UAS-Anwendungsmöglichkeiten zur effektiven Vermessung im Insel- und Küstenschutz

Dipl.-Ing. Holger Dirks

Aufgabenbereich Vermessung

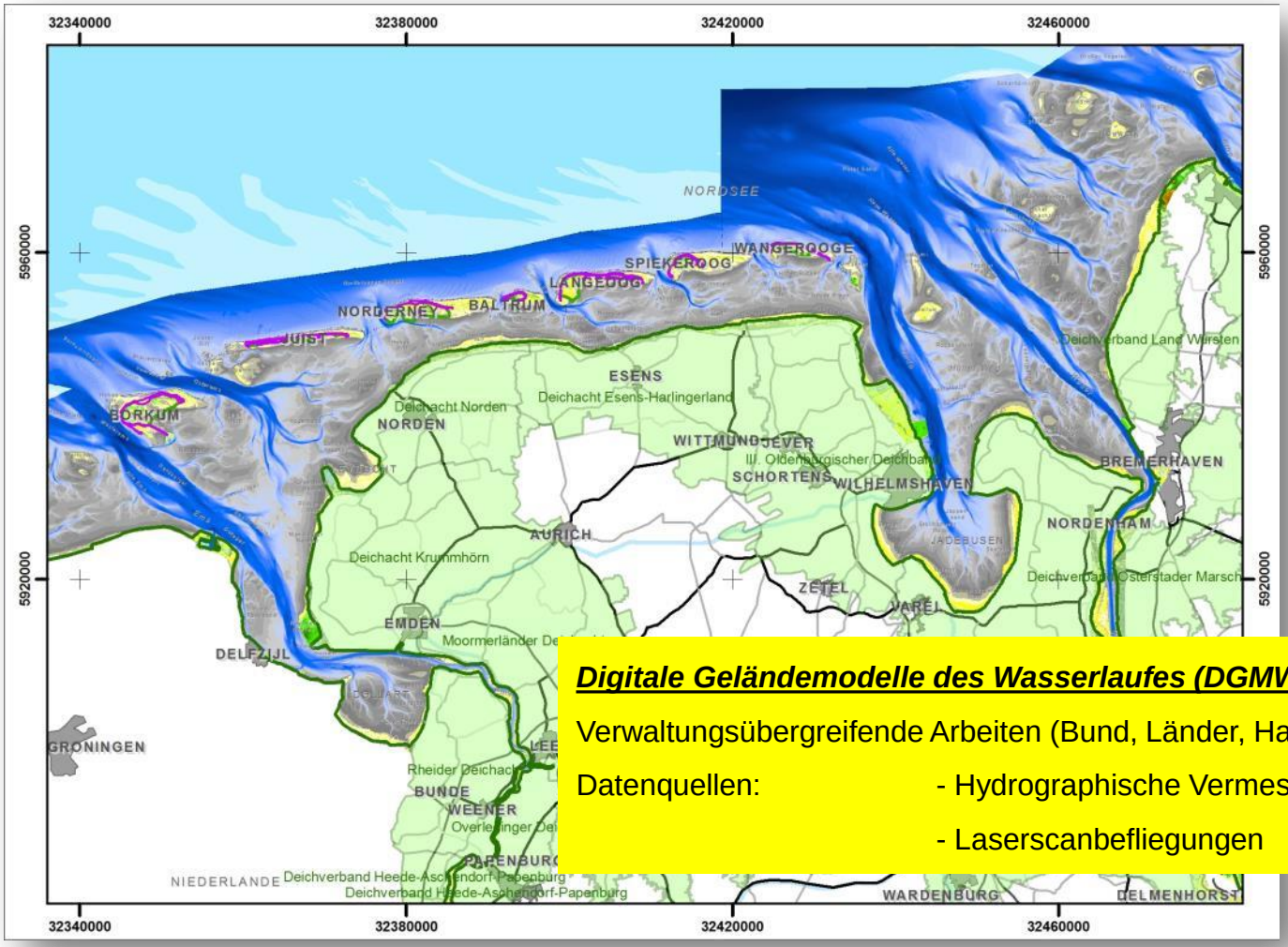
NLWKN-Forschungsstelle Küste, An der Mühle 5, 26548 Norderney

Aufgabenbereich Vermessung

Forschungsstelle Küste

Wesentlicher Auftrag des Aufgabenbereiches Vermessung ist die topografische Erfassung des Küstenreliefs mit dem Ziel, dessen Veränderungen zu dokumentieren und damit Grundlagen für morphologische Analysen zu schaffen, sowie Eingangsdaten für mathematische Modellierungen von Tide- und Sturmflutwasserständen, Strömungen, Seegang, Morphodynamik und Gewässergüte zu liefern.

Erfassung der Übergangs- und Küstengewässer in Niedersachsen

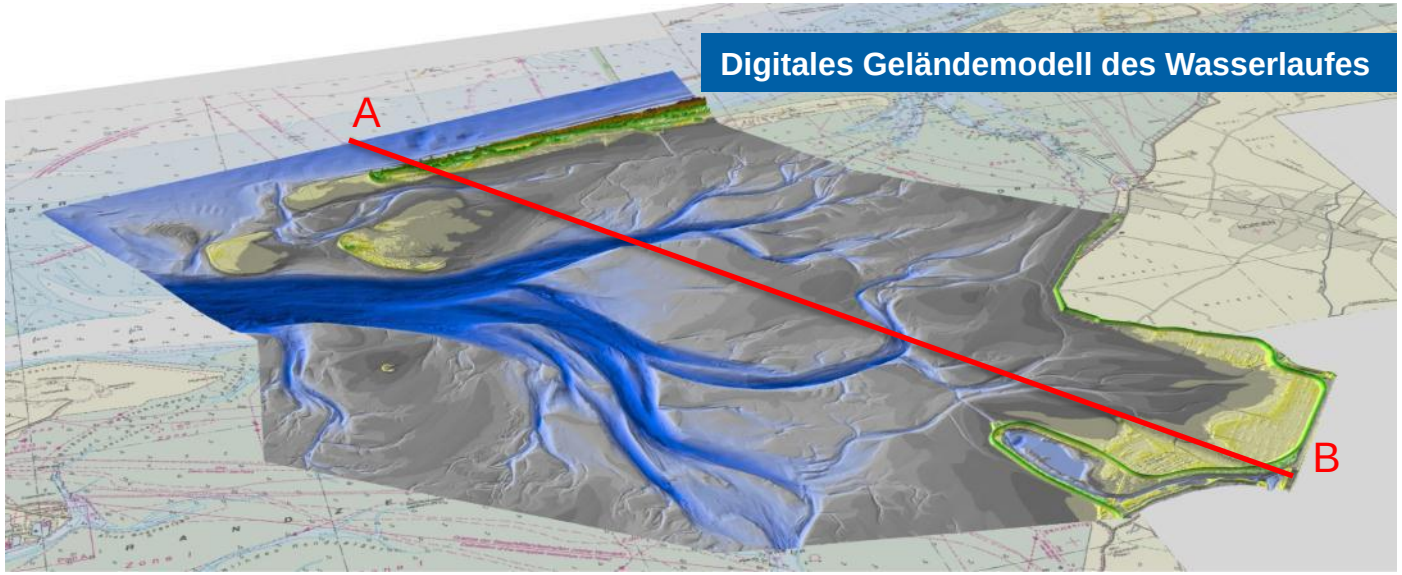


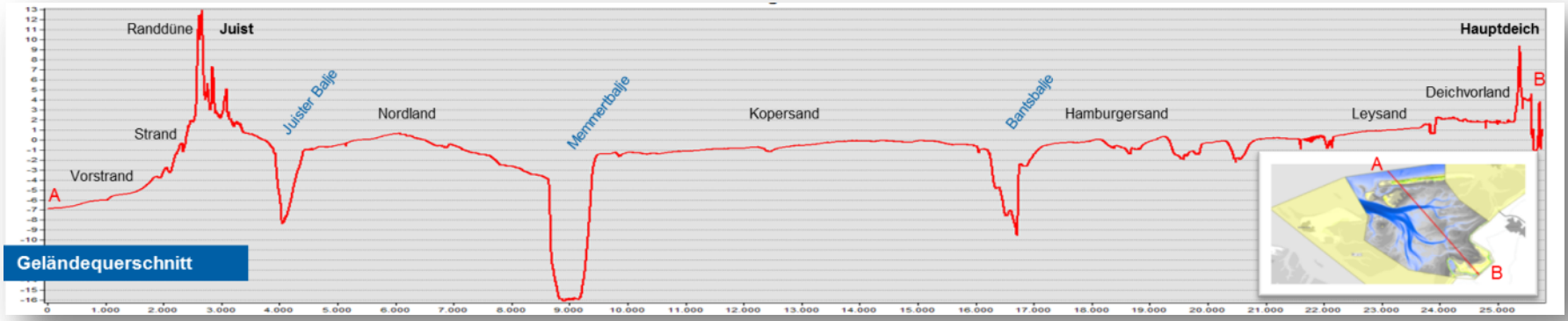
Digitale Geländemodelle des Wasserlaufes (DGMW)

Verwaltungsübergreifende Arbeiten (Bund, Länder, Hafenverwaltungen)

Datenquellen:
- Hydrographische Vermessungen
- Laserscanbefliegungen

Erfassung der Übergangs- und Küstengewässer in Niedersachsen

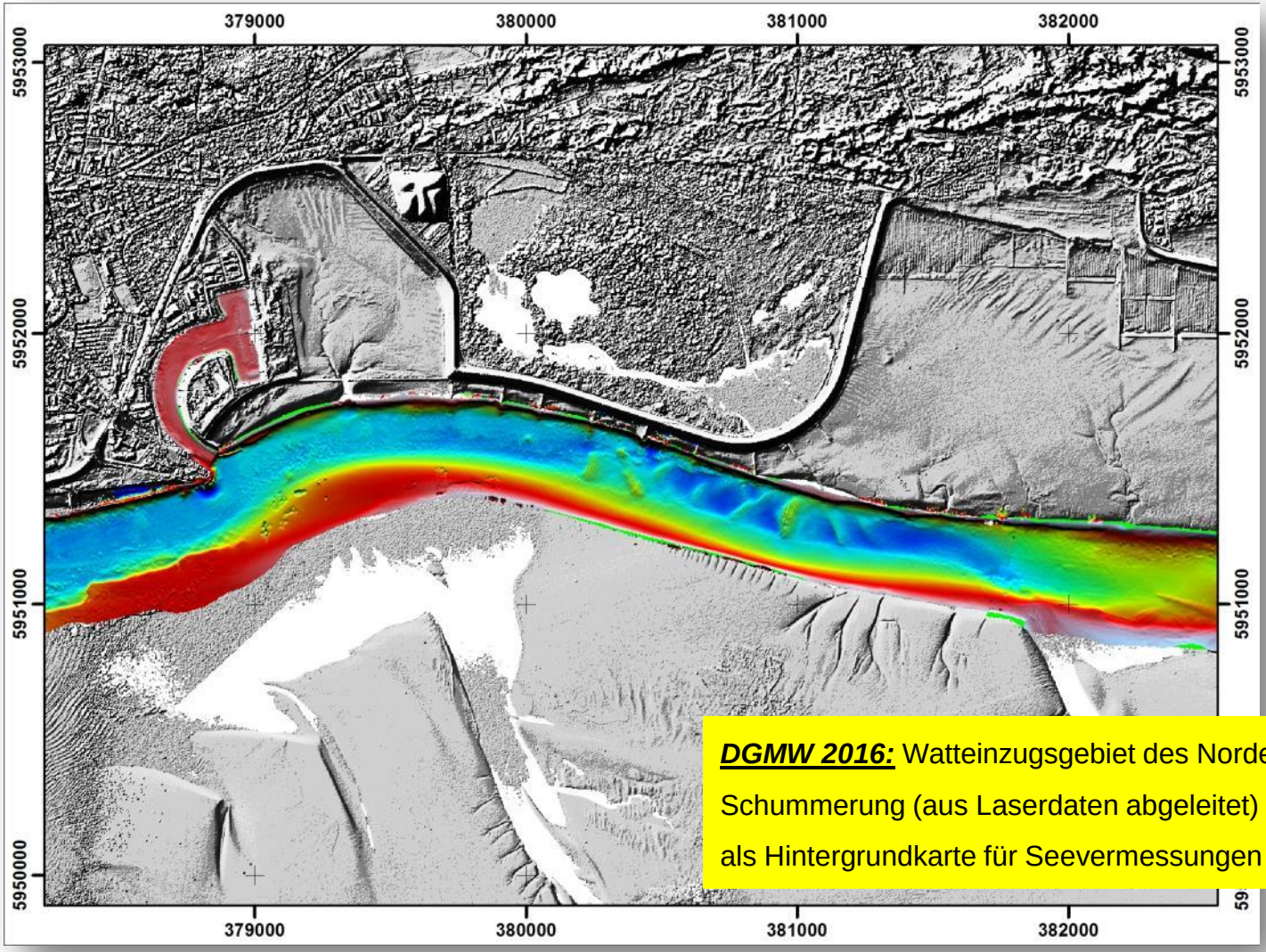




Erfassung der Übergangs- und Küstengewässer in Niedersachsen

DGMW 2016: Watteinzugsgebiet des Norderneyer Seegats

Erfassung der Übergangs- und Küstengewässer in Niedersachsen

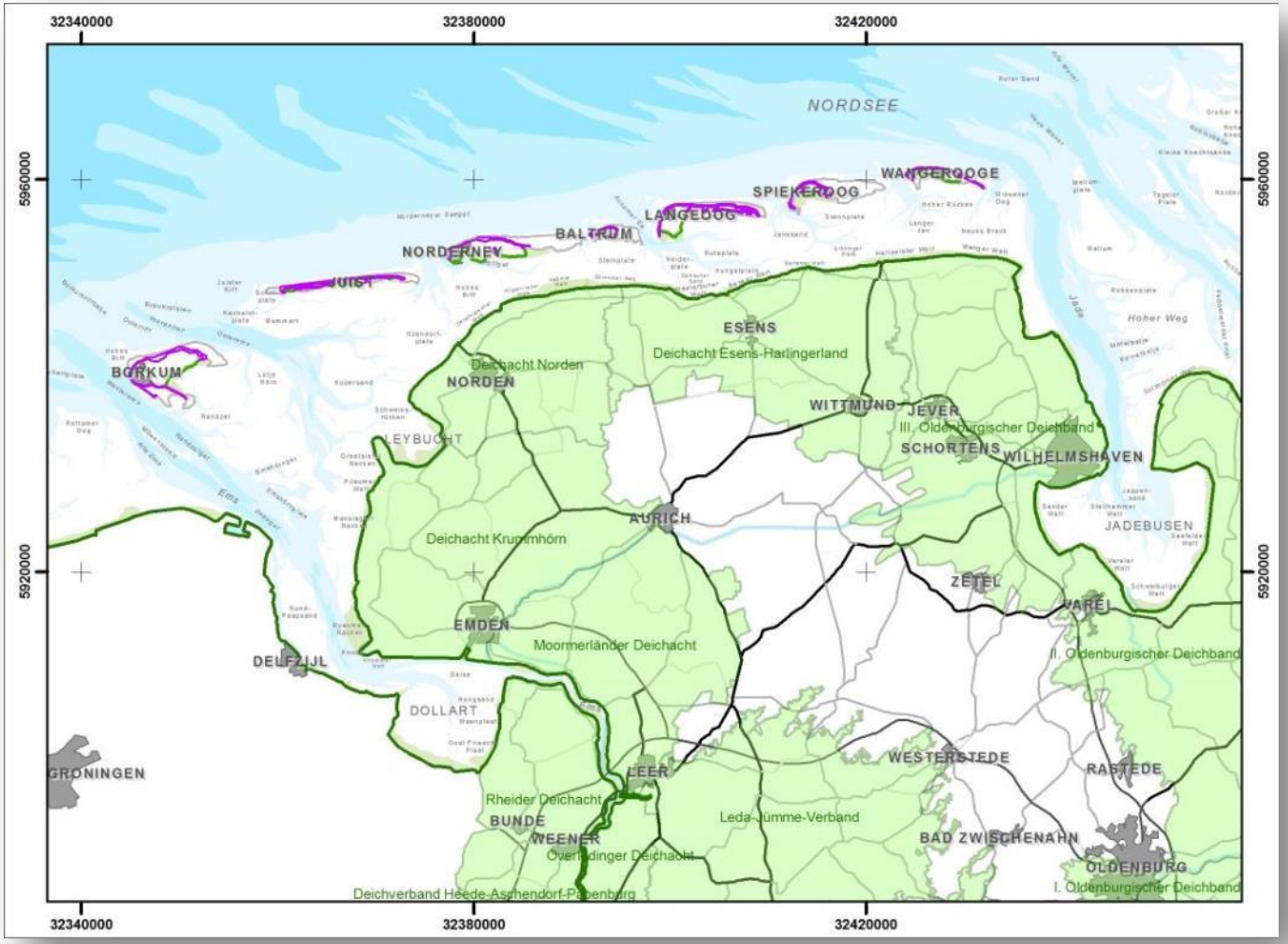


DGMW 2016: Watteinzugsgebiet des Norderneyer Seegats

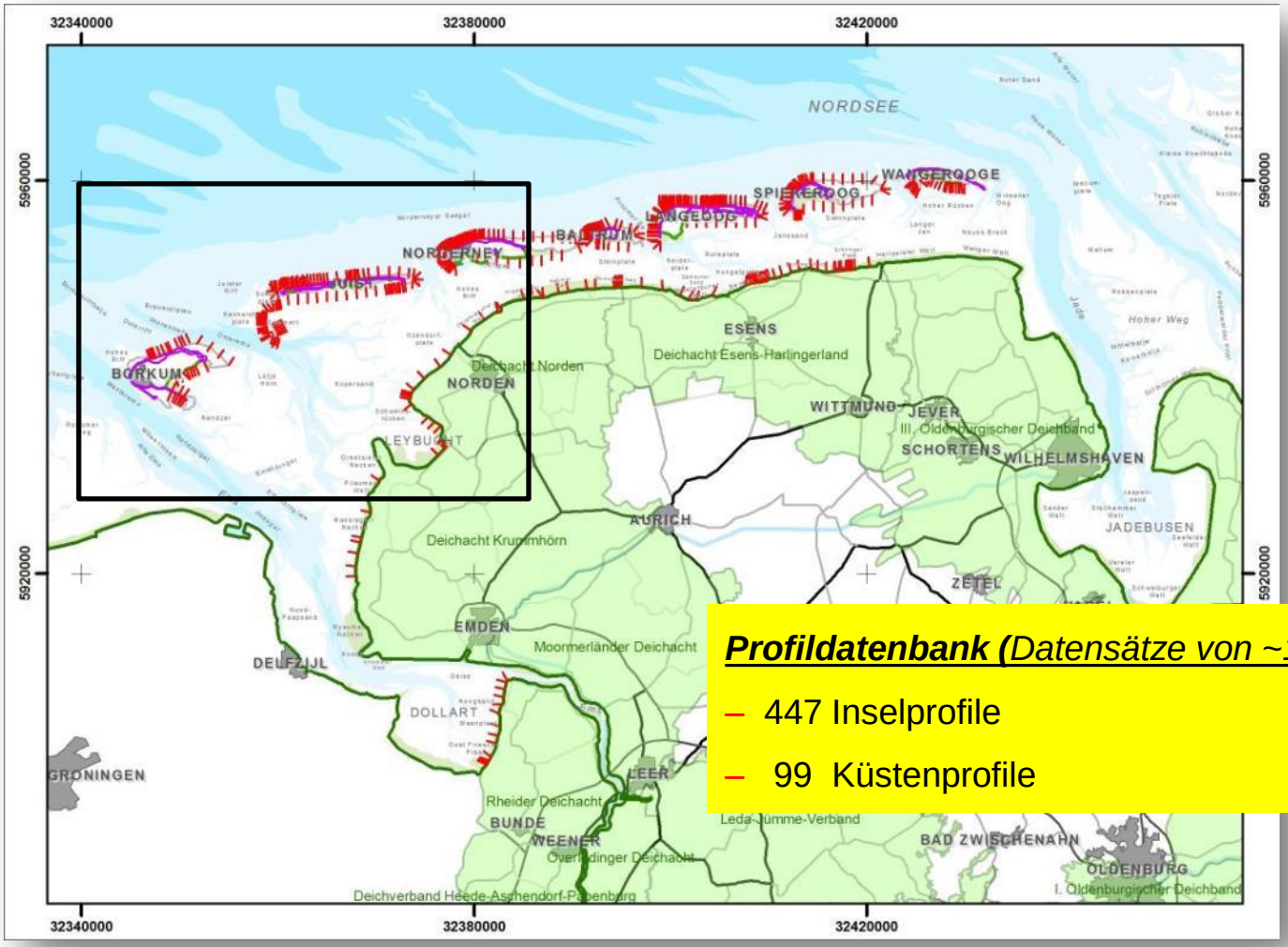
Schummerung (aus Laserdaten abgeleitet)

als Hintergrundkarte für Seevermessungen

Erfassung der Gestaltungsvorgänge auf den Ostfriesischen Inseln



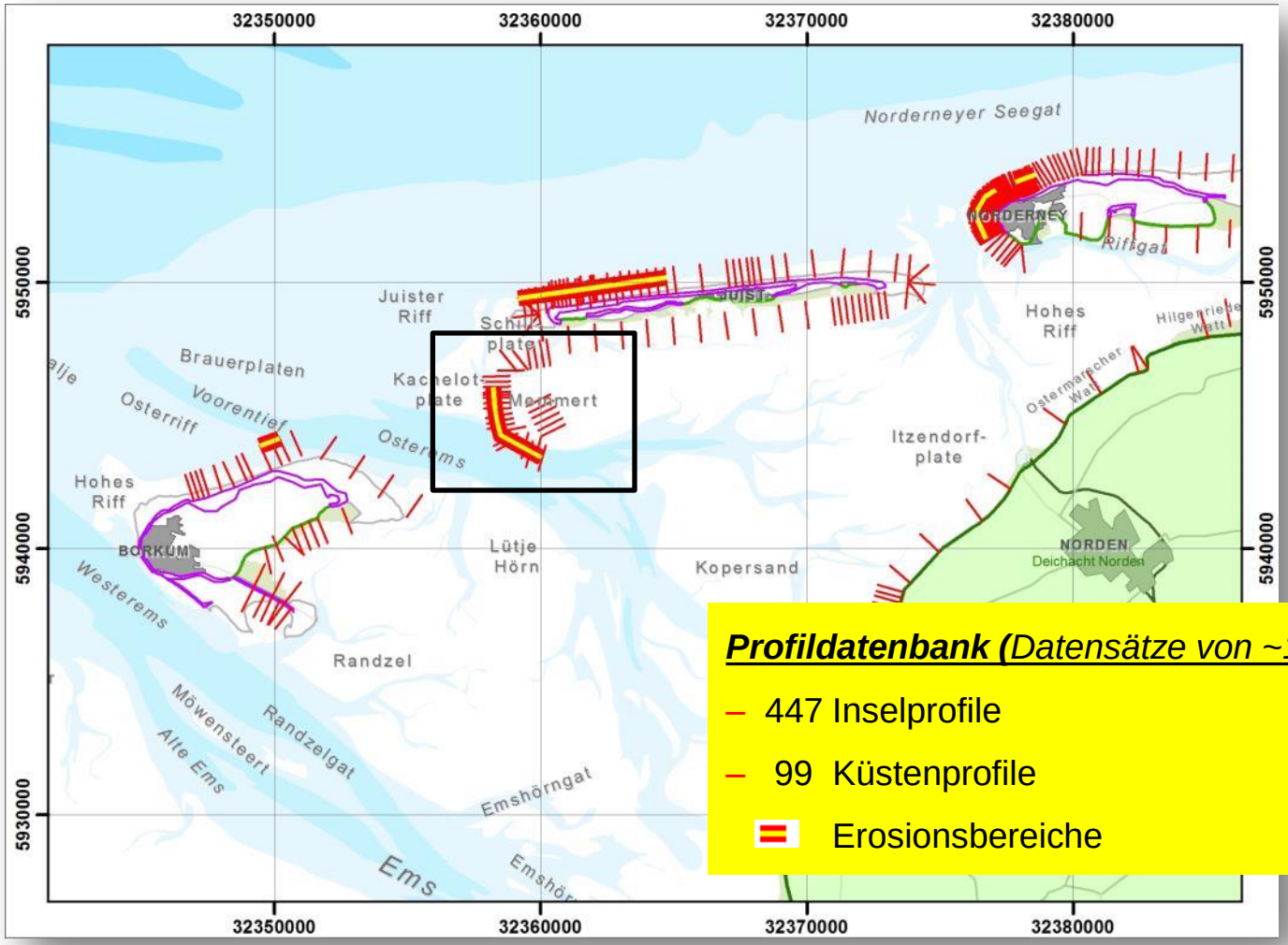
Erfassung der Gestaltungsvorgänge auf den Ostfriesischen Inseln



Profildatenbank (*Datensätze von ~1980 bis heute)*

- 447 Inselprofile
- 99 Küstenprofile

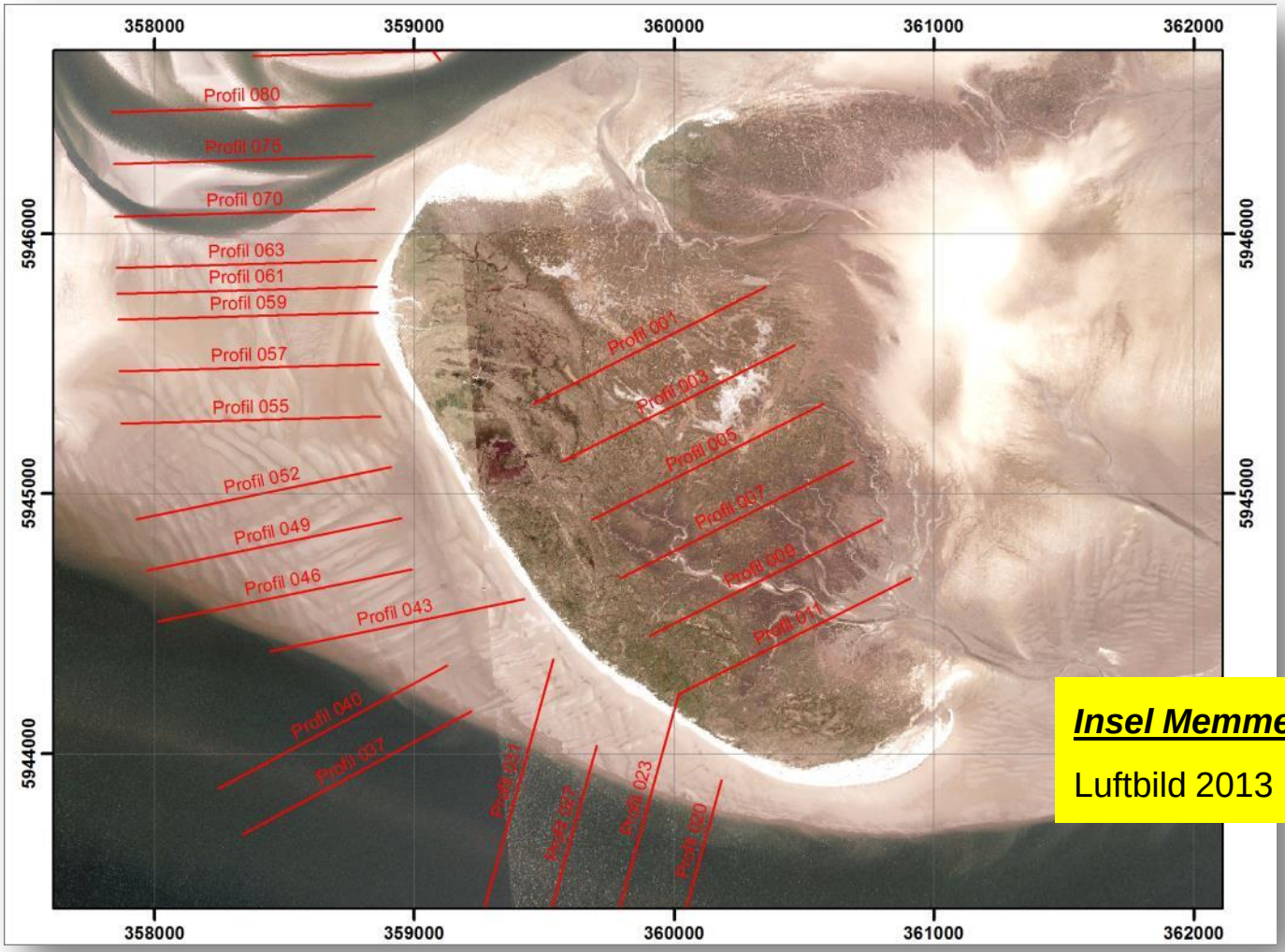
Erfassung der Gestaltungsvorgänge auf den Ostfriesischen Inseln



Profildatenbank (*Datensätze von ~1980 bis heute)*

- 447 Inselprofile
- 99 Küstenprofile
- Erosionsbereiche

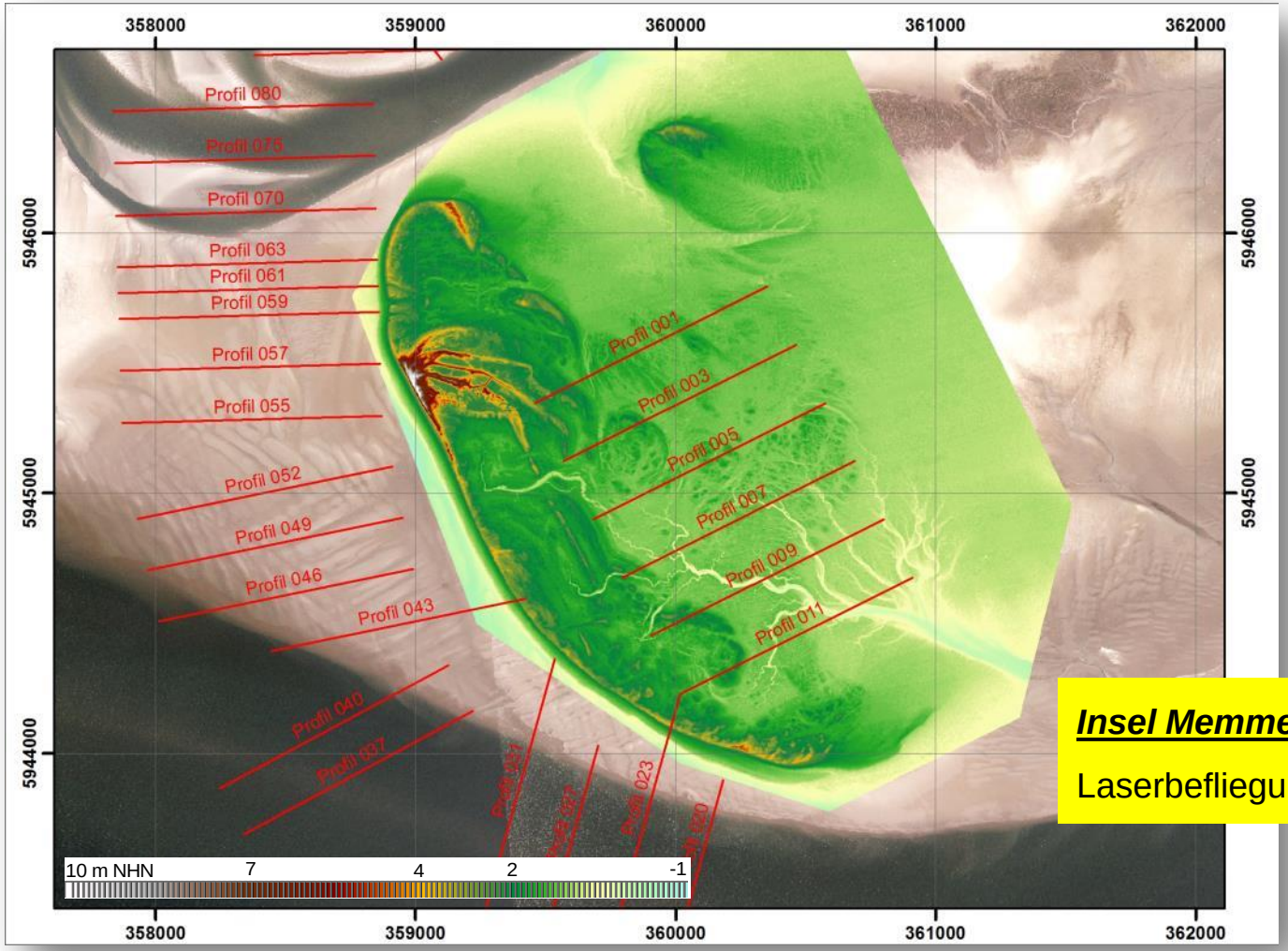
Erfassung der Gestaltungsvorgänge auf den Ostfriesischen Inseln



Insel Memmert

Luftbild 2013

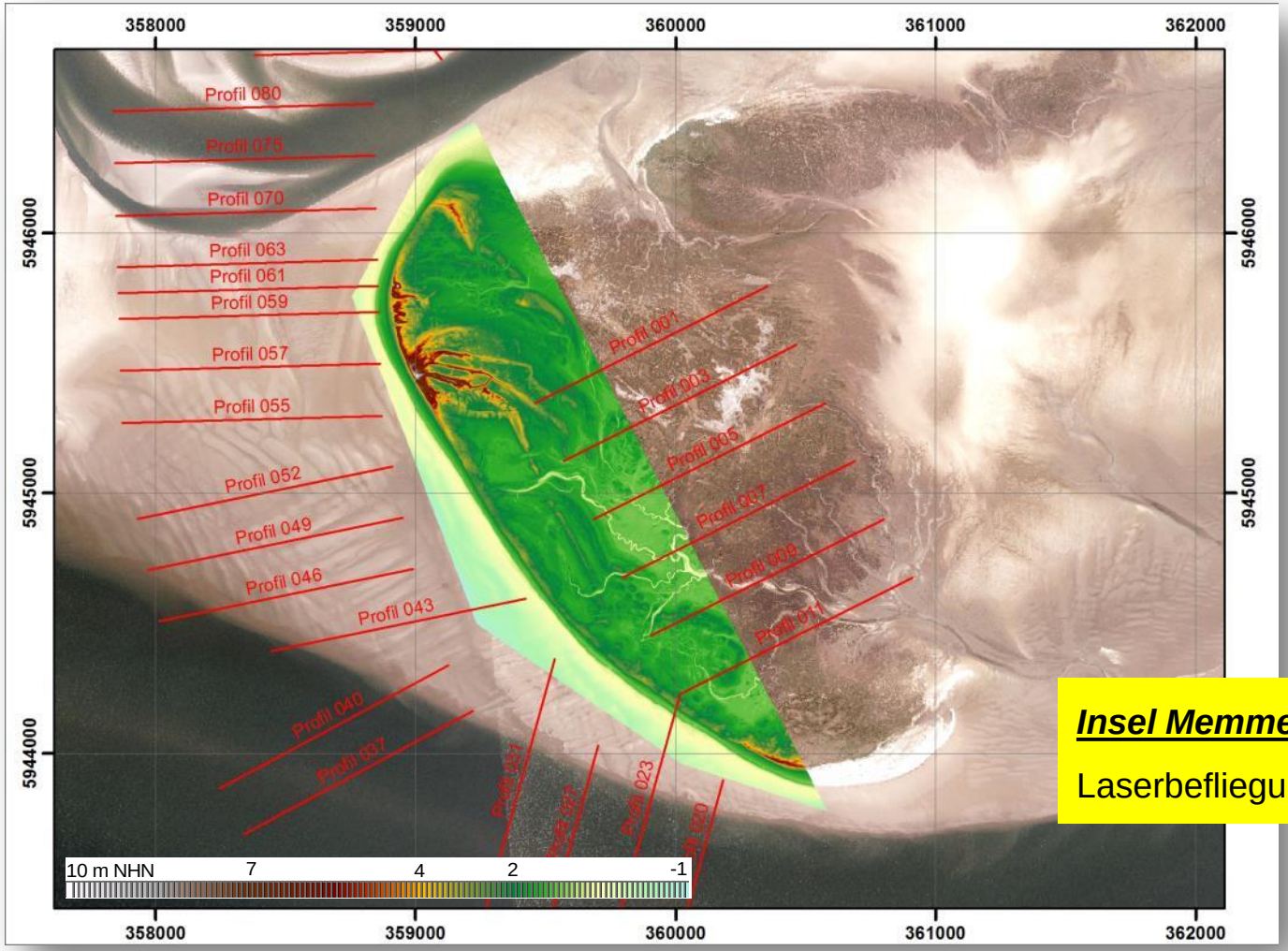
Erfassung der Gestaltungsvorgänge auf den Ostfriesischen Inseln



Insel Memmert

Laserbefliegung 1999

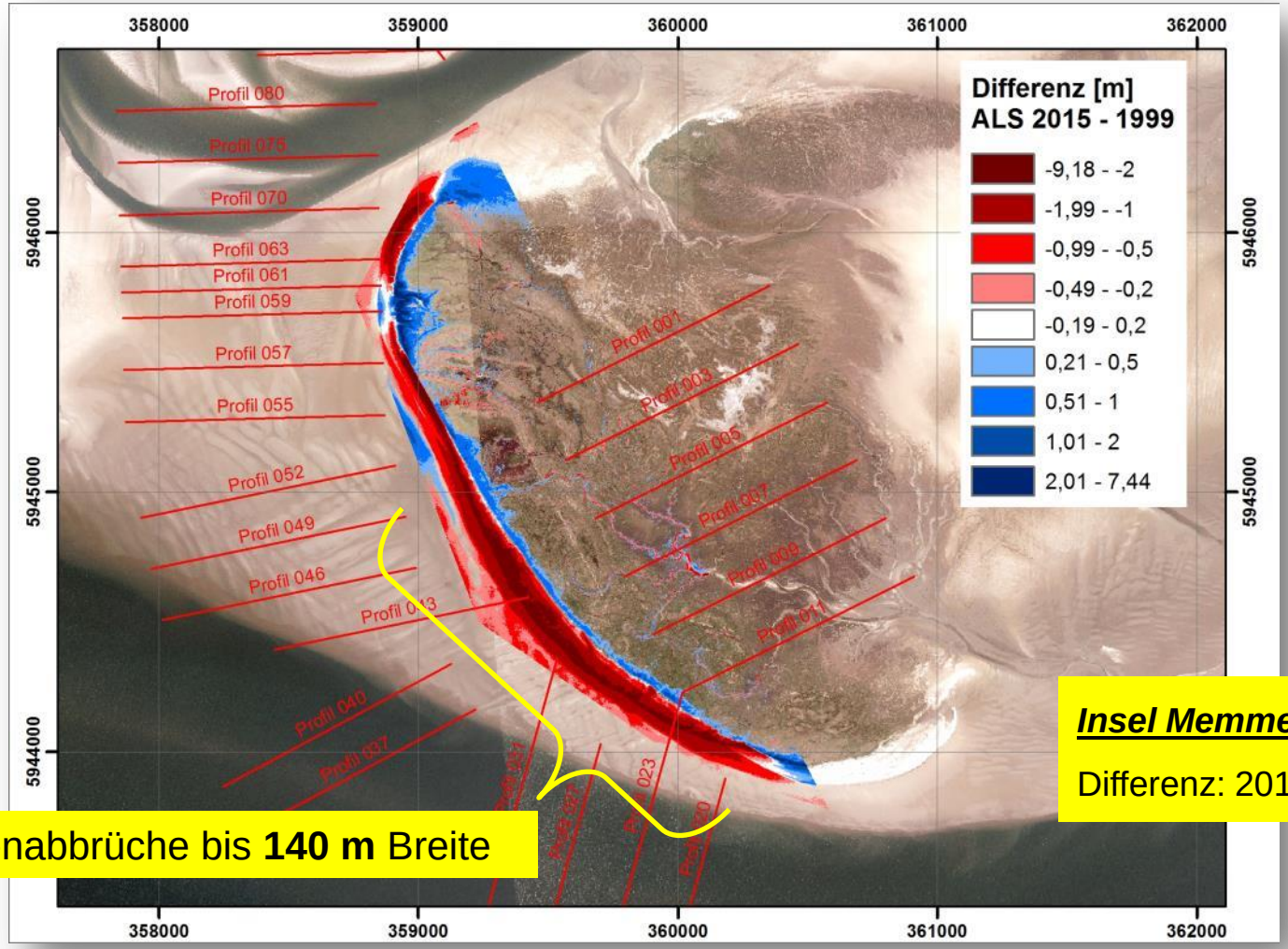
Erfassung der Gestaltungsvorgänge auf den Ostfriesischen Inseln



Insel Memmert

Laserbefliegung 2015

Erfassung der Gestaltungsvorgänge auf den Ostfriesischen Inseln



Dünenabbrüche bis **140 m** Breite

Insel Memmert

Differenz: 2015 minus 1999

UAS (Unmanned Aerial System) / unbemanntes Luftfahrzeugsystem

Zielsetzung:

- Erfassung von hochauflösenden Luftbildern (GSD = 1 bis 3 cm)
- Ableitung von Orthomosaiken
- Berechnung von 3D- Punktwolken und Oberflächenmodellen in Vermessungsqualität

Anwendungen im NLWKN:

- Schutzdünen-/Strandvermessung zur Dokumentation von Dünenabbrüchen nach Sturmflutereignissen, Aufmaß und Nachweis der Wirkung von Sandfangzäunen
- Deichvorlandmanagement Inseln, Festland (Lahnungen, Deckwerke), Datengrundlage Heller-GIS
- Dokumentation des Baufortschritt
- Naturschutzgebiete (Datengrundlage für Kartierungen)
- Vermessung von Lagerplätzen (Materialbestimmung / Massenermittlungen)
- Sondereinsätze: Schadstoffunfall / Hochwasser
- …

⇨ **Verbesserung der Geobasisdaten**

UAS (Unmanned Aerial System) / unbemanntes Luftfahrzeugsystem

Anforderungen an das Luftfahrzeug

- Autonome „einfache“ Steuerung
- Sicheres und haltbares Flugsystem, wartungsfreundlich
- Selbstprüfende und ausfallsichere Abläufe für einen sicheren Betrieb
- Einsatz auch bei hohen Windgeschwindigkeiten (~ 4 bis 6 Bft)
- „Große“ Geländeabdeckung pro Flug (~ 1 km^2)

Beschaffung erfolgte nach Teststellungen im September 2015

UAS (Unmanned Aerial System) / unbemanntes Luftfahrzeugsystem

Unbemanntes Luftfahrzeug Trimble UX5(HP)

Hardware:

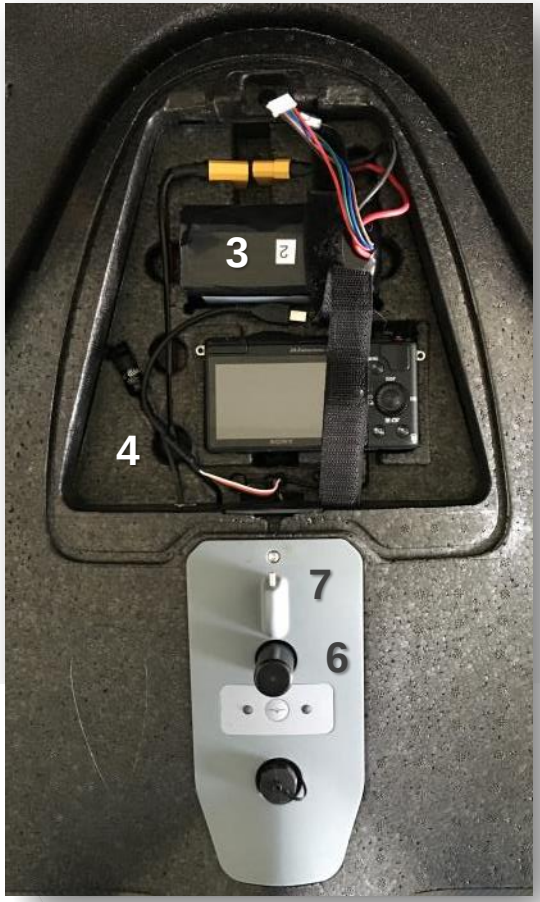
- Starrflügler
- Abmessung: 100 cm x 65 cm x10,5 cm
- Spannweite: 1 m
- Gewicht: 2,5 kg
- Flügelfläche: 34 dm^2
- Material: EPP-Schaumstoff, Rahmenstruktur aus Carbon
- Antrieb: 700 W bürstenloser E-Motor mit Druckpropeller
- Schubumkehr-Technologie für kurze und steile Landeanflüge

Flugbetrieb:

- Flugdauer: 50 Minuten
- Reichweite: 60 km
- Reisegeschwindigkeit: 80 km/h
- AGL (Höhe über Grund): 75 m bis 750 m
- Katapultstart / Bauchlandung
- Wetter-Limits: 65 km/h Wind / leichter Regen
- Reichweite Kommunikation und Steuerung: bis zu 5 km
- Bodenauflösung: 2 cm bis 19,5 cm

UAS (Unmanned Aerial System) / unbemanntes Luftfahrzeugsystem

Systemaufbau



1. Flugzeug, Kamera, eBox, Abdeckung
2. Tablett-PC, Funkmodem, Funkantenne
3. Flugakkus (14,8 V, 6.000 mAh)
4. Peilsender und Empfänger
5. Ladegeräte
6. GNSS Antenne
7. Luftfahrtmesser

UAS (Unmanned Aerial System) / unbemanntes Luftfahrzeugsystem

Systemaufbau

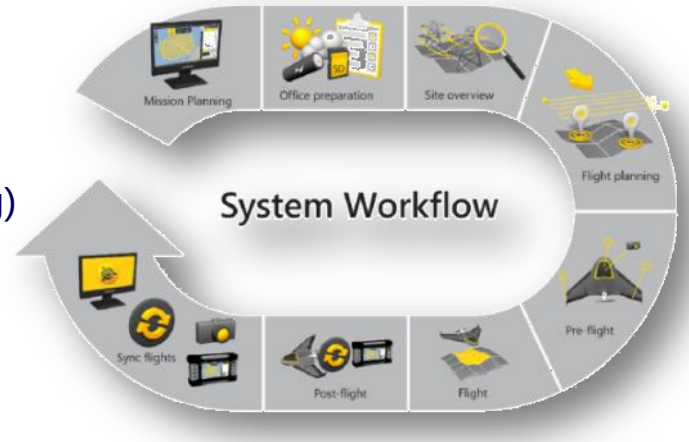
Sensor:

- Sony a5100 RGB, spiegellose Systemkamera
- 24 MP, APS-C Sensor
- Voigtländer 15 mm Weitwinkel Objektiv
  - feste Brennweite
  - feste Fokussierung (Komparator)
- Adapterring mit Schraubverschluss zwischen
- Kamera und Objektiv für stabile Optik
- Blickwinkel 76,15°

Flughöhe [m]	Bildgröße [m²]
75	118 x 78
100	157 x 104

UAS (Unmanned Aerial System) / unbemanntes Luftfahrzeugsystem

Ablauf des Bildfluges und Bildflugauswertung



- ✓ Missionsplanung im Büro (oder Notebook im Außendienst)
- ✓ Vorbereitung im Büro (System vorbereiten, Genehmigungen)
- ✓ Ortsbesichtigung (Hindernisse, Start-/Landeplatz, Steig-/Sinkflug)
- ✓ Passpunktvermessung für amtlichen Lage- und Höhenbezug
- ✓ Flugplanung (Simulation) / Flugvorbereitung (Checkliste) /
- ✓ Vollautomatischer Bildflug
- ✓ Flugnachbereitung / Synchronisation der Bilder
- ✓ Luftbildauswertung, Orthofotoerstellung und Ableitung von 3D-Punktwolken und Oberflächenmodellen

Voraussetzung gewerblicher Nutzen:

- ✓ Hersteller Zertifikat zum „Remote Pilot“
- ✓ Versicherung für UAS
- ✓ Allgemeine Aufstiegsgenehmigung für UAS (Luftfahrtbehörde)

TRIMBLE UX5
AERIAL IMAGING ROVER

CERTIFICATE

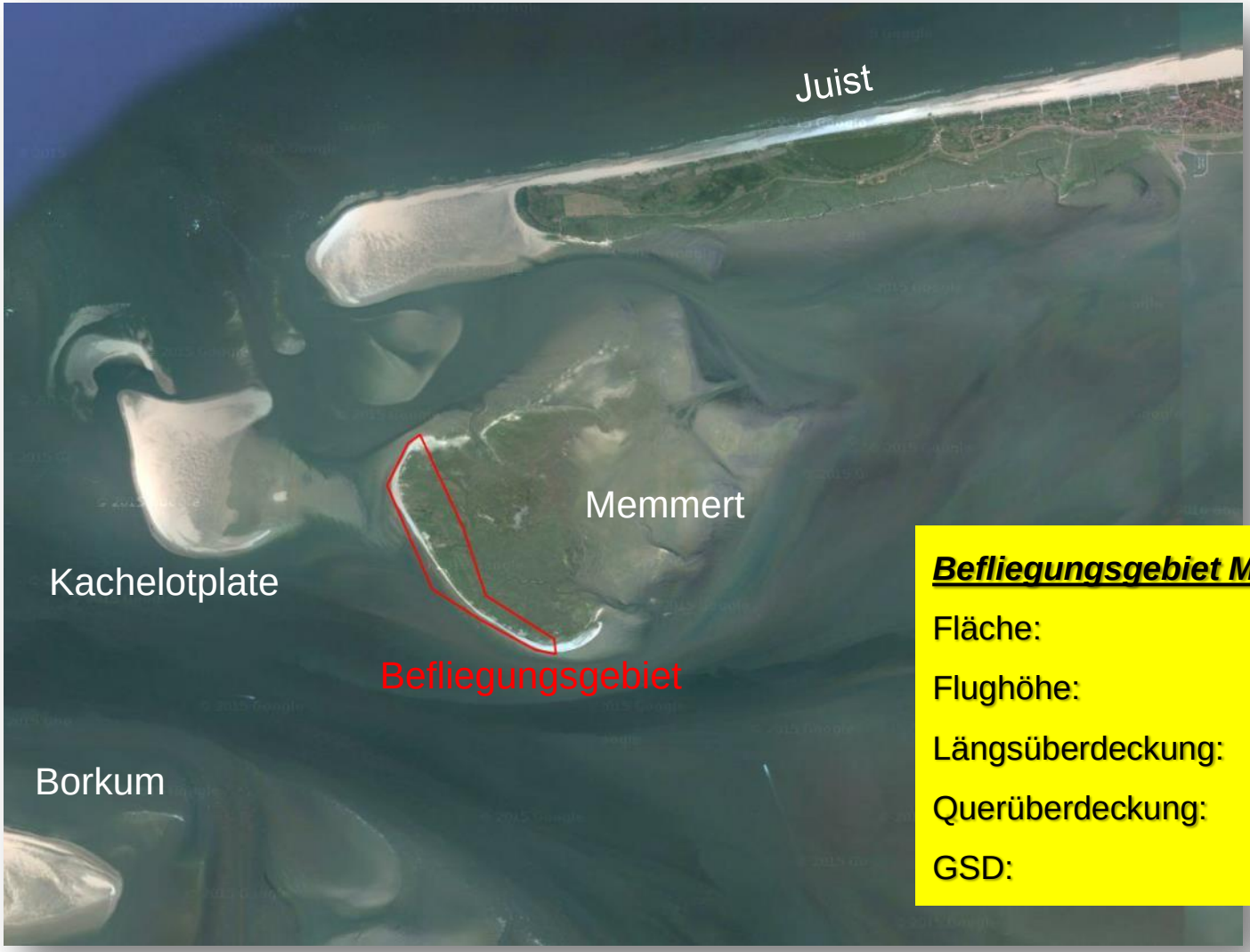
Holger Dirks

TRIMBLE UX5 AERIAL IMAGING ROVER

REMOTE PILOT

Trimble

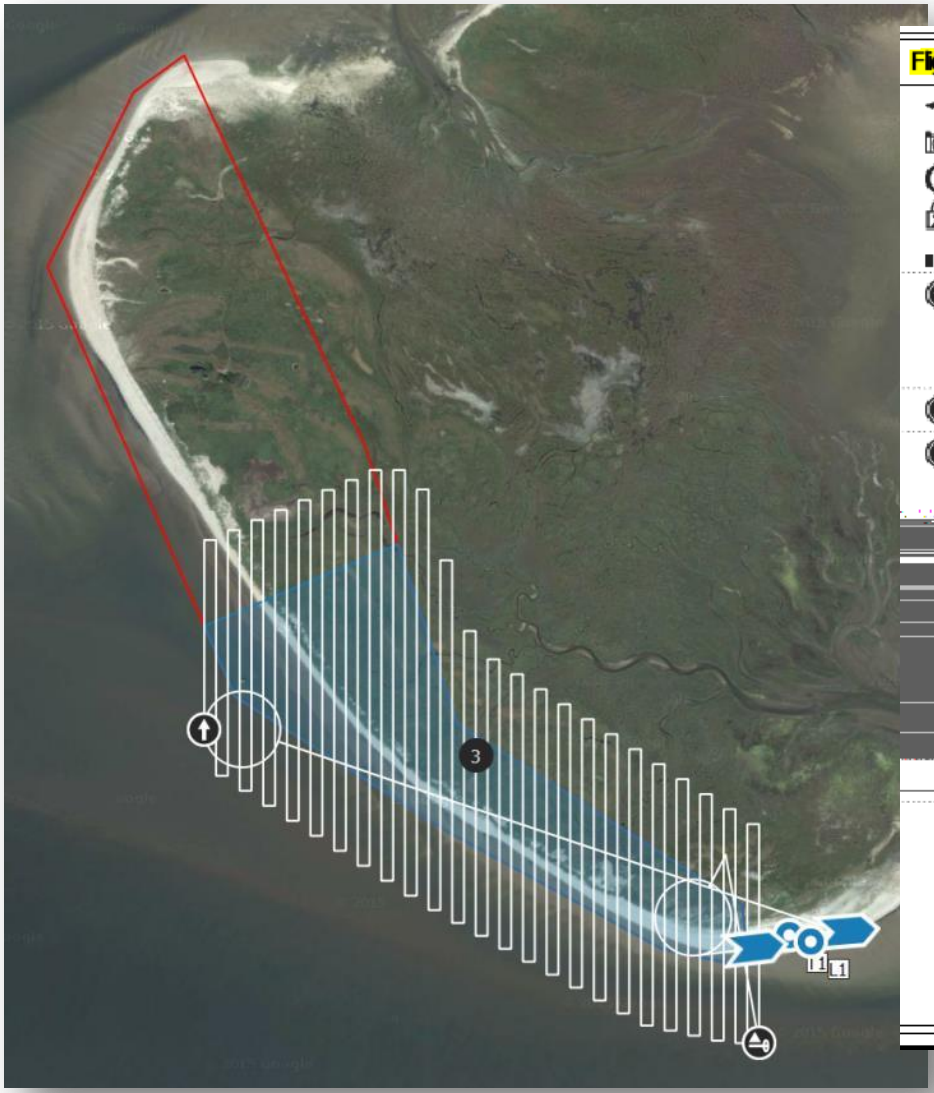
UAS Einsatz Insel Memmert



Befliegungsgebiet Memmert (16.03.2016):

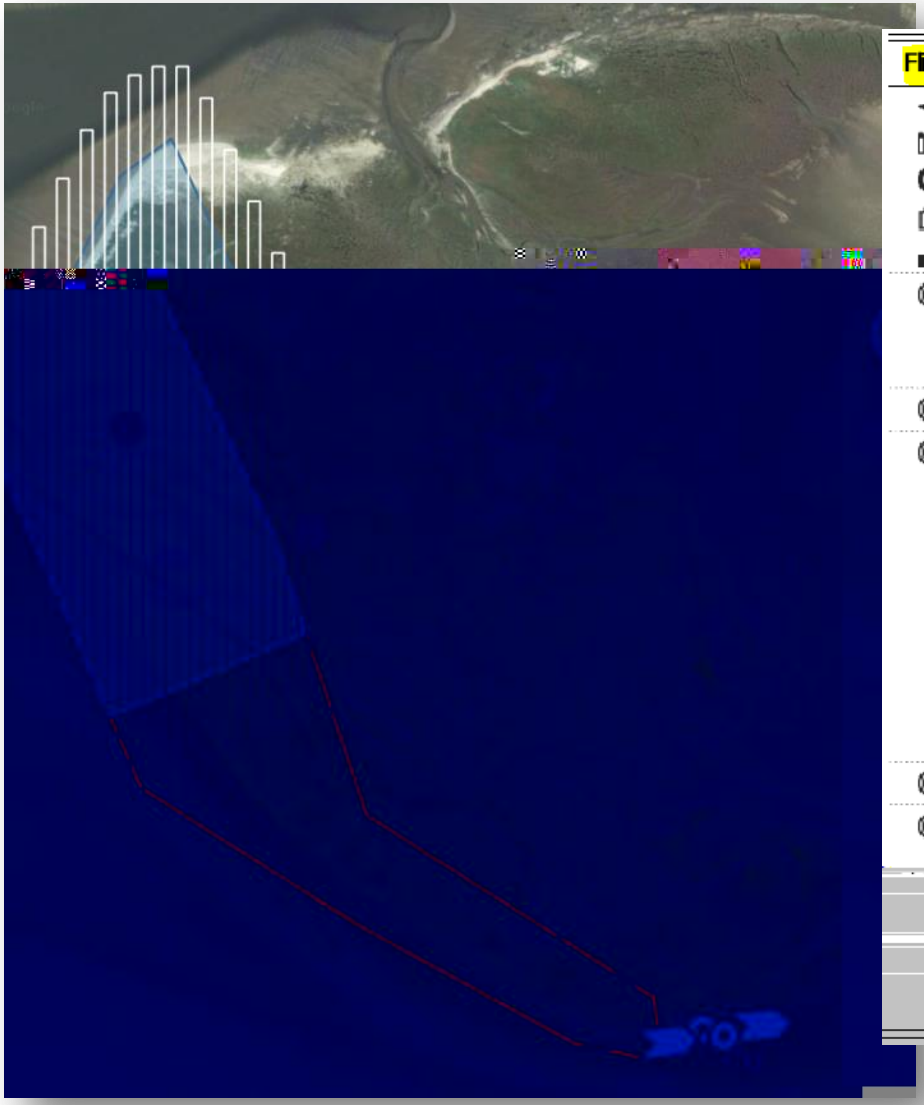
Fläche:	1,183 km²
Flughöhe:	100 m AGL
Längsüberdeckung:	80 %
Querüberdeckung:	80%
GSD:	2,6 cm

UAS Einsatz Insel Memmert



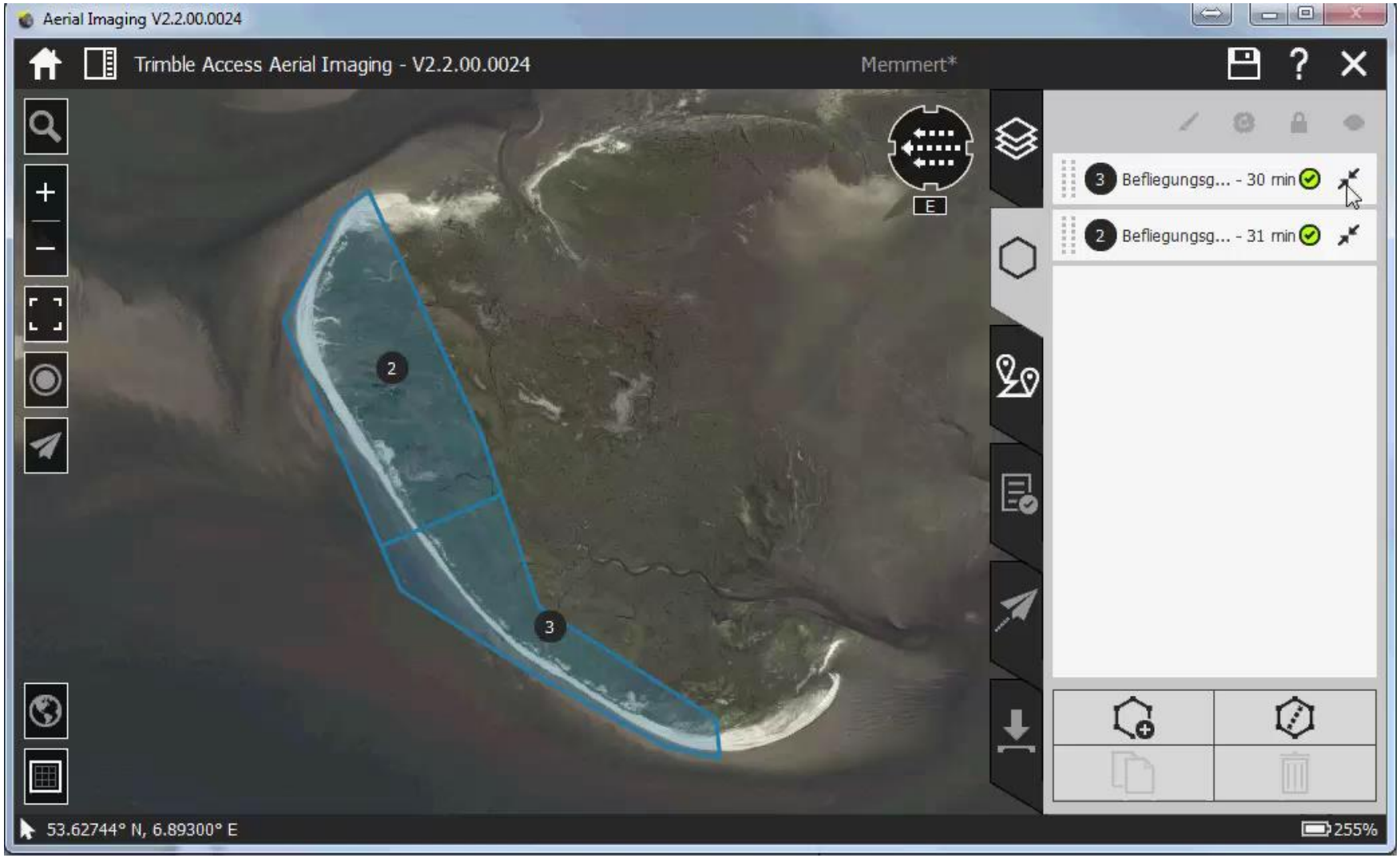
Flight 1	
Rover	UX5
Sensor	Sony a5100 15 mm
Duration	38 min
N° images	874
Communication timeout	200 sec
Takeoff 1	
Location	53.62552° N, 6.89332° E, Fixed
Heading	85°
Connection	Straight up
Befliegungsgebiet_v2 block 1 split_2	
Entry	Left
[illegible]	[illegible]
[illegible] m	Height
[illegible] %	Forward overlap
[illegible] %	Side overlap
[illegible] km²	Surface area
[illegible]	N° images
23 min	Duration
Forward down	Connection
	Landing 1
53.62538° N, 6.89419° E, Fixed	Location
83°	Heading
0 m	Offset
Left	Entry
Curved	Type

UAS Einsatz Insel Memmert

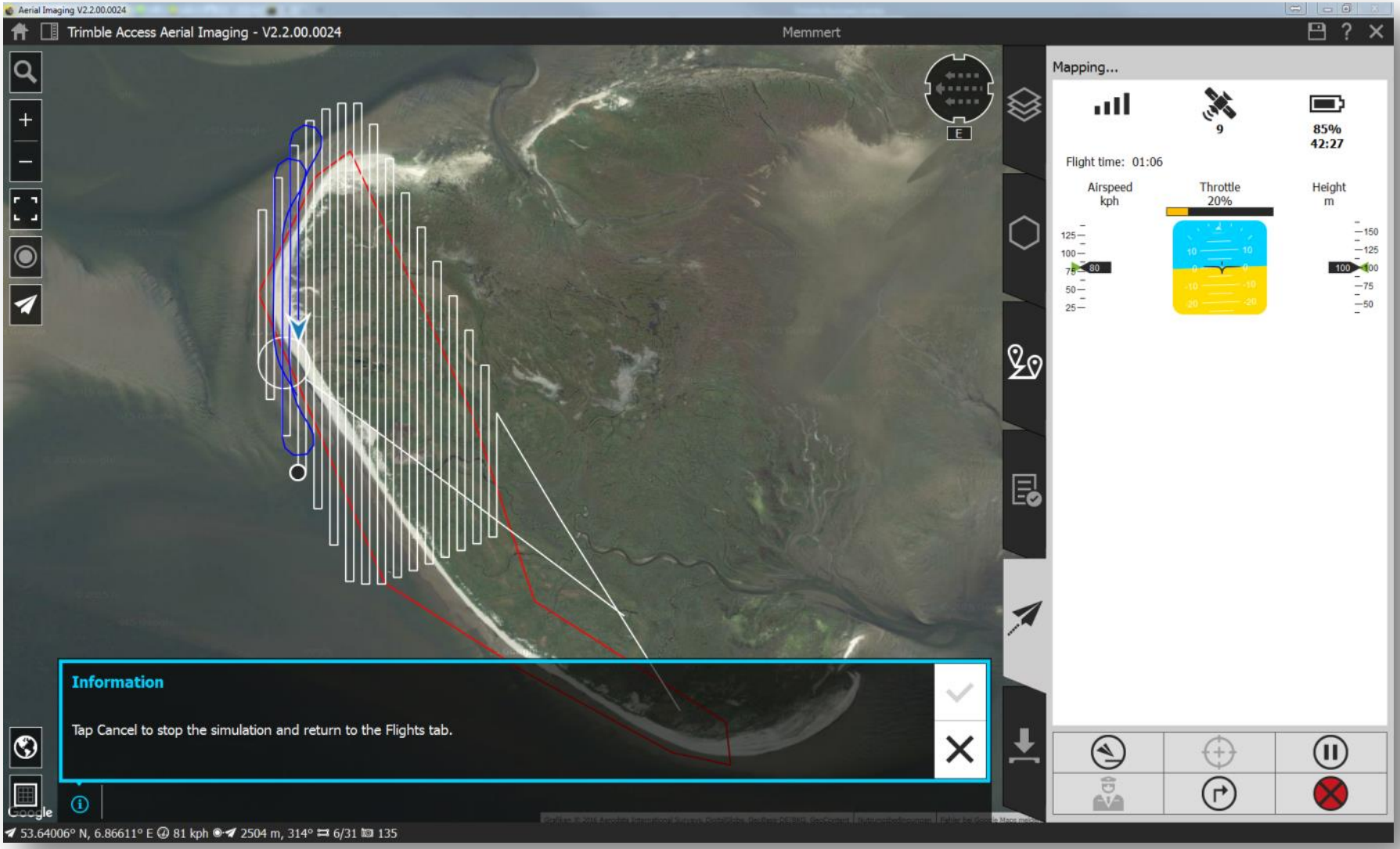


Flight 2	
Rover	UX5
Sensor	Sony a5100 15 mm
Duration	41 min
N° images	1251
Communication timeout	600 sec
Takeoff 1	
Location	53.62552° N, 6.89332° E, Fixed
Heading	85°
Connection	Straight up
Befliegungsgebiet_v2 block 1 split_1	
Entry	Left
GSD	2.61 cm
Height	100 m
Forward overlap	80%
Side overlap	80%
Surface area	0.71 km²
N° images	1251
Duration	30 min
Connection	Forward down
Landing 1	
Location	53.62538° N, 6.89419° E, Fixed
85°	Heading
0 m	Offset
Left	Entry
Curved	Type

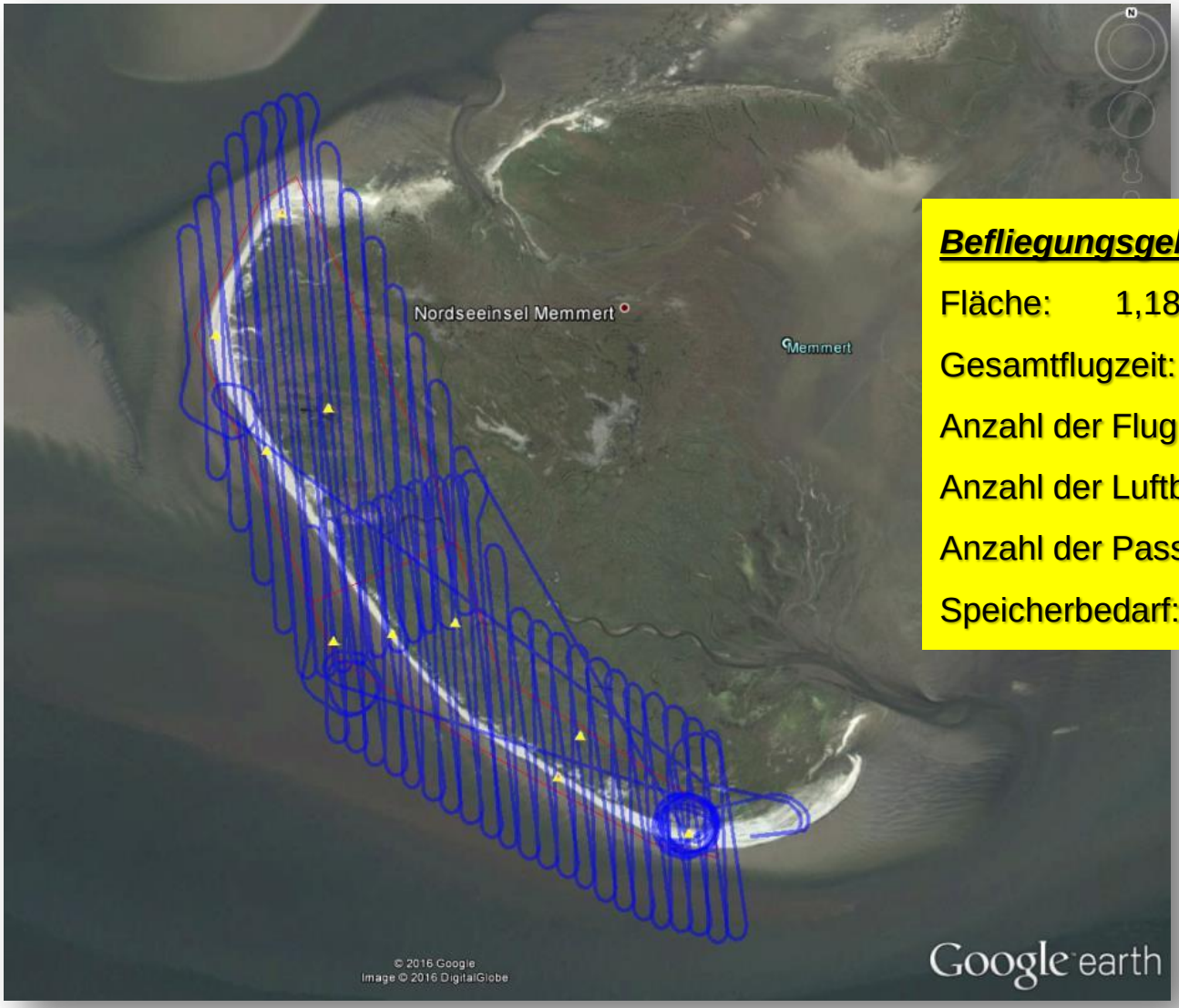
UAS Einsatz Insel Memmert



UAS Einsatz Insel Memmert



UAS Einsatz Insel Memmert



Befliegungsgebiet Memmert:

Fläche: 1,183 km²

Gesamtflugzeit: 79 min

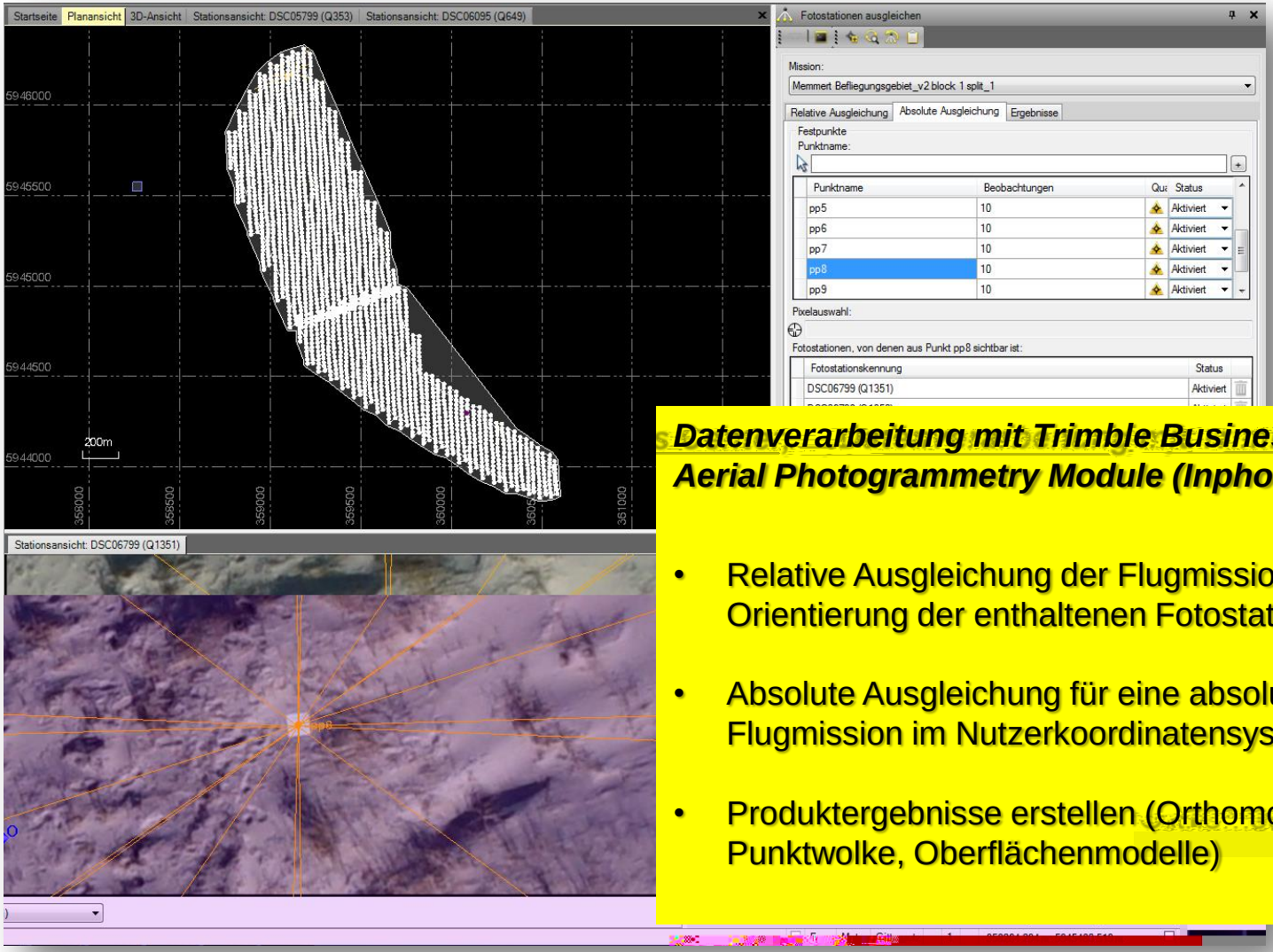
Anzahl der Fluglinien: 74

Anzahl der Luftbilder: 2.156

Anzahl der Passpunkte: 10

Speicherbedarf: 19,7 GB (Rohdaten)

UAS Einsatz Insel Memmert, Datenverarbeitung



Datenverarbeitung mit Trimble Business Center, Aerial Photogrammetry Module (Inpho Technologie)

- Relative Ausgleichung der Flugmission für eine relative Orientierung der enthaltenen Fotostationen
- Absolute Ausgleichung für eine absolute Orientierung der Flugmission im Nutzerkoordinatensystem
- Produktergebnisse erstellen (Orthomosaike, 3D-Punktwolke, Oberflächenmodelle)

UAS Einsatz Insel Memmert, Datenverarbeitung

Ergebnis der Relativen Ausgleichung der Flugmission

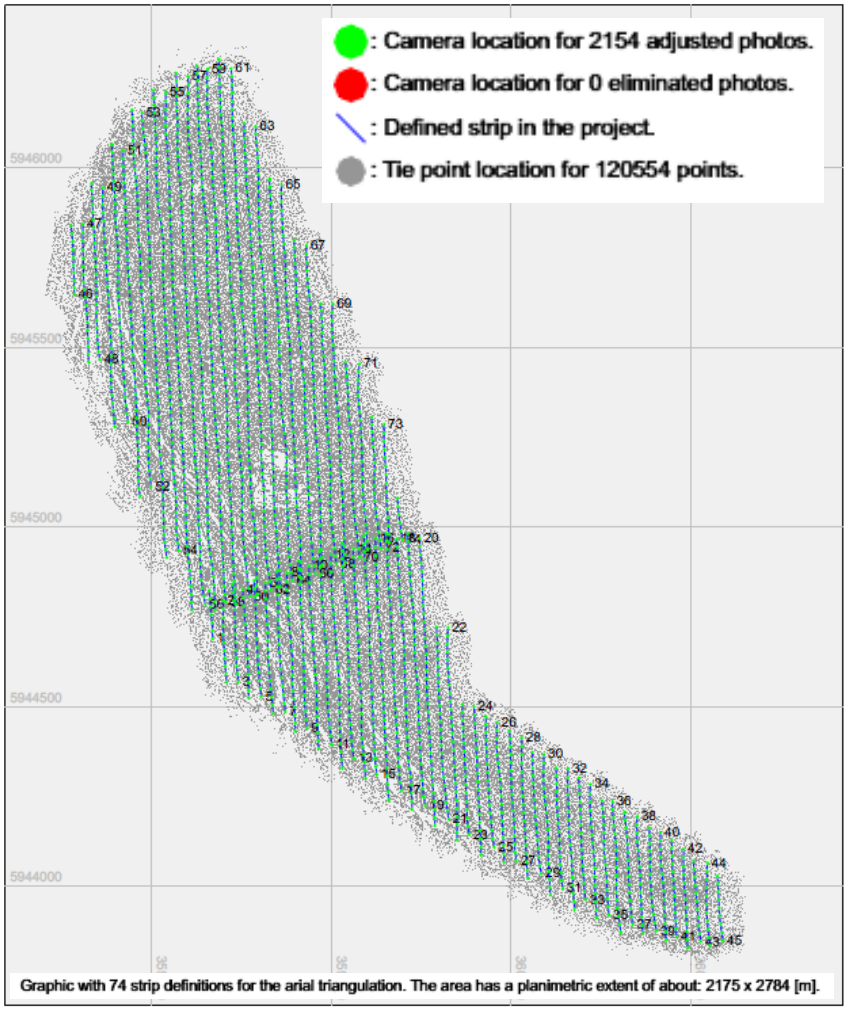
Processing Report

General project information

Project name	
Process	Geo-referencing
Processing date / time	Sun Mar 27 23:37:27 2016
Result file	C:\Users\NO424\AppData\Local\Temp\UASBox\10.10-Adjustment Report \uasbox_iter.prj
Number of used images	2154 of 2154
Number of used cameras	2 of 2
Number of strips	74
Flying height (min/avg/ max)	85.9 / 95.0 / 107.9 [m]
Terrain height (min/avg/ max)	-7.7 / 1.1 / 11.7 [m]
Avgerage photo scale	1 : 6444
Coordinate system	PROJCS["UTM_Zone_32", GEOGCS["Germany/ UTM",DATUM["ETRF89",SPHEROID["Geodetic_Ref_System_1980", 6378137,298.257222101004], TOWGS84[0,0,0,0,0,0,0]], PRIMEM["Greenwich",0.0], UNIT["Degree",0.0174532925199433]], PROJECTION["Transverse_Mercator"], PARAMETER["central_meridian",9], PARAMETER["scale_factor",0.9996], PARAMETER["latitude_of_origin",0], PARAMETER["false_easting",500000], PARAMETER["false_northing",0], UNIT["Meter",1]]
Warnings	Calibration directory [C:/Users/NO424/AppData/Local/Temp/UASBox/10.10-Adjustment Report/../10.9-calibration] does not exist.

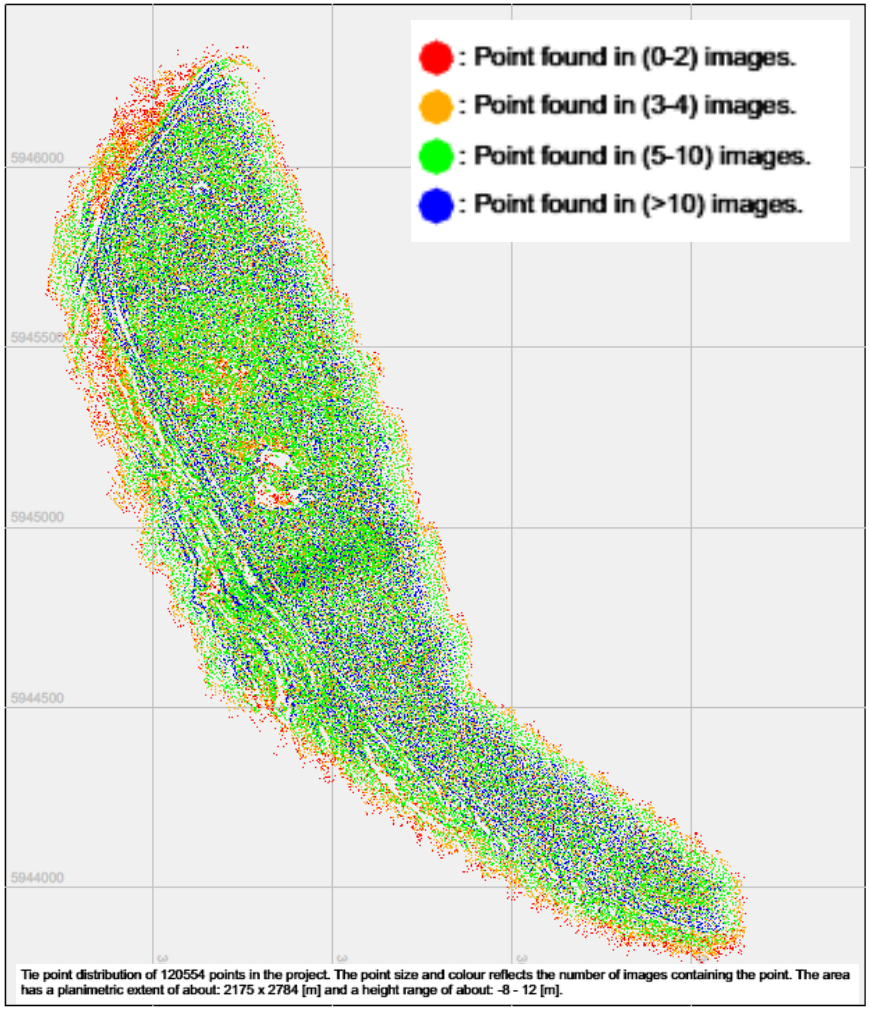
Ergebnis der Relativen Ausgleichung der Flugmission

Flight overview



Graphic with 74 strip definitions for the arial triangulation. The area has a planimetric extent of about: 2175 x 2784 [m].

Tie point distribution



Tie point distribution of 120554 points in the project. The point size and colour reflects the number of images containing the point. The area has a planimetric extent of about: 2175 x 2784 [m] and a height range of about: -8 - 12 [m].

Ergebnis der Absoluten Ausgleichung der Flugmission

Block adjustment results

Parameters for block adjustment

GNSS-Mode	ON
Earth curvature correction	ON
Refraction correction	ON

Accuracy of block adjustment

Sigma naught [micron]	3.0609

Mean standard deviation of translations

X [m]	Y [m]	Z [m]	Total [m]
0.0140	0.0168	0.0158	0.0270

Mean standard deviation of rotations

Omega [deg/1000]	Phi [deg/1000]	Kappa [deg/1000]
9.6859	7.3619	2.4484

Mean standard deviation of ground control points

X [m]	Y [m]	Z [m]	Total [m]
0.0116	0.0100	0.0297	0.0334

Ergebnis der Absoluten Ausgleichung der Flugmission

Ground Control points

Ground Control point errors

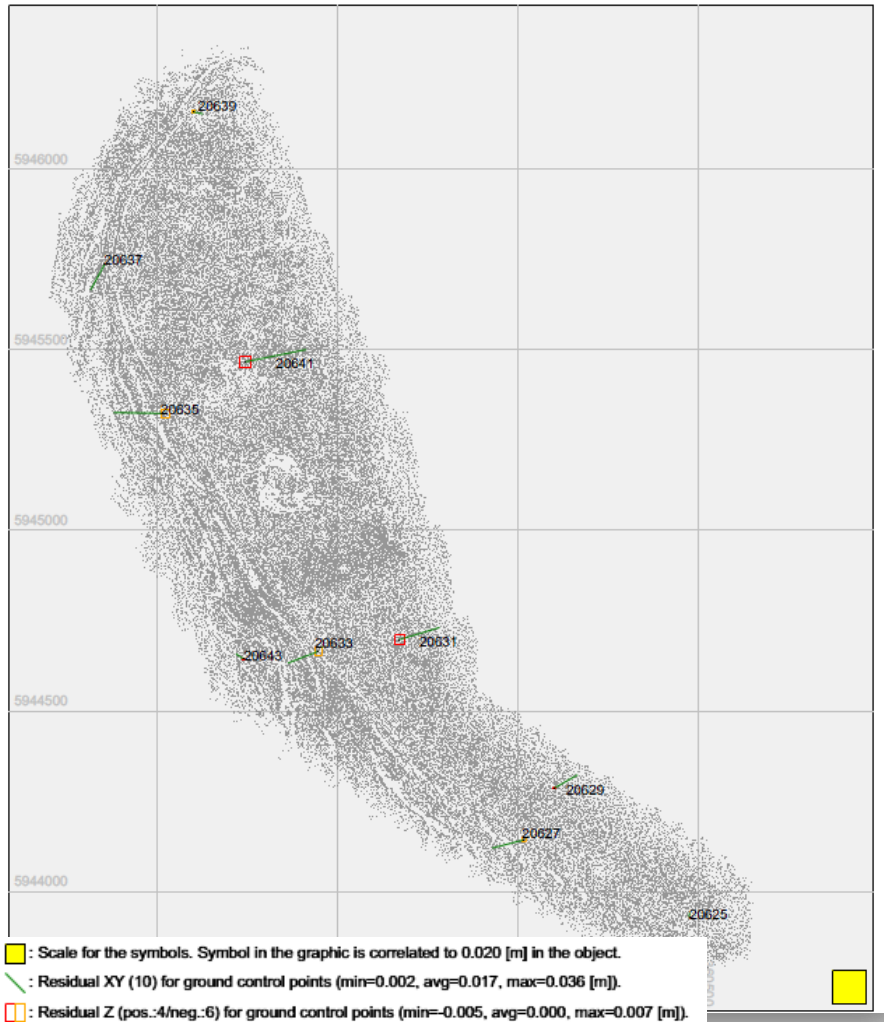
	ID	Fold	X [m]	Y [m]	Z [m]	Total [m]	Remark
1	20625	10	-0.0002	-0.0022	0.0004	0.0022	
2	20627	10	0.0184	0.0048	0.0025	0.0192	
3	20629	10	-0.0136	-0.0077	-0.0013	0.0157	
4	20631	10	-0.0236	-0.0072	-0.0058	0.0253	
5	20633	10	0.0177	0.0069	0.0044	0.0195	
6	20635	10	0.0299	-0.0005	0.0051	0.0303	
7	20637	10	0.0082	0.0149	0.0003	0.0170	
8	20639	10	-0.0053	0.0010	0.0017	0.0056	
9	20641	10	-0.0356	-0.0072	-0.0065	0.0369	
10	20643	10	0.0040	-0.0027	-0.0009	0.0049	
	Mean		0.0000	0.0000	-0.0000		
	Sigma		0.0202	0.0072	0.0038		
	RMS		0.0191	0.0068	0.0036		
	Maximum		-0.0356	0.0149	-0.0065		

Luftbildpasspunkt, 30 cm x 30 cm

7 km Laufstrecke für die Passpunktvermessung

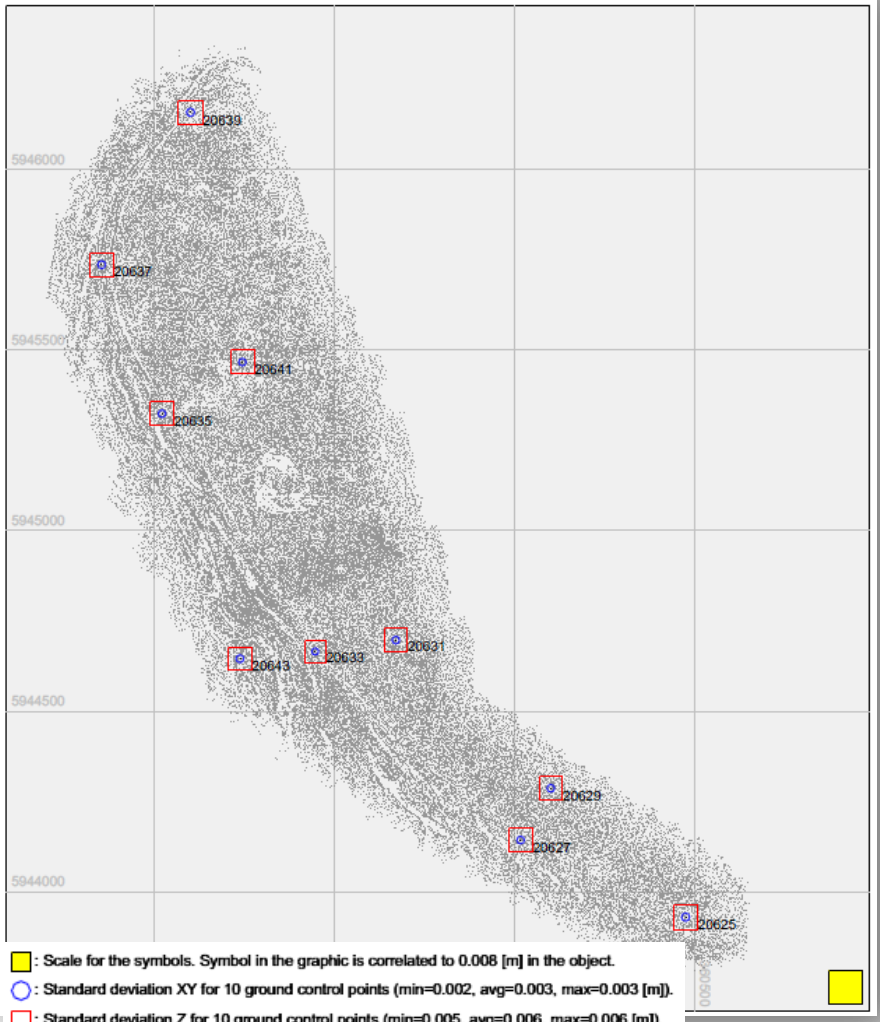
Ergebnis der Absoluten Ausgleichung der Flugmission

Ground Control point residuals



: Scale for the symbols. Symbol in the graphic is correlated to 0.020 [m] in the object.
: Residual XY (10) for ground control points (min=0.002, avg=0.017, max=0.036 [m]).
: Residual Z (pos.:4/neg.:6) for ground control points (min=-0.005, avg=0.000, max=0.007 [m]).
: Tie point location for 87204 points.

Ground Control point standard deviations



: Scale for the symbols. Symbol in the graphic is correlated to 0.008 [m] in the object.
: Standard deviation XY for 10 ground control points (min=0.002, avg=0.003, max=0.003 [m]).
: Standard deviation Z for 10 ground control points (min=0.005, avg=0.006, max=0.006 [m]).
: Tie point location for 87204 points.

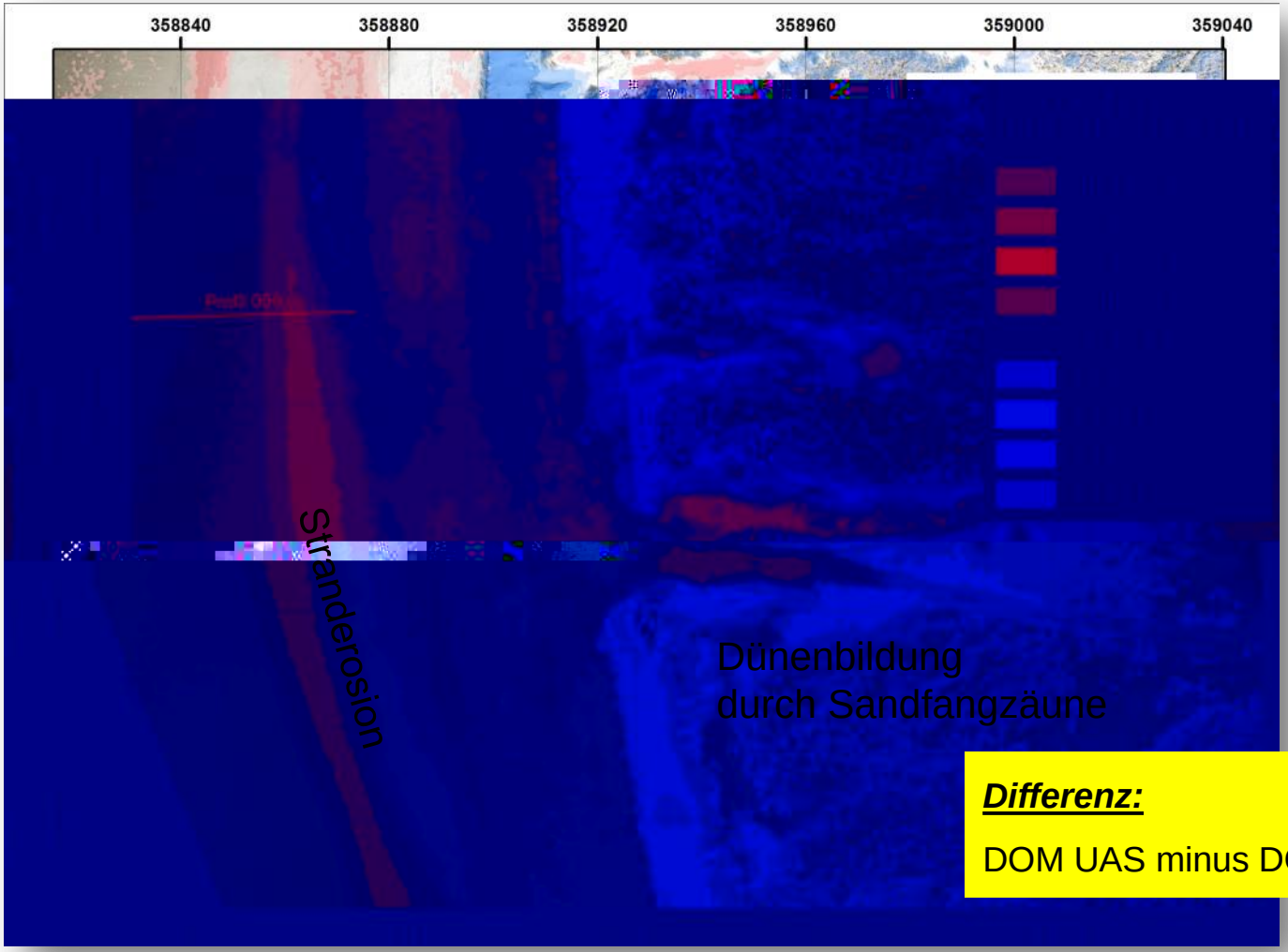
Ergebnisse des UAS Einsatzes Insel Memmert

Ergebnisse:

- 14 Orthomosaike
  - Pixelgröße: 2 cm
  - Speichergröße ~ 2 GB pro Bild
  - Gesamtspeicher 28,9 GB
- 3D Punktwolke (2 cm Auflösung)
  - Punktanzahl: 226.033.239
- Digitales Oberflächenmodell

Ergebnisse des UAS Einsatzes Insel Memmert

Ergebnisse des UAS Einsatzes Insel Memmert



Differenz:

DOM UAS minus DOM ALS 2015

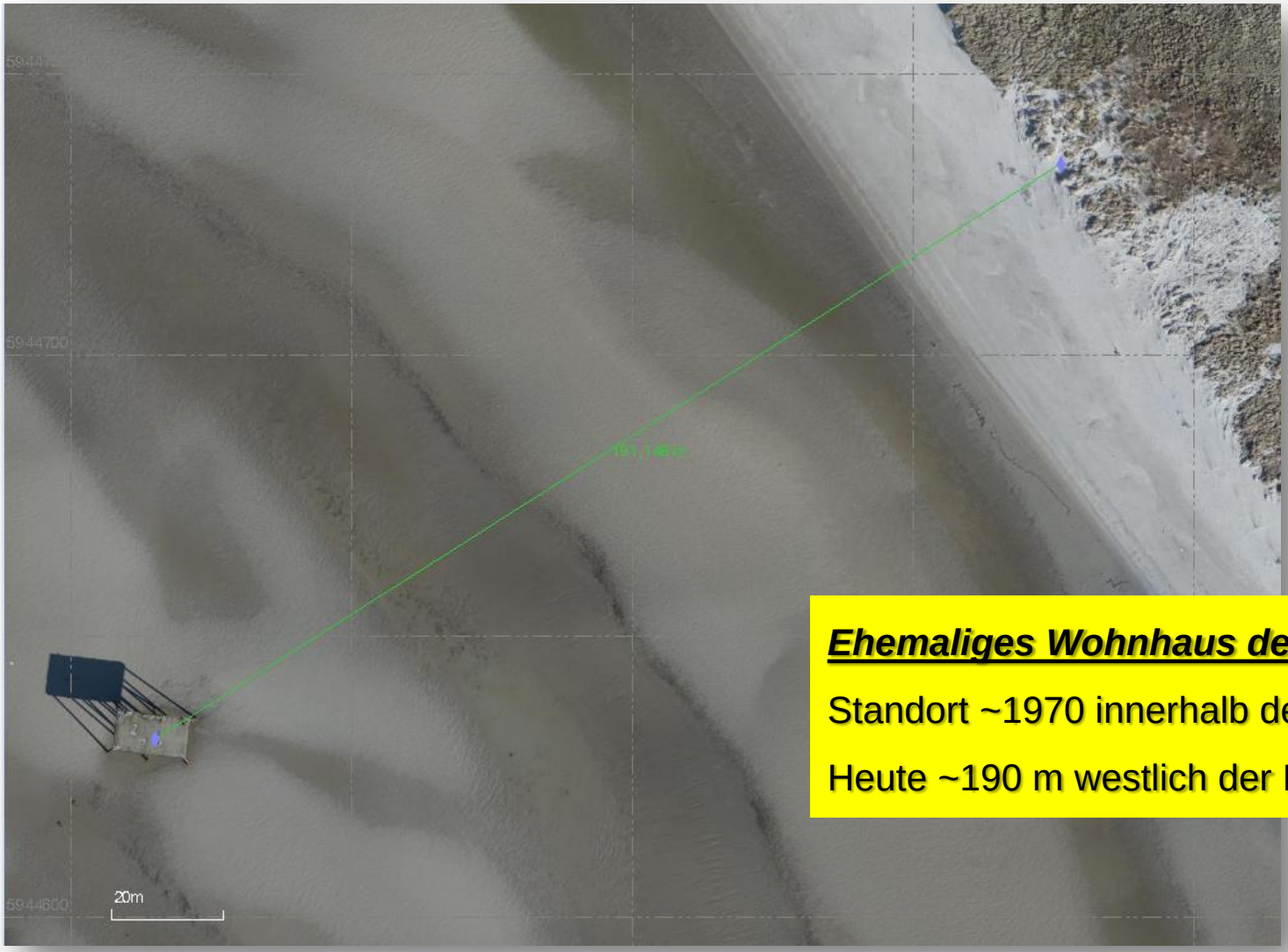
Ergebnisse des UAS Einsatzes Insel Memmert

Ergebnisse:

- 14 Orthomosaike
  - Pixelgröße: 2 cm
  - Speichergröße ~ 2 GB pro Bild
  - Gesamtspeicher 28,9 GB
- 3D Punktwolke (2 cm Auflösung)
  - Punktanzahl: 226.033.239
- Digitales Oberflächenmodell

Ergebnisse des UAS Einsatzes Insel Memmert

Ergebnisse des UAS Einsatzes Insel Memmert

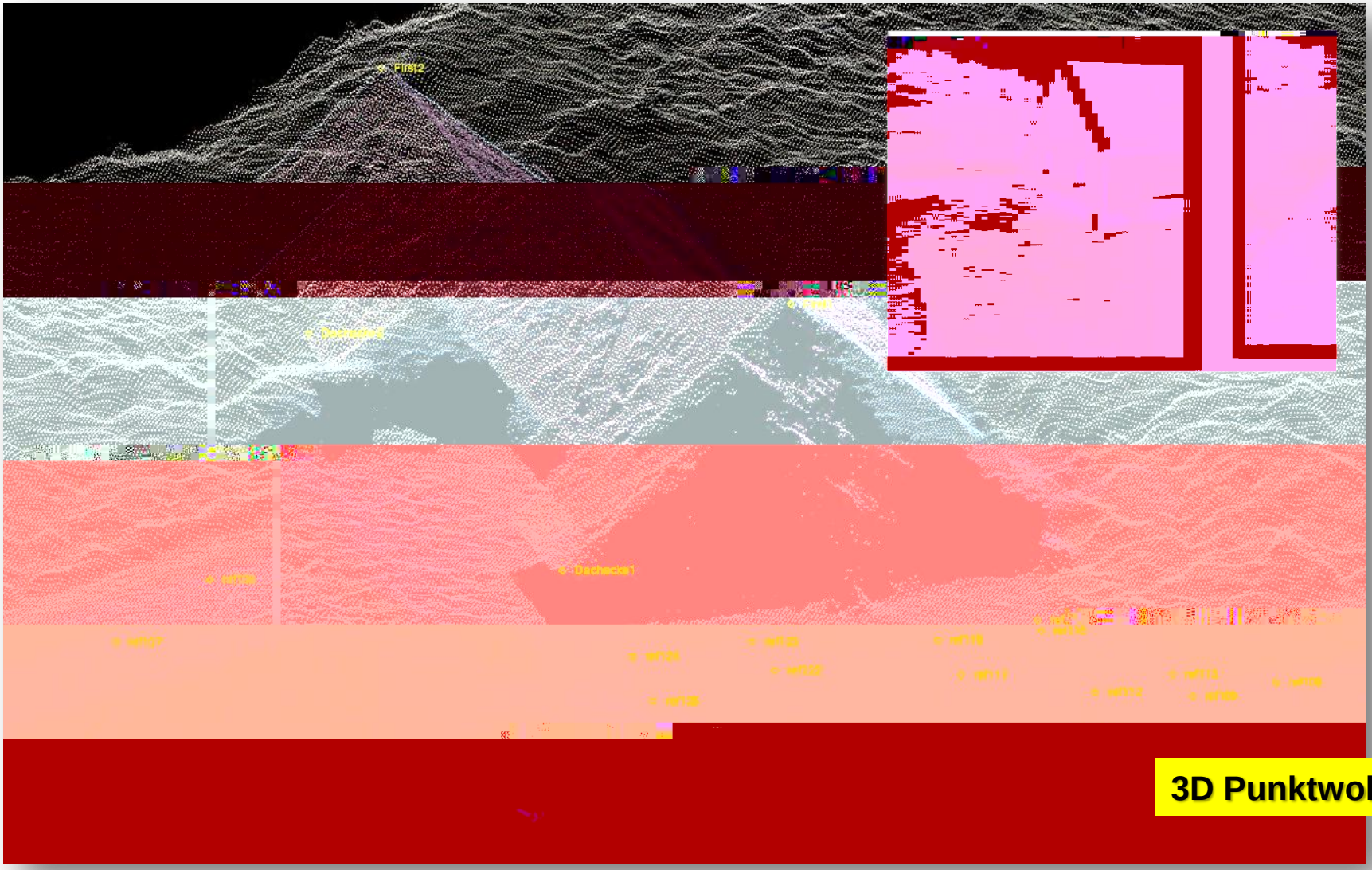


Ehemaliges Wohnhaus des Inselvogtes

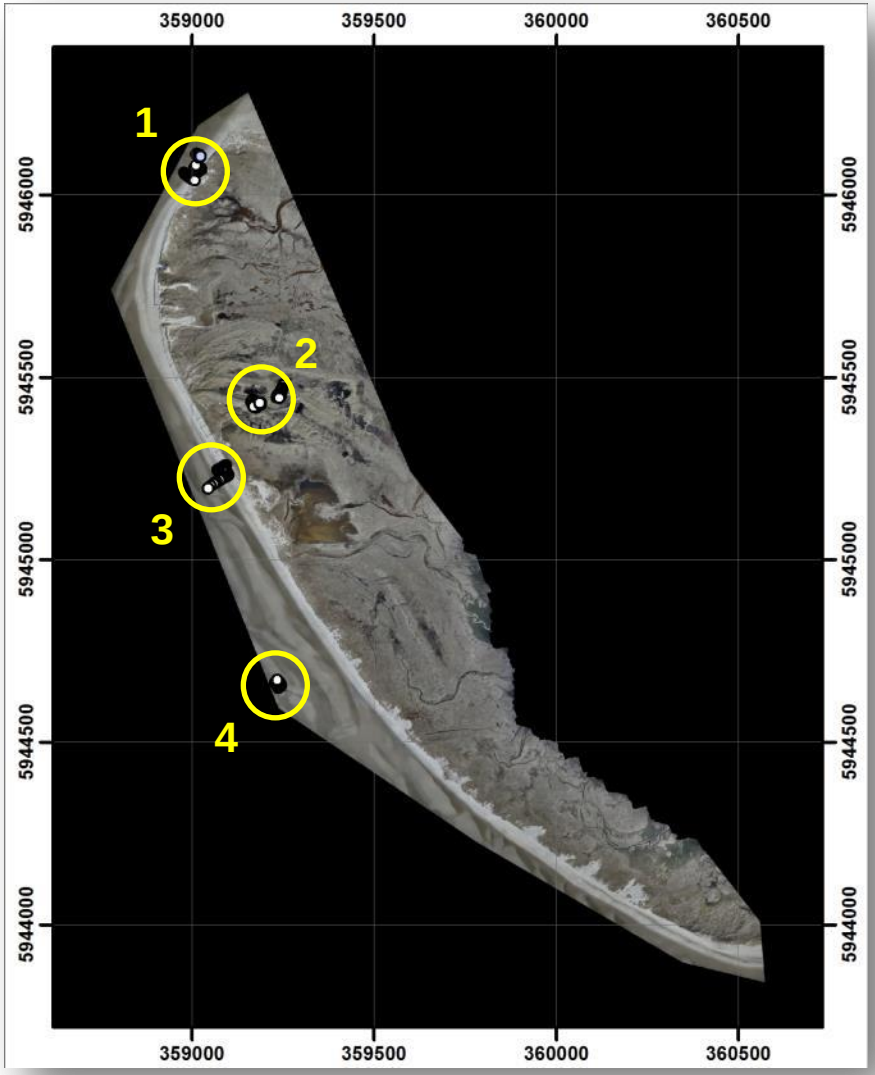
Standort ~1970 innerhalb der Dünen

Heute ~190 m westlich der Dünen

Qualitätsnachweis - Lagekontrolle

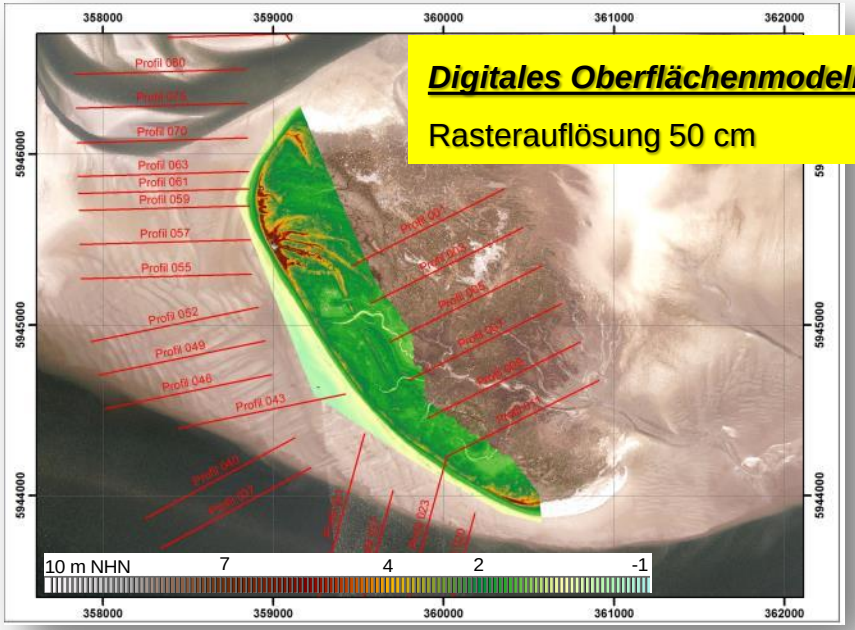


Qualitätsnachweis – Höhenkontrolle des DOM



RTK GNSS bestimmte Kontrollpunkte

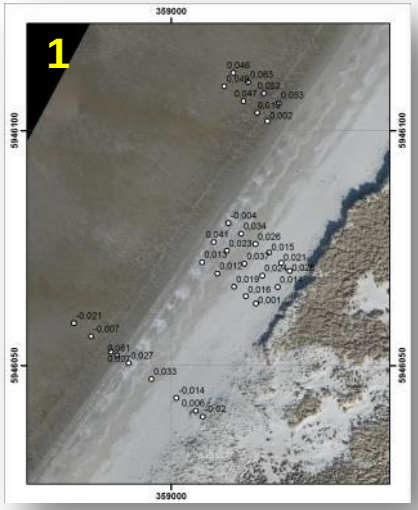
Differenz: DOM minus GNSS-Höhe

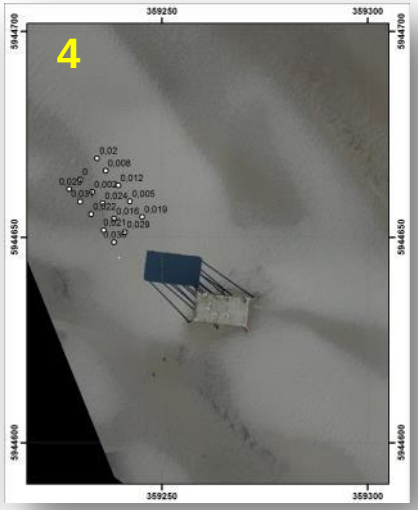


Digitales Oberflächenmodell

Rasterauflösung 50 cm

Qualitätsnachweis – Höhenkontrolle des DOM





Referenz	Anzahl Messpunkte	Höhendiff. Minimum [m]	Höhendiff. Maximum [m]	Höhendiff. Mittelwert [m]	Höhendiff. Stabw. [m]	Bemerkung
Gebiet 1	33	-0,021	0,063	0,022	0,022	Strand
Gebiet 2a	39	-0,081	0,144	-0,015	0,049	Befestigte Fläche
Gebiet 2b	21	-0,161	0,049	-0,021	0,050	Düne
Gebiet 3	45	-0,048	0,017	-0,012	0,015	Strand
Gebiet 4	15	0,000	0,036	0,018	0,010	Strand

Ausblick

Passpunktlose UAS Befliegungen, Trimble UX5(HP)

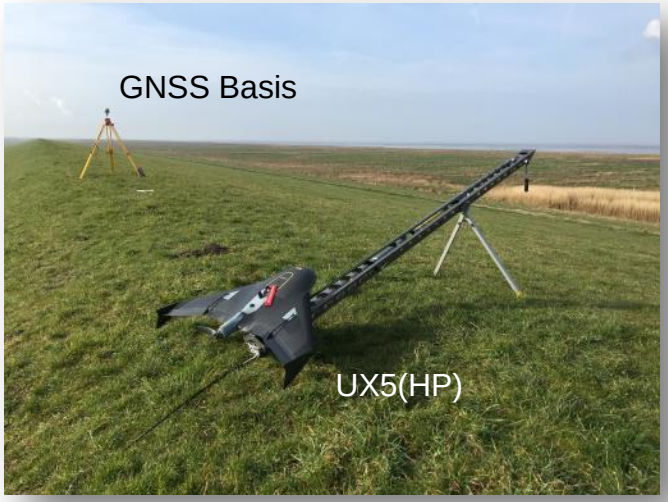
Sony a7R

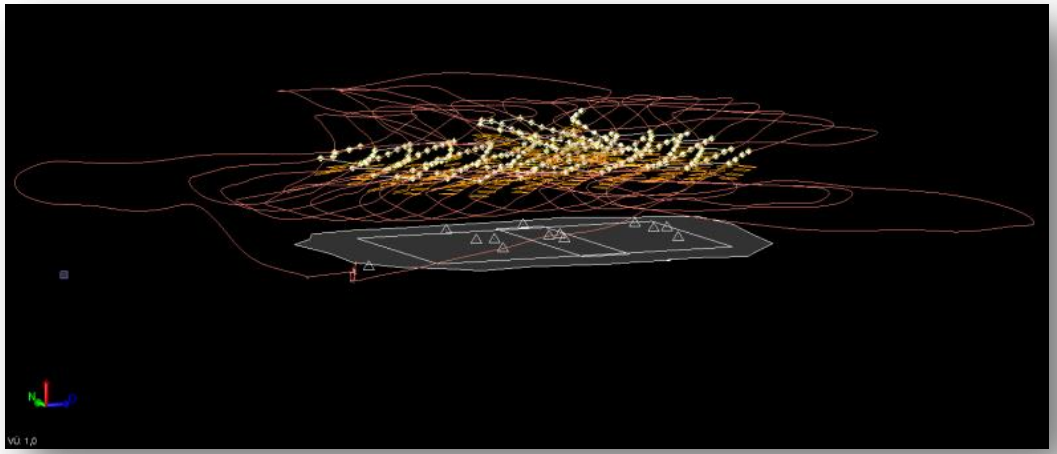
- Integration eines PPK GNSS Empfängers zur Bestimmung sehr genauer Bildpositionen im absolutem Koordinatensystem

  (PPK = post-processed kinematik = nachprozessierte kinematische Daten, 20 Hz Rohdatenaufzeichnung))
- Erlaubt die Kartierung unzugänglicher Gebiete
- Weniger Feldarbeit durch Verzicht auf Passpunkte („Nur noch fliegen …“)
- Orthomosaike mit GSD von 1 cm durch Einsatz eines 36 MP Vollformatkamerasensor

	UX5 (Passpunkte)	UX5 HP (GNSS)
max. Auflösung	2cm	1cm
RMS (XY / Z)	1 GSD	bis zu 2-5 cm
Max Punkte / m²	~ 200	~ 1000
Bilder / Flug	bis zu 2000 @ 24MP	bis zu 2000 @ 36MP
Punkte / Flug	bis zu 200 Mio	bis zu 500 Mio

Bestätigung der Qualitätsangaben nach ersten Testflügen!





Ich danke für Ihre Aufmerksamkeit!