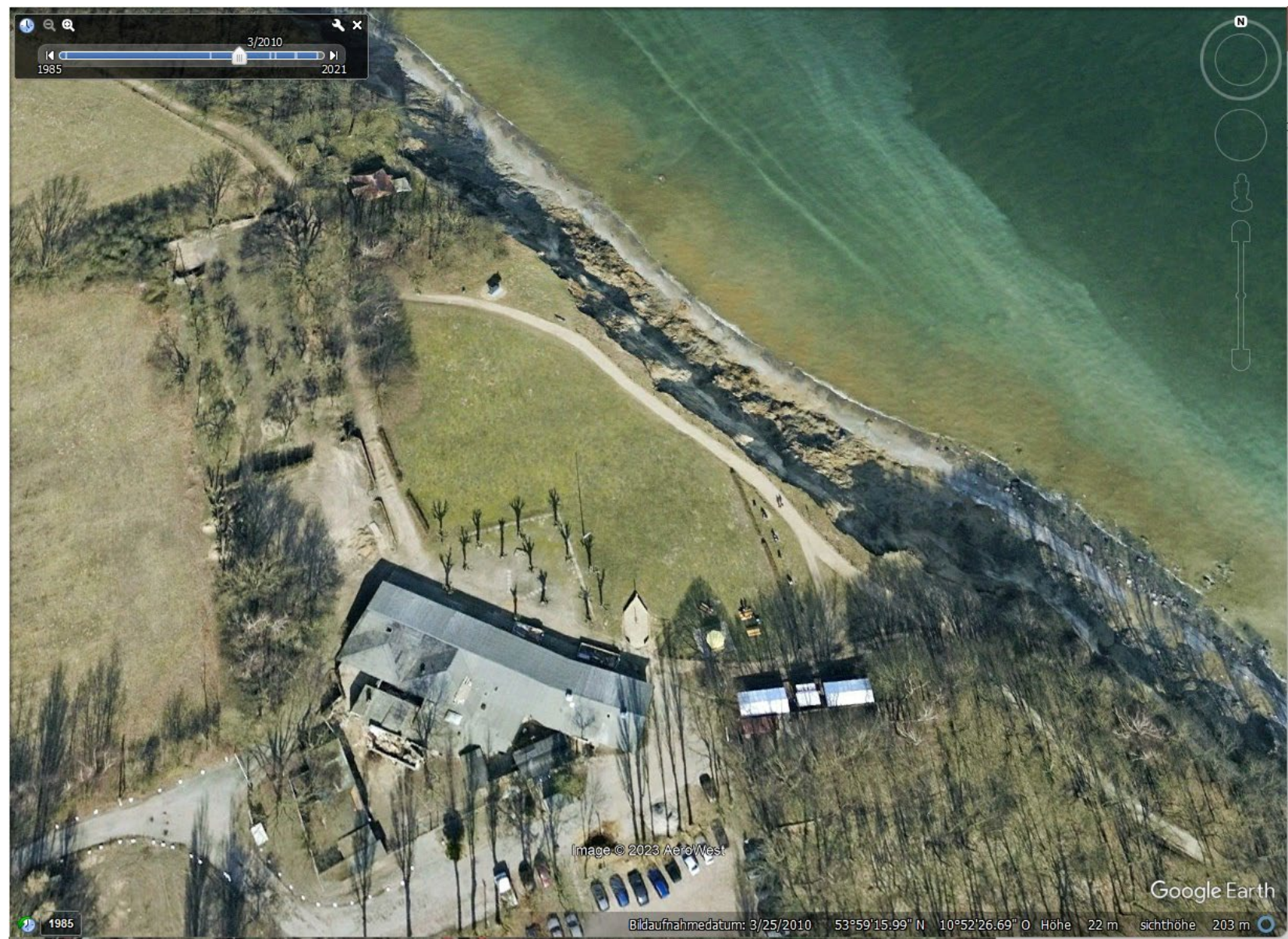




2. Das Brodtener Steilufer

■ Café Hermannshöhe

März 2010

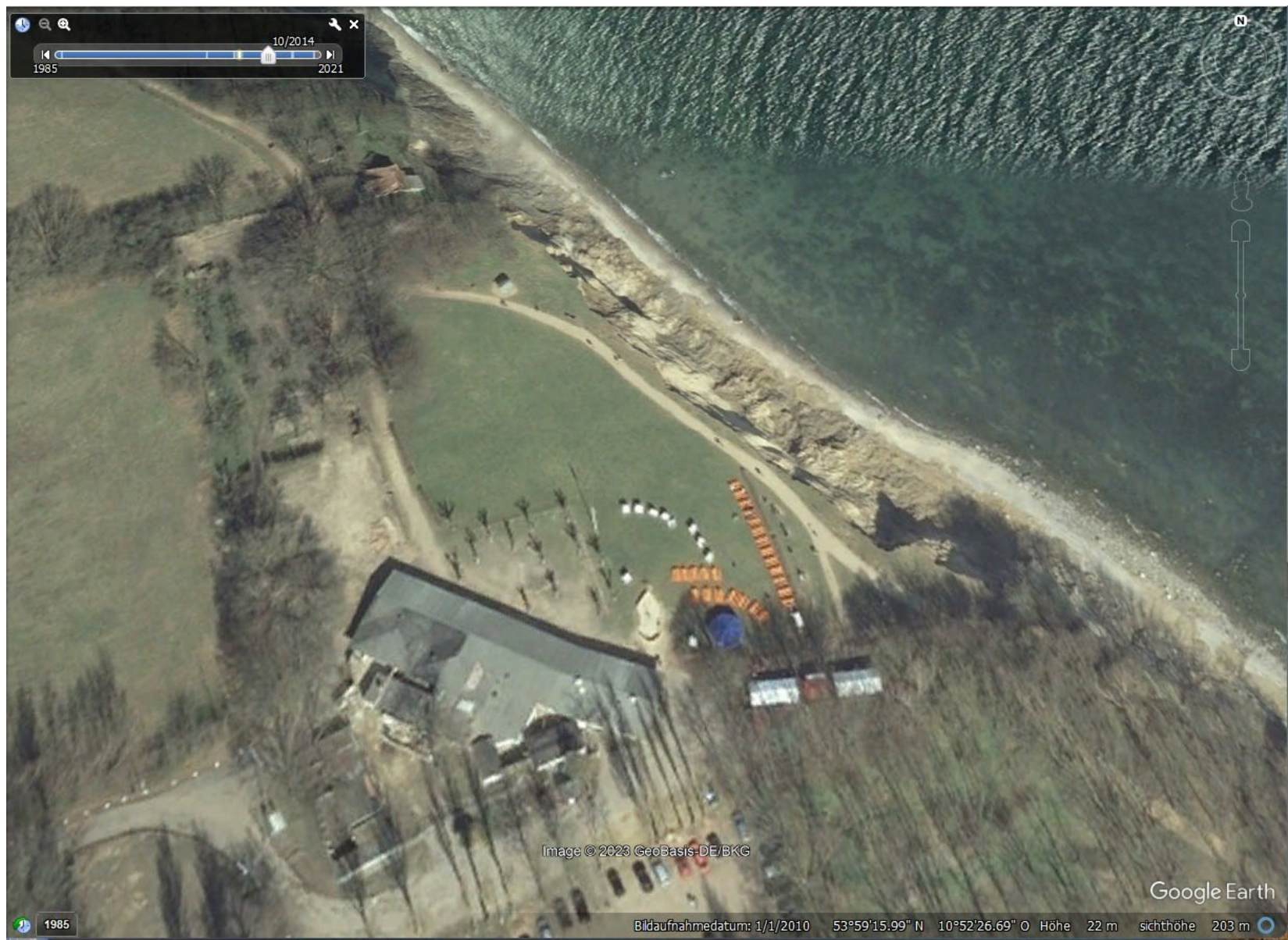




2. Das Brodtener Steilufer

■ Café Hermannshöhe

Oktober 2014

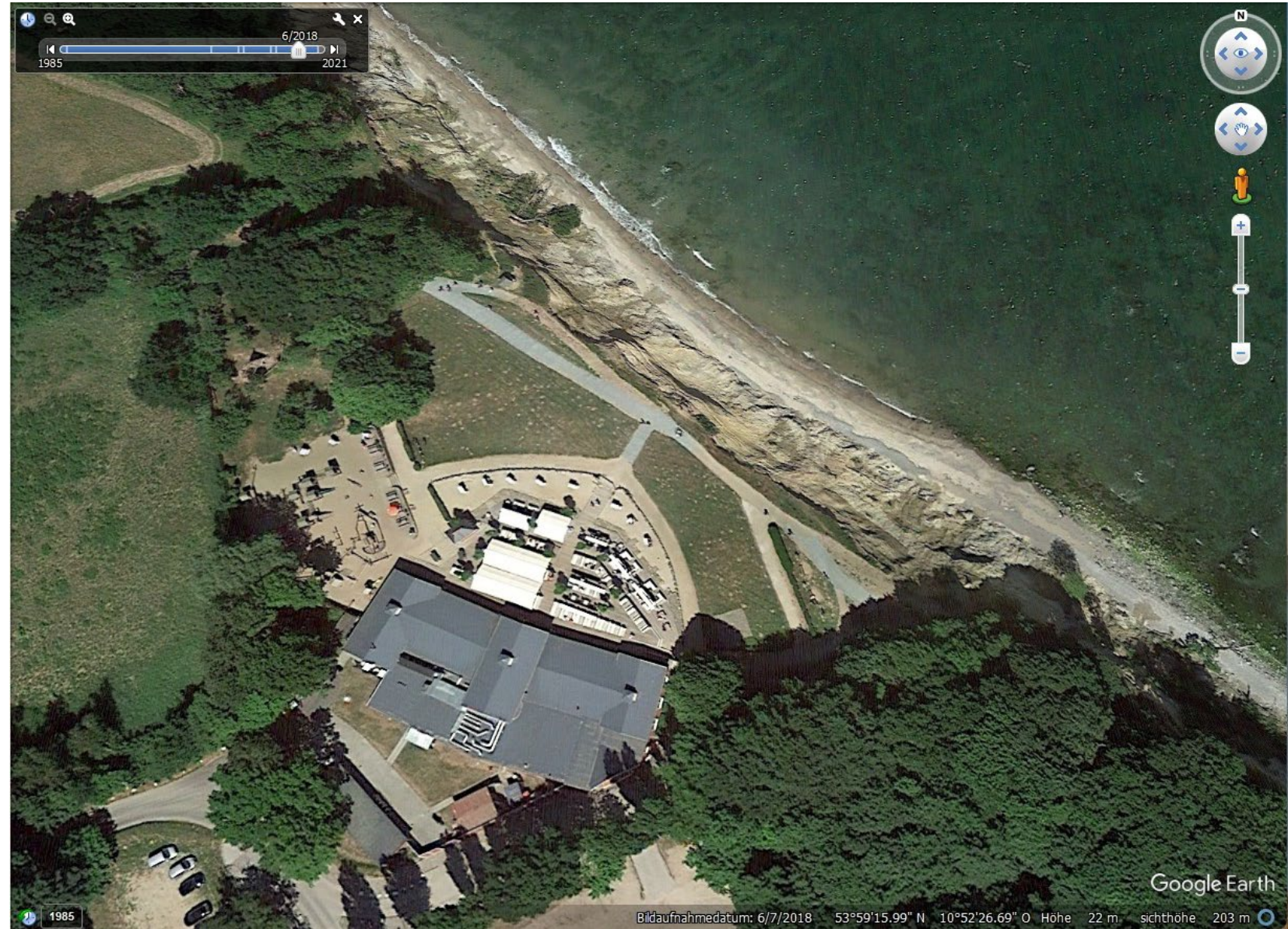




2. Das Brodtener Steilufer

■ Café Hermannshöhe

Juni 2018





2. Das Brodtener Steilufer

■ Café Hermannshöhe

Juni 2021



3. Projektvorstellung

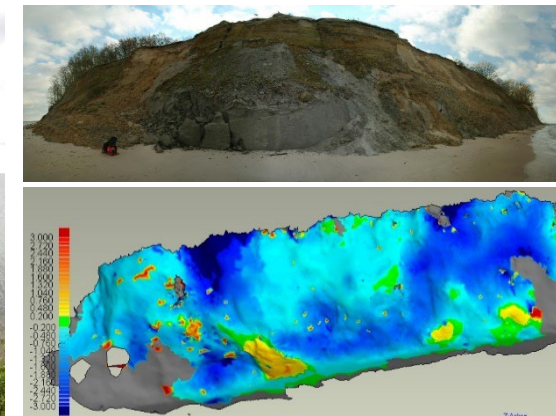
- **Monitoring des Brodtener Steilufer seit 2004**
- **Aufnahmegebiet – Steilufer beim Café Hermannshöhe**
- **Aufnahme – 2004, 2005, 2006, 2007, 2009, 2010, 2016 mit terrestr. Laserscanning**
- **Aufnahme – 2016, 2018, 2020, 2023 mit UAV-Photogrammetrie**



3. Projektvorstellung

■ Aufnahme mit terrestrischem Laserscanner – 1 Tag Scanning mit Studierenden

Period	Date	Scanner	Scan stations
0	15.03.2004	Mensi GS100 + Z+F IMAGER 5003	3 + 11
1	03.06.2005	Mensi GS100	6
2	22.06.2006	Mensi GS100	7
3	13.11.2007	Mensi GS100	3 (21 scans)
4	17.08.2009	Mensi GS100 + Z+F IMAGER 5006i	2 + 6
5	02.06.2010	Riegl VZ-400	8
6	21.06.2016	Z+F IMAGER 5010 (oben) + Faro Focus ^{3D} X330 (unten)	5 + 8





4. UAV-Photogrammetrie

■ UAV – DJI Phantom 3 Advanced und DJI Phantom 4 Pro V2.0 KlauPPK

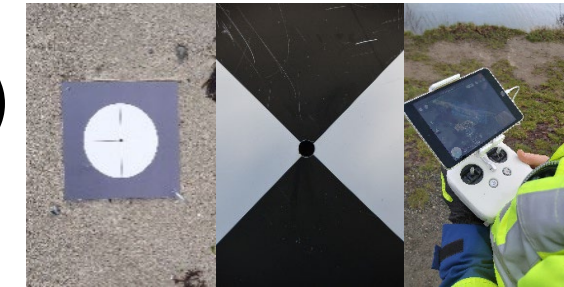


UAV	DJI Phantom 3 Advanced
Kamera	Sony Exmor
Objektiv	Integrated 4.0/2.8
Sensor	CMOS
Shutter	Rolling
Auflösung [MPix]	12.4
Sensorgroße [mm]	6,16×4,62
Anzahl Pixel	4000×3000
Pixelgröße [µm]	1.54
Brennweite [mm]	4.0



4. UAV-Photogrammetrie

- **Passpunktbestimmung mit Leica Totalstation (2016) und RTK-GNSS Trimble R8s/R10 und Korrekturdienst Trimble VRS Now (2018, 2020 und 2023) → $s_{xyz} = 1-2 \text{ cm}$**
- **Referenzsystem (ETRS89/UTM32) und Höhensystem DHHN 2016**
- **Signalisierte Passpunkte – weißer Kreis 10 cm Durchmesser (2016) und s/w Schachbrettmuster (2018-2023)**
- **P4: Bildflugplanung am iPad vor Ort und Bildflüge mit GNSS-PPK**
- **Manuelle Befliegung mit P3, Kreuzbefliegung und Schrägaufnahmen mit P4**



System	Datum Bildflug	# Flüge	Flugzeit [min]	# Fotos	Ø Flughöhe [m]	Ø Speed [m/s]	Überdeckung [%]	GSD [mm]	# GCP
DJI P3	21.06.16	1	15	170	19,7	0,8	div.	8,5	14
DJI P3	10.12.18	1	26	186	29,1	1,3	div.	10,7	12
DJI P4 KlauPPK	20.01.20	3	27	174	45,2	1,3	80/60	7,9	9
DJI P4 KlauPPK	18.12.23	3	16	282	50,9	2,6-4,0	80/60	13,3	7



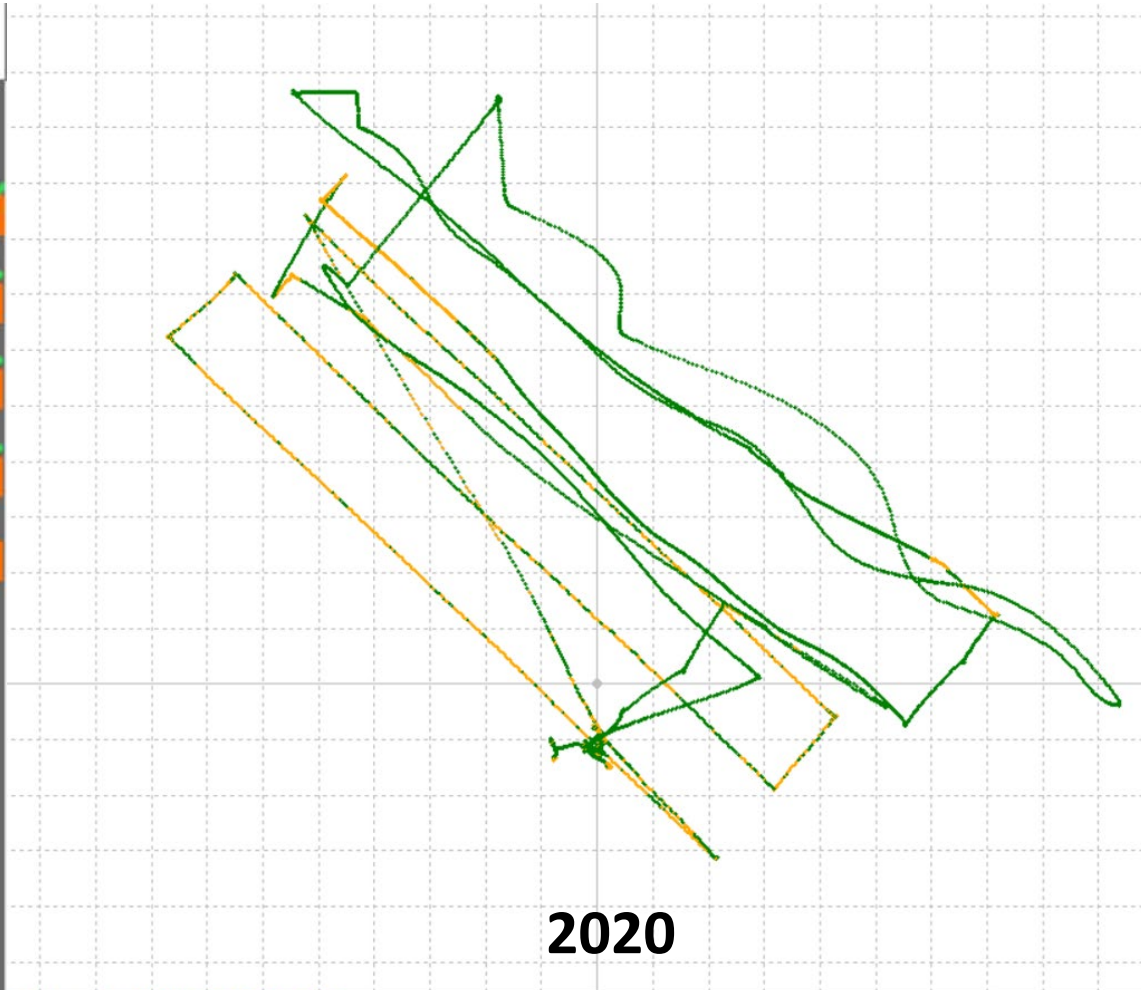
4. UAV-Photogrammetrie

- Berechnung der Kamerapositionen mit KlauGeomatics PPK –
Grüne Fluglinien mit $s_{XYZ} = 3 \text{ cm (fixed)}$ und gelbe Fluglinien mit $s_{XYZ} = 25 \text{ cm (float)}$

KLAU
GEO MATICS

Workflow :

- Open PPK Log File ✓
- Open Base Rinex File ✓
- Select Camera Model ✓
- Process GPS Data ✓
- 5. Open Image Folder
- [View Solution Graph](#)



2020

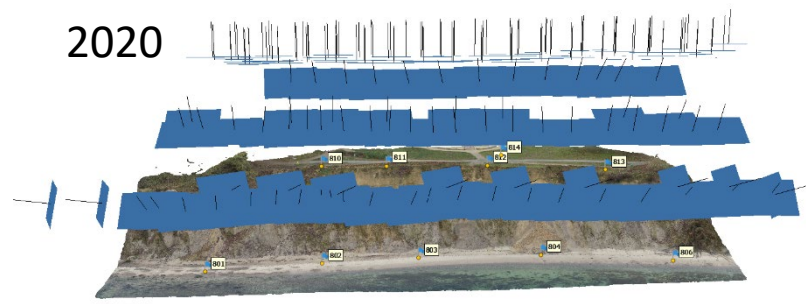
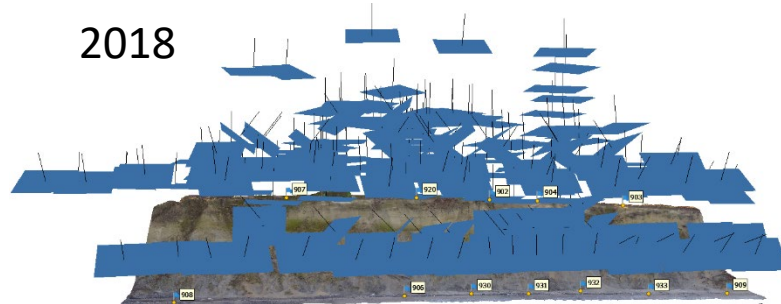
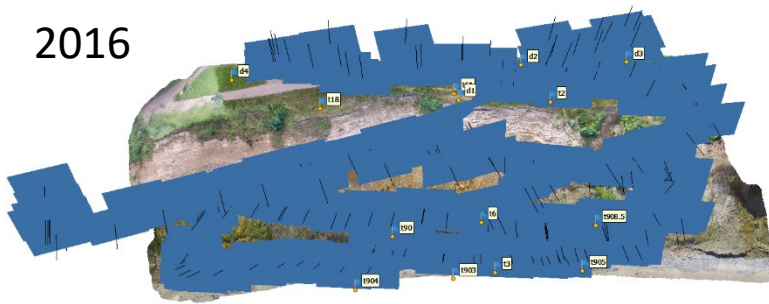
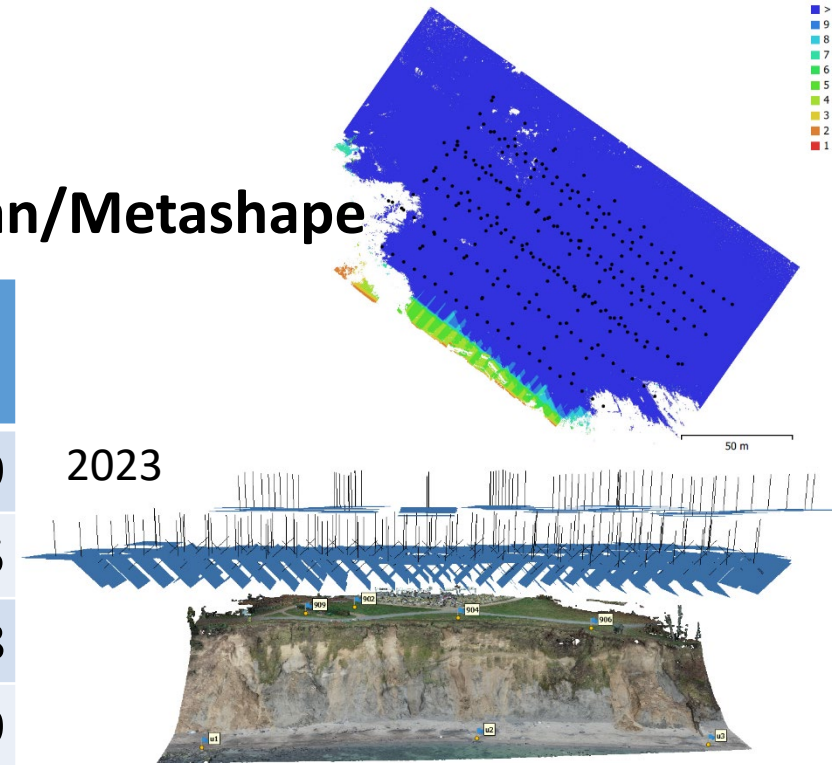


2023

4. UAV-Photogrammetrie

Ergebnisse der Aerotriangulationen in Agisoft PhotoScan/Metashape

Bildflug-datum	Fotos	Pass-punkte	$ s_x $ [mm]	$ s_y $ [mm]	$ s_z $ [mm]	$s_{x'y'}$ [pix]	RMS PE [pix]	Max PE [pix]
21.06.16	170	15	6.4	6.9	7.8	1.07	0.8	18.9
10.12.18	186	12	5.4	8.4	7.4	1.12	0.9	38.5
20.01.20	174	9	8.0	6.7	18.1	0.52	0.8	28.8
18.12.23	276	7	7.8	9.4	15.0	0.38	0.6	8.9



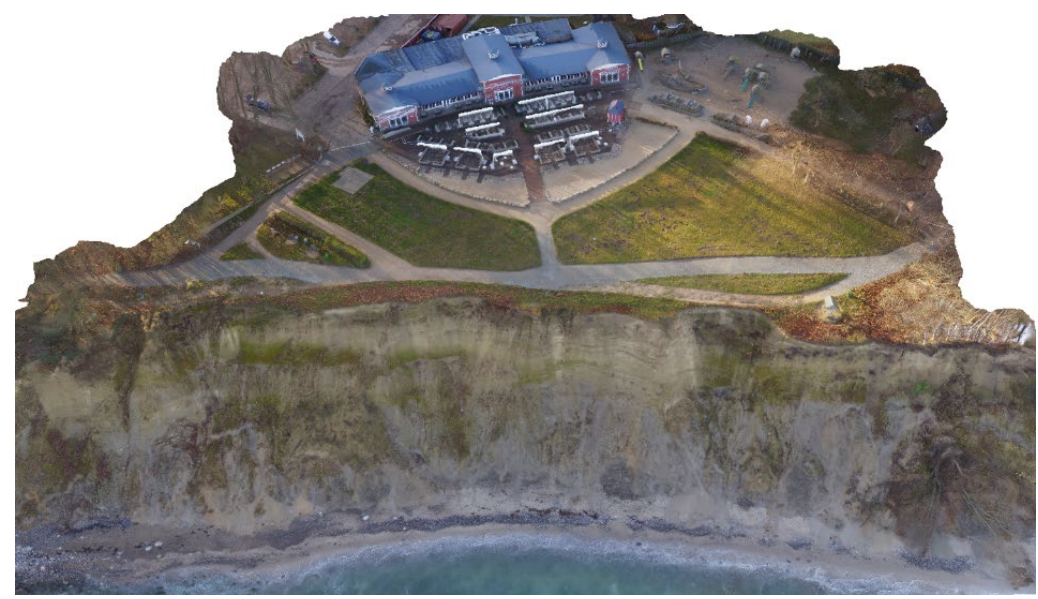


5. Auswertung & Ergebnisse

- Berechnung dichte Punktwolke und Dreiecksvermaschung in Agisoft Metashape



2016



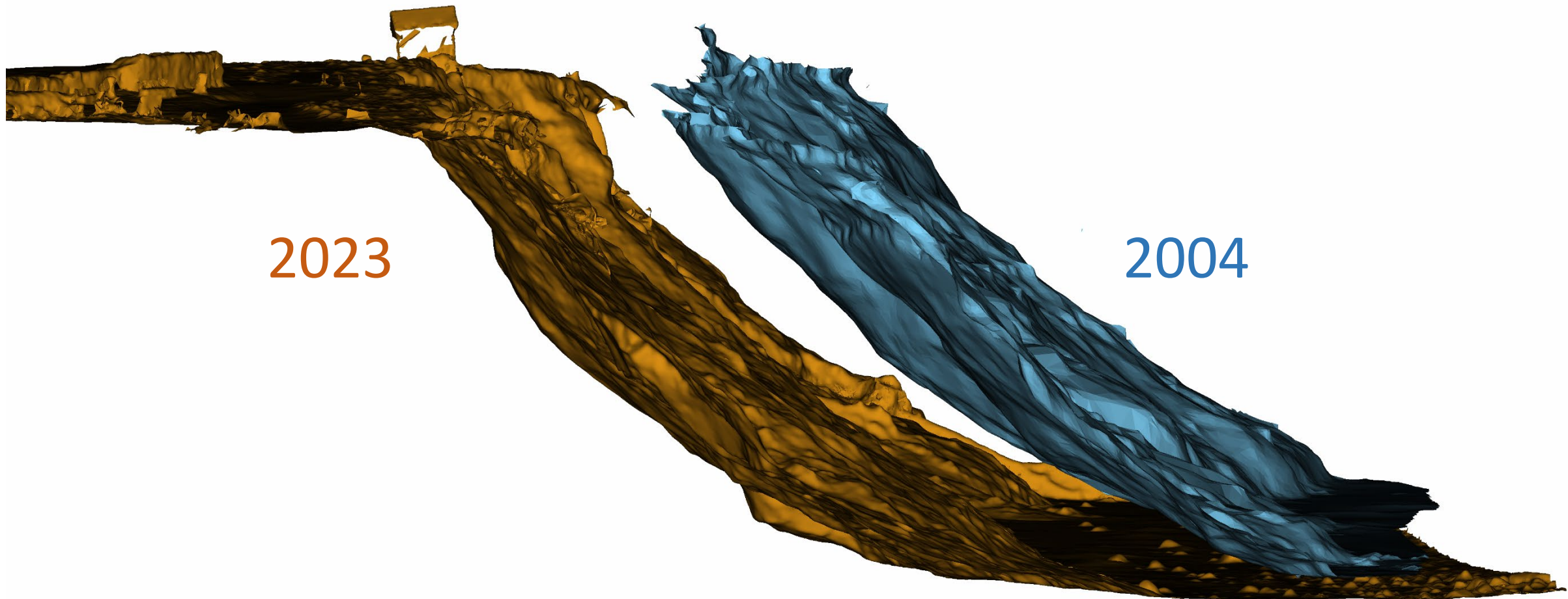
2018





5. Auswertung & Ergebnisse

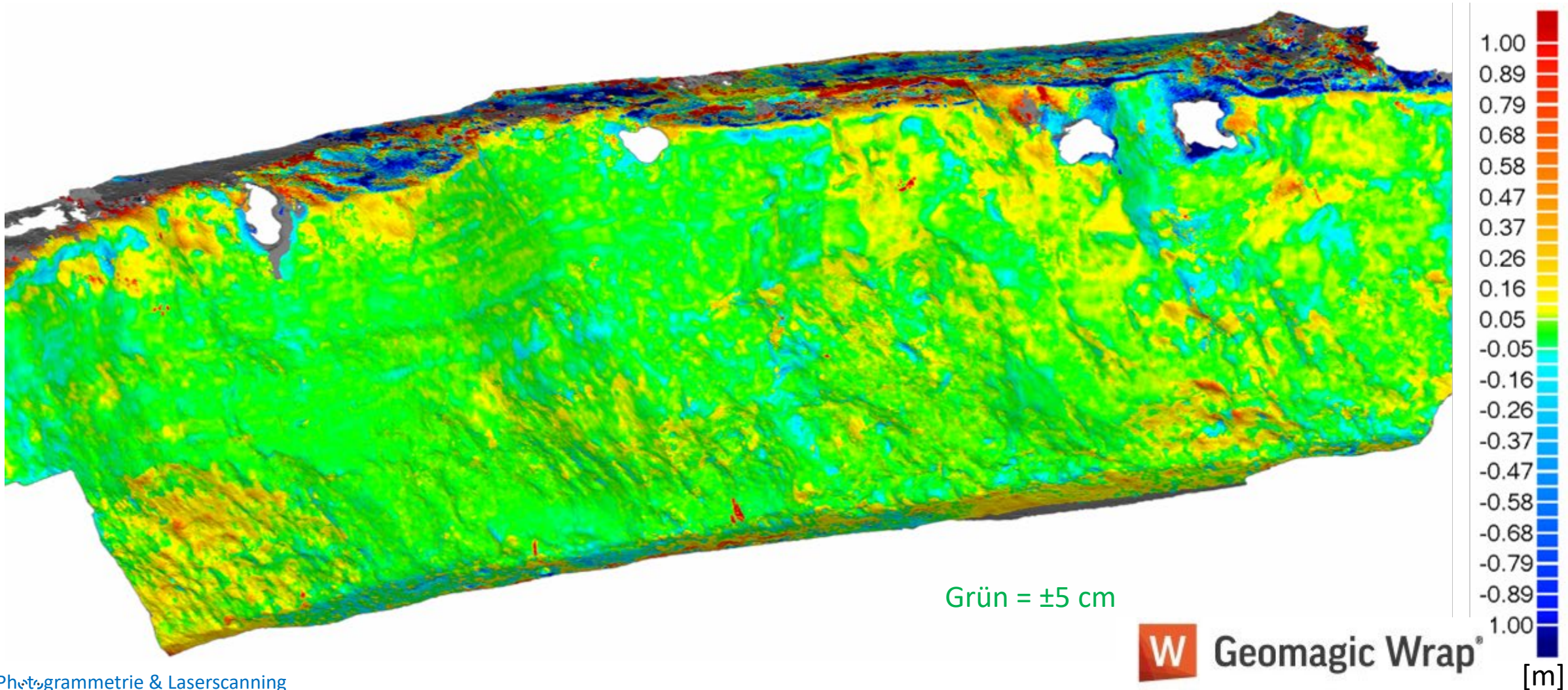
- Vergleich Profil 2004 mit 2023 – TLS vs. UAV
- Verschiebung Richtung Landseite bis zu 14 m in 19 Jahren





5. Auswertung & Ergebnisse

■ Vergleich Dreiecksvermaschung (M2M) TLS vs. UAV 2016



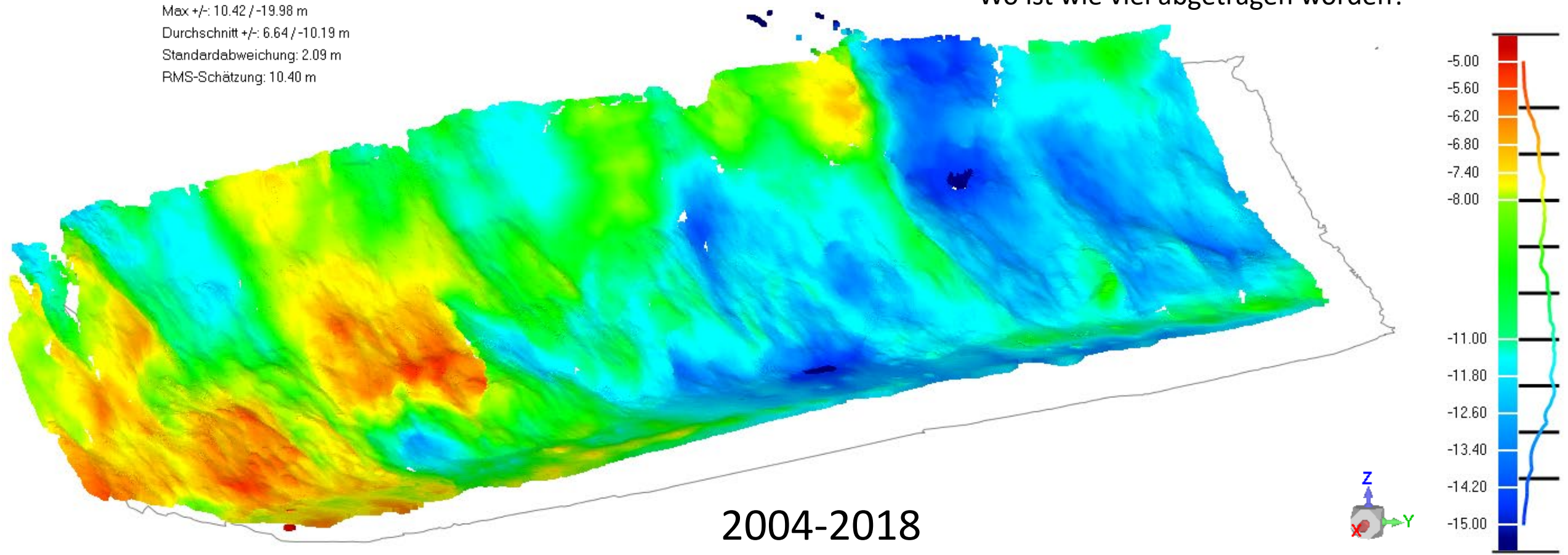


5. Auswertung & Ergebnisse

■ Gerichtete Abweichung – UAV-Bildflugdaten vs. TLS

Gerichtete Abweichung, Achse: (0.707, 0.707, 0.000)
Max +/-: 10.42 / -19.98 m
Durchschnitt +/-: 6.64 / -10.19 m
Standardabweichung: 2.09 m
RMS-Schätzung: 10.40 m

Wo ist wie viel abgetragen worden?



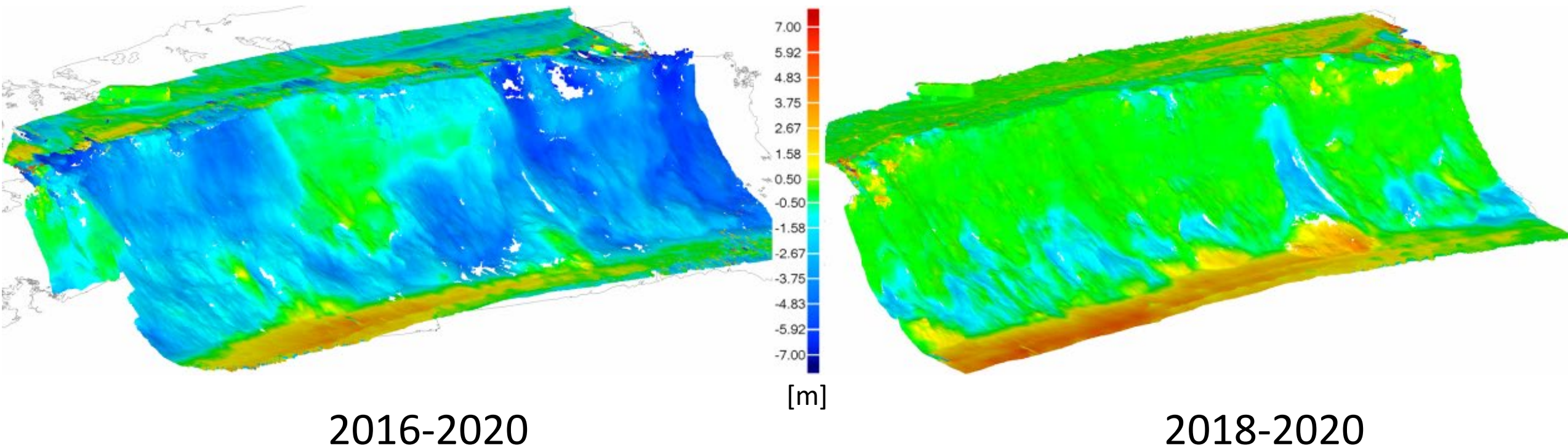
2004-2018

[m]



5. Auswertung & Ergebnisse

■ 3D-Vergleich Meshes – UAV-Bildflugdaten

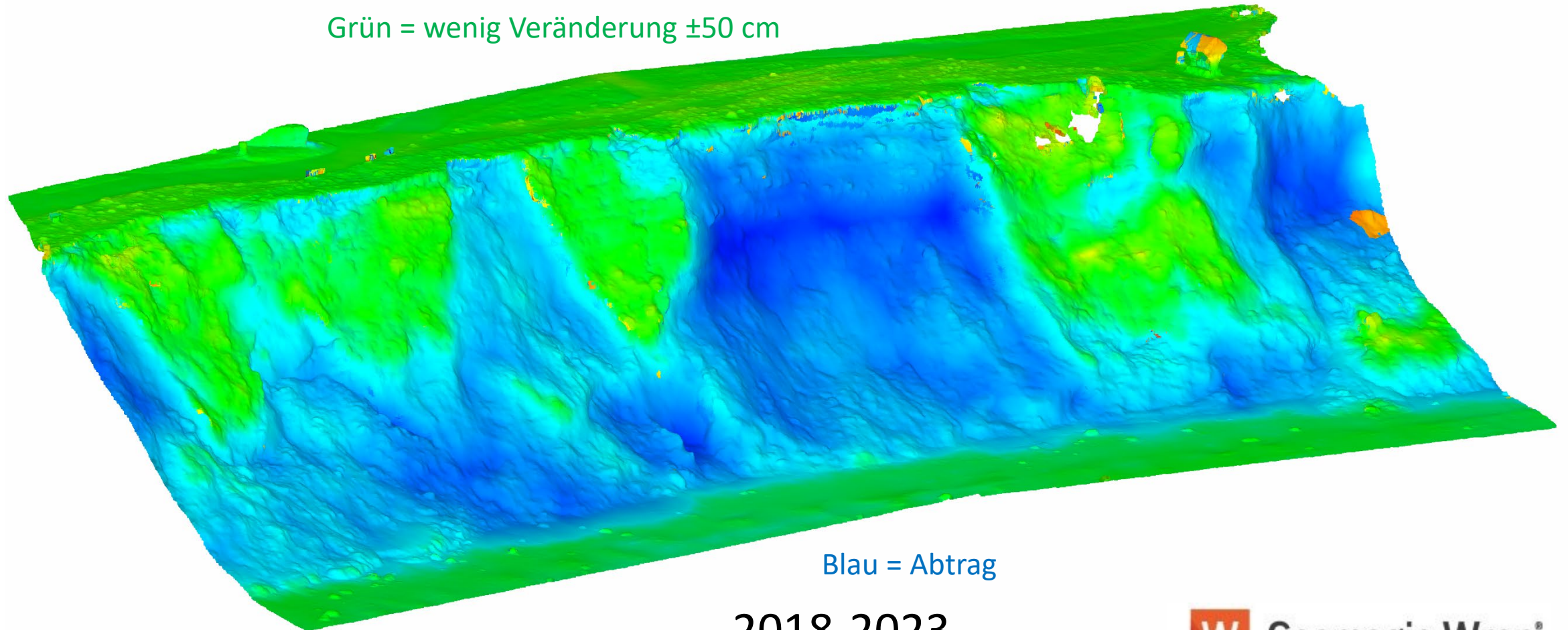




5. Auswertung & Ergebnisse

■ 3D-Vergleich Meshes – UAV-Bildflugdaten

Grün = wenig Veränderung ± 50 cm

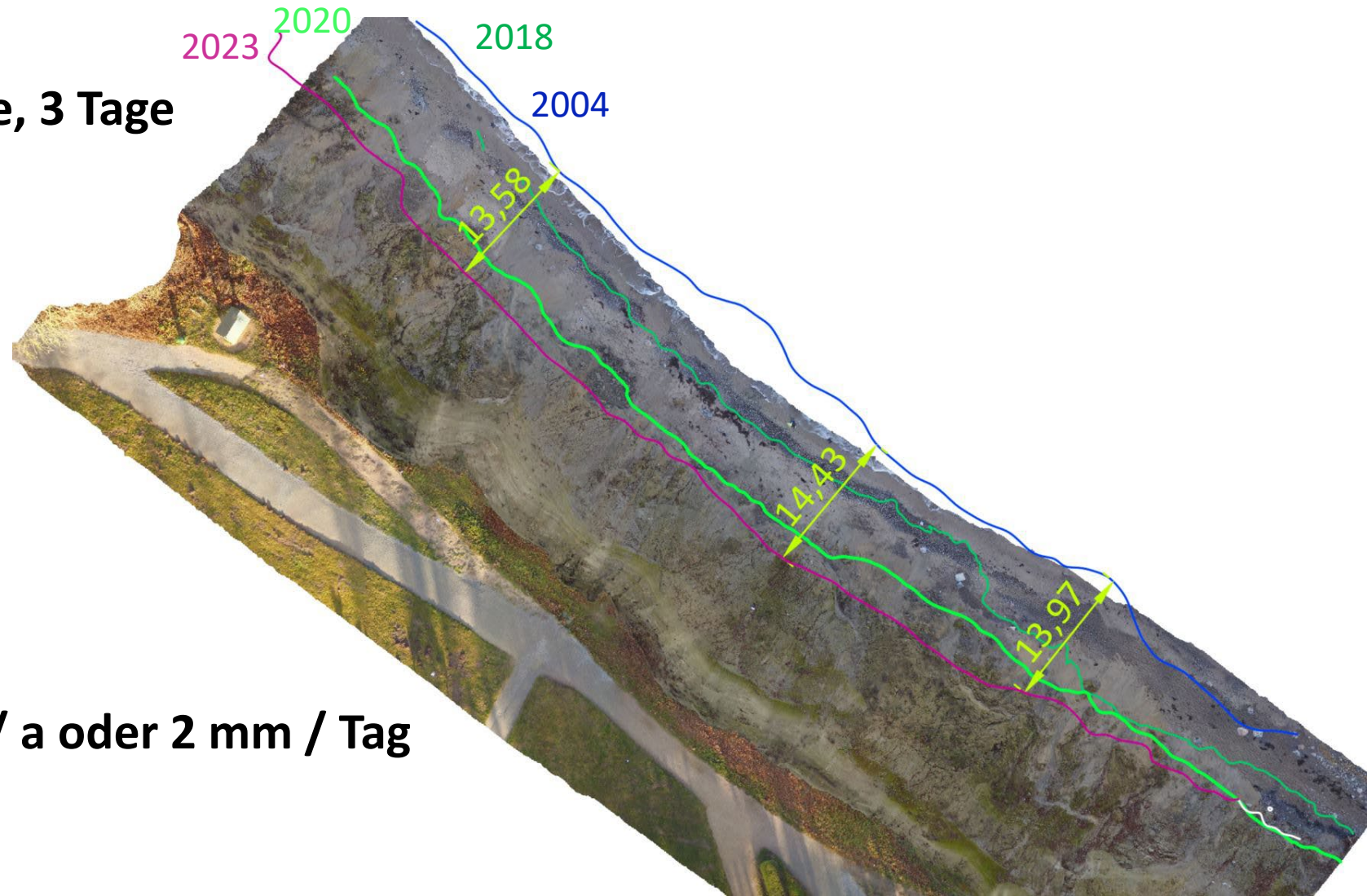


Blau = Abtrag

2018-2023

5. Auswertung & Ergebnisse

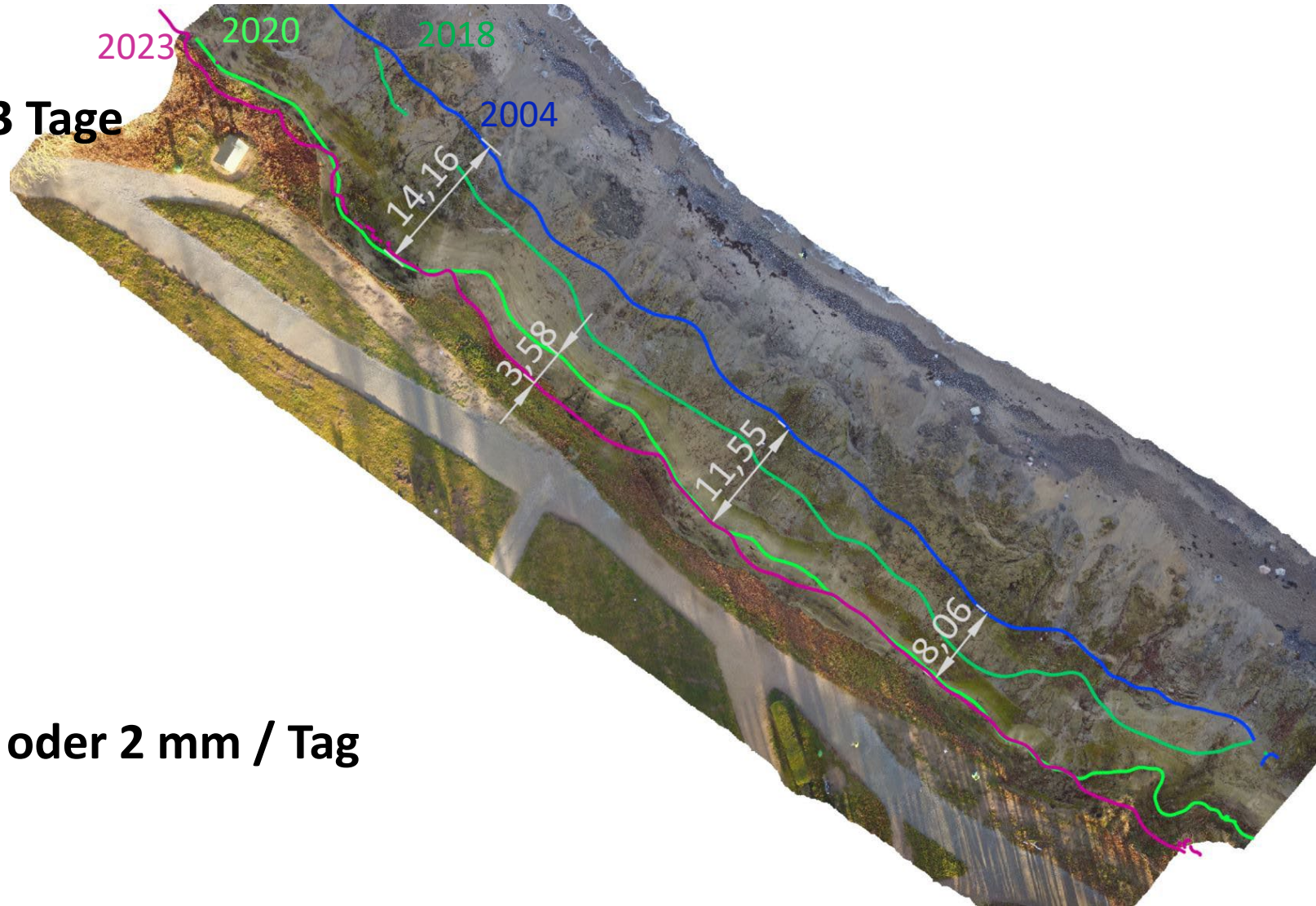
- Veränderung der Unterkante in 1,5 m Höhe von 2004 bis 2023
- Zeitspanne – 7217 Tage
oder 19 Jahre, 9 Monate, 3 Tage
oder 237 Monate



- Verschiebung – 0,73 m / a oder 2 mm / Tag
(nicht kontinuierlich!)

5. Auswertung & Ergebnisse

- Veränderung der Oberkante in 18 m Höhe von 2004 bis 2023
- Zeitspanne – 7217 Tage
oder 19 Jahre, 9 Monate, 3 Tage
oder 237 Monate

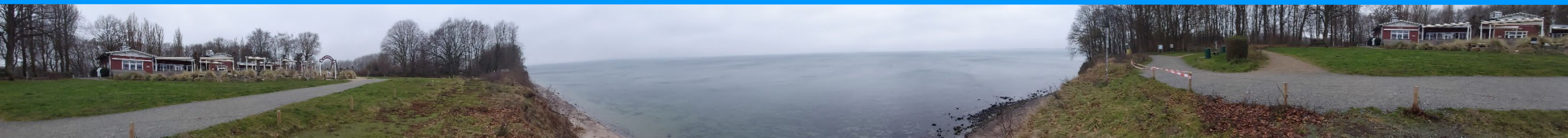


- Verschiebung – 0,72 m / a oder 2 mm / Tag
(nicht kontinuierlich!)



6. Fazit & Ausblick

- **UAV-Photogrammetrie – effizientes Verfahren für Steilküstenmonitoring!**
- **UAV im Vergleich mit TLS signifikant schneller – Faktor 3 (ca. 5h vs. ca. 15h)**
- **Reduktion der Anzahl von Passpunkten durch GNSS-RTK/PPK Bildflüge**
- **Passpunkte trotz GNSS-RTK/PPK Bildflüge erforderlich**
- **Erreichte Genauigkeit durch UAV-Photogrammetrie für Anwendung gut genug!**
- **Für Kamerakalibrierung – Kreuzbefliegung und Schrägaufnahmen erforderlich**
- **Zukünftig weitere Aufnahmeepochen mit UAV (alle zwei Jahre)**
- **Vergleich mit UAV-Laserscanning & tragbarem TLS wäre wünschenswert**
- **UAV-Photogrammetrie – punktueller Einsatz an anderen Orten der Küste!**



HYDROGRAPHISCHE NACHRICHTEN

Journal of Applied Hydrography

06/2020 HN 116

Fokusthema:
Fernerkundung
und Laser-
bathymetrie



hcu HafenCity
Universität
Hamburg

Kersten, Th., Lindstaedt, M., Mechelke, K., 2020.

Coastal cliff monitoring using UAS photogrammetry and TLS.
Hydrographische Nachrichten - Journal of Applied Hydrography,
HN116, pp. 16-22. <https://doi.org/10.23784/HN116-02>.





**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit!**

Kontakt – Prof. Dr.-Ing. Thomas P. Kersten

HafenCity Universität Hamburg, Labor für Photogrammetrie & Laserscanning, Henning-Voscherau-Platz 1, D-20457 Hamburg, Thomas.Kersten@hcu-hamburg.de