

3D-Objektdokumentation mittels Structur from Motion Anwendungen in der Denkmalpflege



3D-Objektdokumentation mittels Structur from Motion Anwendungen in der Denkmalpflege

- Auswahl von Dokumentationsmethoden für Restaurierung und Denkmalpflege
- Qualitätsparameter für die 3D-Objektdokumentation
- 3D-Datengrundlage für 2D-Kartierung
- 3D-Kartierung mit Mengenermittlung
- 3D-Rekonstruktionen

Methoden für die 3D-Dokumentation

Tachymetrie



Terrestrisches
Laserscanning



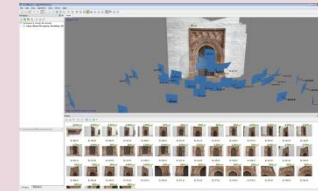
Fotografie



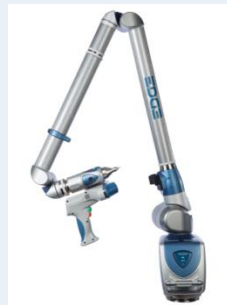
**3D-Objekt-
Dokumentation**



Structure from
Motion



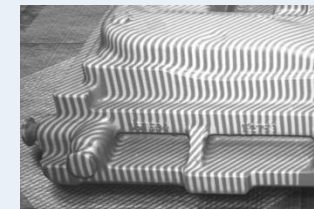
Industriescanner



Handscanner



Projektions-
scanner



Zustandsdokumentation

- Restaurierungsdokumentation
- wissenschaftliche Untersuchungen
- Leihverkehr

SfM-Objekt-Dokumentation



Rekonstruktion

- 3D-Druck von Fragmenten
- Ergänzung Fehlstellen
- Objektkopie

Virtualisierung

- Objekte vom Archiv in die Öffentlichkeit bringen
- Nutzung für Internetauftritt
- Virtuelle Ausleihe

Digitaler Zwilling

- Bestandsdigitalisierung
- „Sicherungskopie“

Einzelfall

- Aufgabenstellung
- Projektfinanzierung
- Qualitätsparameter für das Vorhaben

Zustandsdokumentation

- Restaurierungsdokumentation
- wissenschaftliche Untersuchungen
- Leihverkehr

Rekonstruktion

- 3D-Druck von Fragmenten
- Ergänzung Fehlstellen
- Objektkopie

SfM-Objekt-Dokumentation



Virtualisierung

- Objekte vom Archiv in die Öffentlichkeit bringen
- Nutzung für Internetauftritt
- Virtuelle Ausleihe

Digitaler Zwilling

- Bestandsdigitalisierung
- „Sicherungskopie“

Viele Objekte

- Dokumentationsstandards
- Optimierung von Kosten und Datenvolumen

Parameter für Restaurierungsdokumentation

Fachrichtung Pixelgröße 400dpi Pixelgröße 200dpi Genauigkeit	1:1 0,06mm 0,13mm 0,5mm	1:2 0,13mm 0,25mm 1,0mm	1:5 0,32mm 0,63mm 2,5mm	1:10 0,63mm 1,3mm 5,0mm	1:20 1,3mm 2,6mm 1,0cm	1:50 3,2mm 6,4mm 2,5cm	1:100 6,4mm 12,7mm 5,0cm
Architekten/ Gutachter					x	x	x
Bauforschung			Detail	steingerecht Detail	steingerecht	allgemeine Übersichten	
Feldarchäologie ▽			Gräber, andere Details	Profile, Ansichten Gräber	Pläne		
Restaurierung	1:1	1:2	1:5	1:10	1:20	1:50	1:100
Stein				x	x	x	
Wandmalerei / Stuck			x	x	x		
▽ Holz / Objekte		x	x	x			
Gemälde / Textil / Papier	x	x	x				

Der verwendete Maßstab ist abhängig von:

- der Oberflächenstruktur des Materials, der Objektstruktur, der Objektgröße;
- der Bedeutung des Objekts;
- den zu dokumentierenden Schäden und Maßnahmen.

Ergebnisse für die 3D-Dokumentation

3D → **2D**

Bilder photogramm.

Orientierung

- SfM Bildverbände
- Einzelbilder für Textur
- hist. Bildverbände

3D Punktwolke

- Intensitätseinfärbung
- Objekttextur

Oberflächenmodell
(Triangulation)

- 3D Druck
- Orthogonalprojektion

Texturiertes
Oberflächenmodell

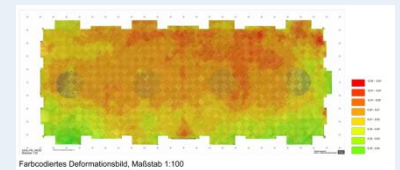
- Visualisierung/Präsentation
- Zustandsdokumentation
- 3D Kartierung

Orthogonal-
projektion

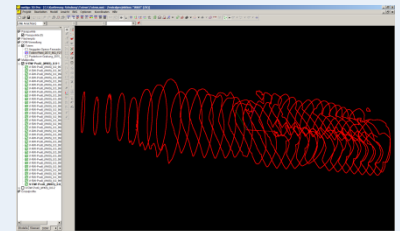
- CAD Auswertung
- 2D Kartierung



Deformations-
analyse



Schnittprofile



3D-Objektdokumentation mittels Structur from Motion Anwendungen in der Denkmalpflege

- Auswahl von Dokumentationsmethoden für Restaurierung und Denkmalpflege
- **Qualitätsparameter für die 3D-Objektdokumentation**
- 3D-Datengrundlage für 2D-Kartierung
- 3D-Kartierung mit Mengenermittlung
- 3D-Rekonstruktionen

Kamera Sensor/Objektiv

- Sensorgröße/Auflösung
- Objektive/geometr. Qualität

Aufnahme- konfiguration

- Bildverteilung
- Übersicht- und Detailaufnahmen
- Überlappung
- Winkel zwischen den Aufnahmen

Bildqualität

- Detailauflösung
- Schärfe/Tiefenschärfe
- Ausleuchtung
- Farbkorrektur

SfM-Objekt- Dokumentation



Objekt

- Objektgröße
- Gliederung
- 3D Oberflächenstruktur

Oberflächentextur

- Materialeigenschaften
matt/glänzend,
reflektierend/durchscheinend
- Farbtextur

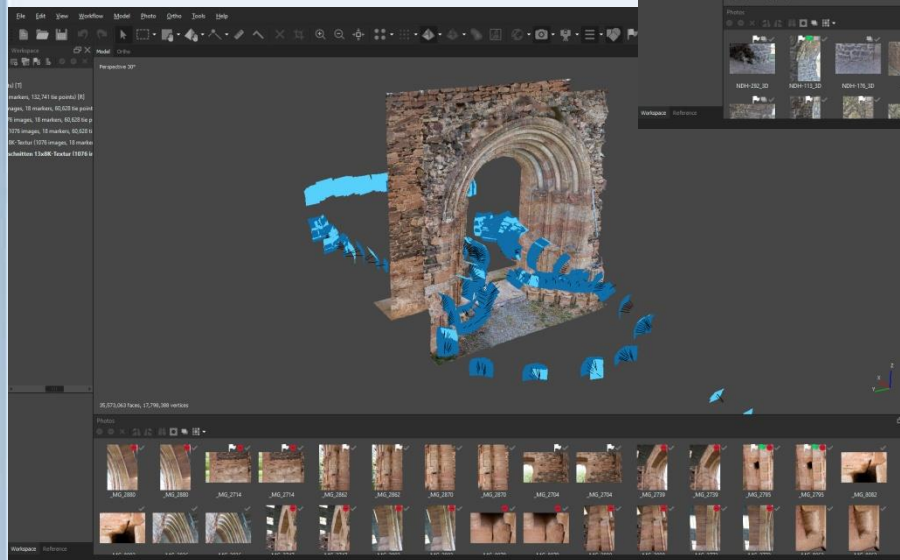
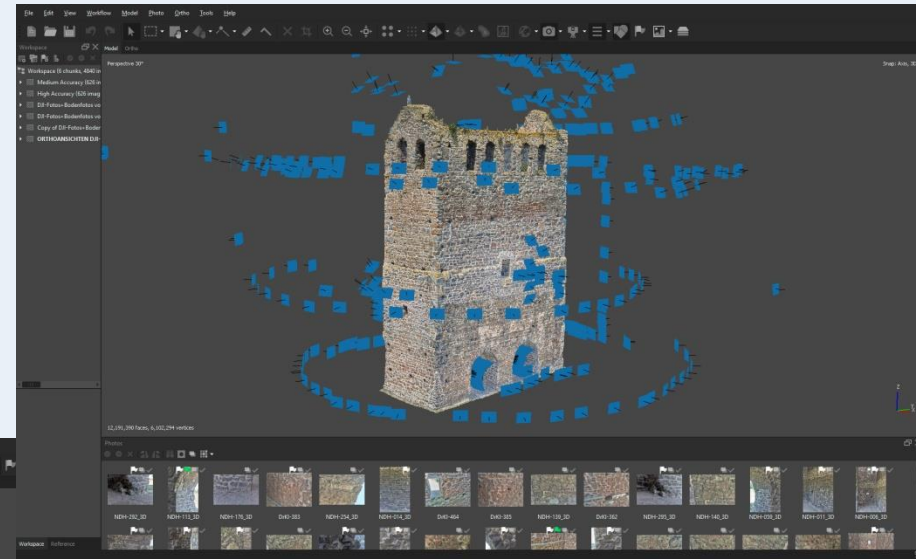
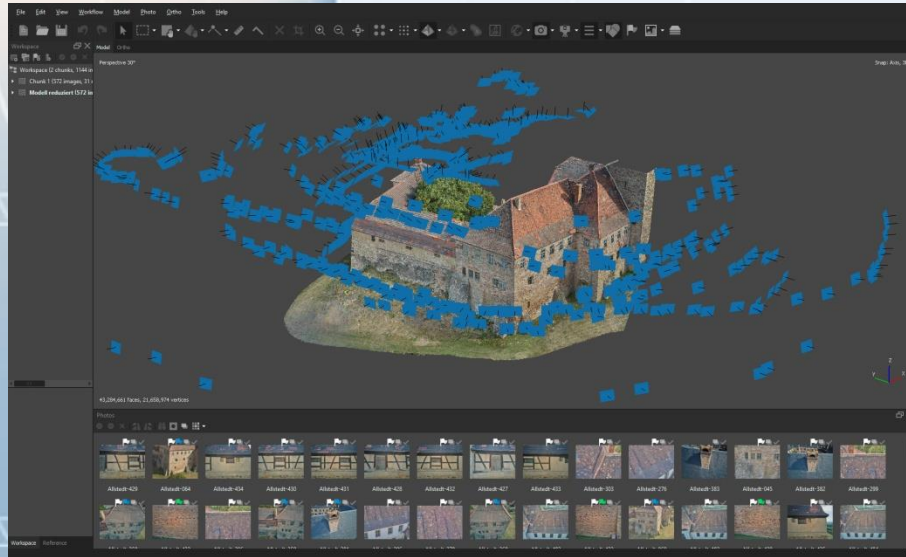
Zubehör

- Lichttechnik
- Kameraschiene/Gerüst
- Drehteller / „Scanarm“ für automatisierte Aufnahme
- Drohne

Software

- Matchingqualität
- Integration von Referenzen
(Strecken, Koord., 3D-Scan)
- automatisierte Maskierung von
 - Bildhintergrund
 - unscharfen Bereichen
 - Reflexionen...

Aufnahmekonfiguration und Referenzmessung

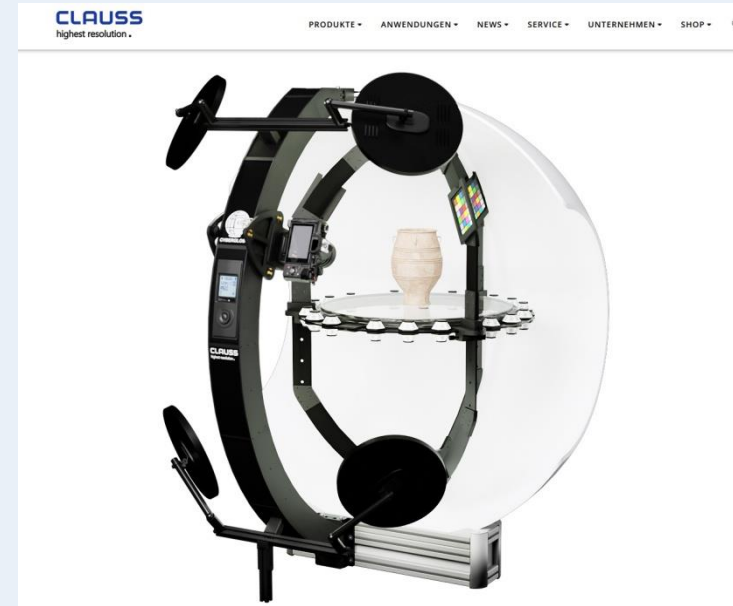


- Objektdimension
- geforderter Auflösung
- Kamerasensor
- Referenzmessung
(Tachymetrie/Laserscanning)

Schloss Alstedt, Vorburg, 2025
Nordhusen, Kirche, Westwerk, 2025
Mildenfurth, Kloster, Westwerk, Portal, 2025



Ausleuchtung/Farbkalibrierung



*Cyberglobe, (Dr. Clauss, Zwönitz)
vollautomatisches System von
Bildaufnahme bis Auswertesoftware*



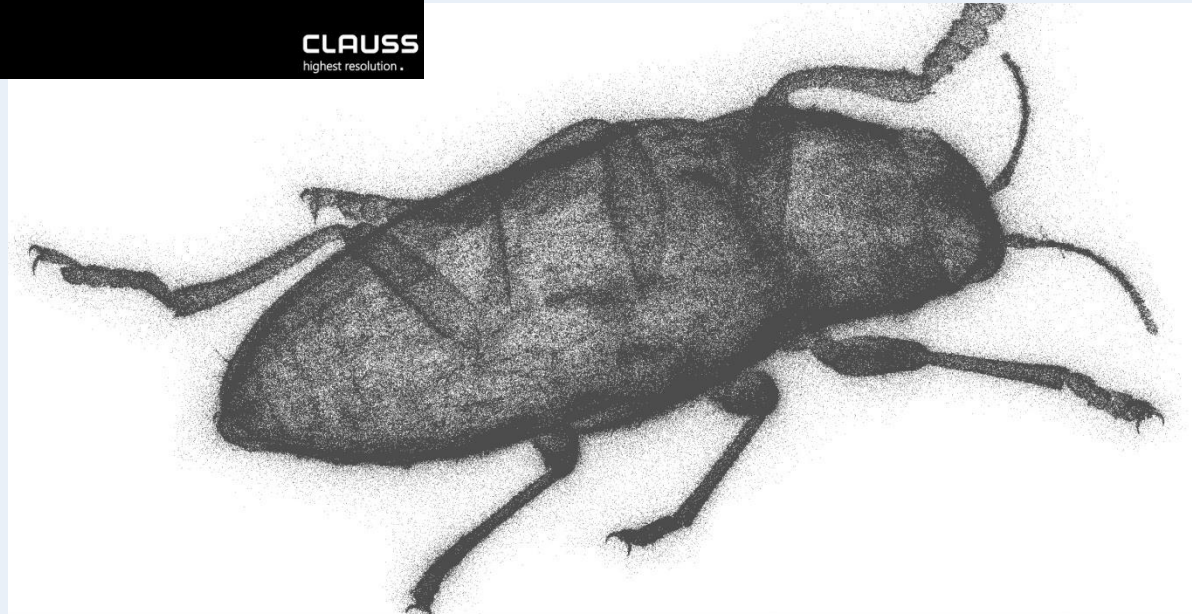
*„Freihandfotografie“ auf Platte mit
eingemessenen Referenzpunkten*

CYBERGLOBE



Gaussian Splatting,

*Visualisierung der Objektoberfläche mittels
überlappender elliptischer Punkte
(Überlappung der Elipsoide erzeugt fotorealistische Darstellung)*



Oberflächenmodell oder Punktwolke

Texturiertes Oberflächenmodell,
Die Koordinatenmatching ist ein
flächenbasiertes Verfahren !
z.Bsp.: 7×7 Pixel bis zu 17×17 Pixel)

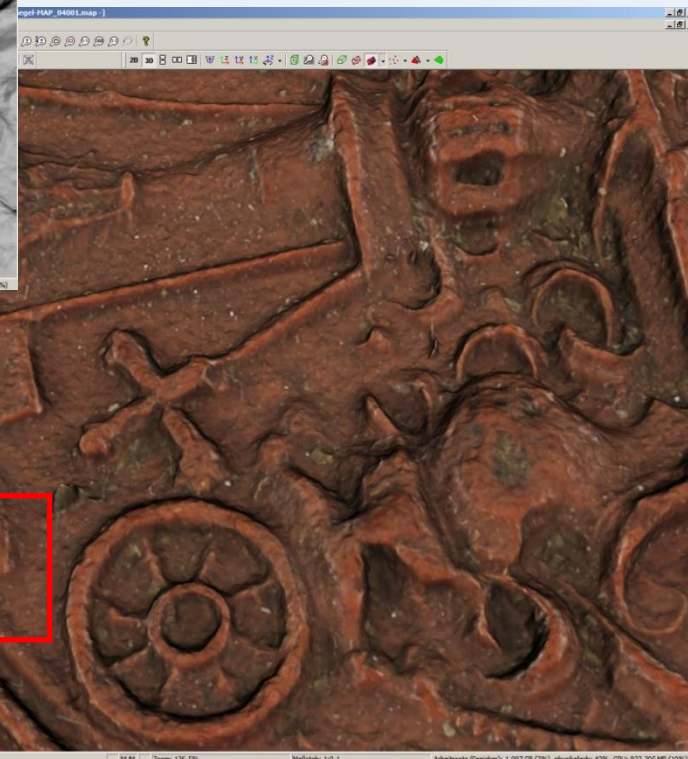
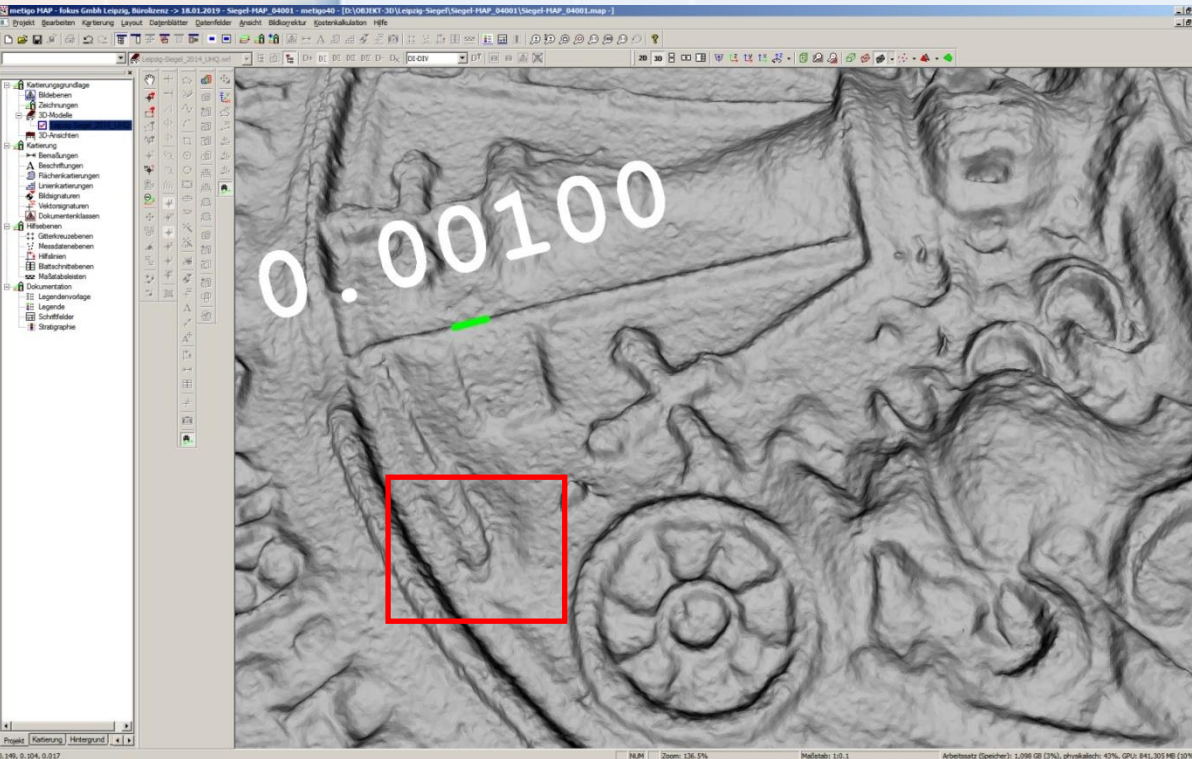
Um die gewünschte 3D-Objektstruktur zu
erfassen, ist das 4- bis 5-fache der
Bildauflösung erforderlich!

Leipzig, Stadtarchiv, Siegel, 2016

Texturiertes Oberflächenmodell,

Unterscheidung zwischen:

- Geometrischer Auflösung
- Texturqualität



metigo MAP - fokus GmbH Leipzig, BV17 - Stuttgart-Eberhardgruppe_03005 - metigo50 - [YSTU-EBH-25]MAP-3D-KARTIERUNG/Schadenskartierung Eberhardgruppe(Stutt)

Projekt Bearbeiten Kartierung Layout Datenblätter Datenfelder Ansicht Bildkorrektur Kostenkalkulation Hilfe

2D 3D VR WKS (freie Ebene) Textur 1 Standardfarbe

keine Alle Stuttgart-Eberhardgruppe_1zu5_300dpi

3D-Modelle

aktuelles Oberflächenmodell (1. Punktwolke)
Stuttgart-Eberhardgruppe_1zu5_300dpi

3D-Modell Anzeige Punktfarben Punktwolken-Transformation Segnier

allgemeine Informationen

Punkte: 23.516.542 (100%)
Dreiecke: 47.054.020 (100%)
Segmente: vollständig geladen und aktiviert
Pkt-Abstand: - / 2.068 mm
Ausdehnung
X [m]: 351386.194 - 351399.733 (= 11.539)
Y [m]: 5404939.669 - 5404950.461 (= 10.792)
Z [m]: 241.794 - 246.741 (= 5.007)
Baum:
Status: ausgeglichen
Knoten/Blätter: 1.048.575 / 524.288
Tiefe: 20
Dateikompression
☒ Dreiecke
☒ Punkte max. Fehler: 0.000 [mm]
☒ Normale max. Fehler: 0.000 [°]
☐ Tex-Infos max. Fehler: 0.000000 [px]
GPU-Speicherverbrauch
3D-Modell: 1,385 GB
Texturen: 4,108 GB (94%)

Zeichenooptionen

Texturqualität

aktuelles 3D-Modell: Stuttgart-Eberhardgruppe_1zu5_300dpi
Textur: Textur 1
geometr. Auflösung (Punktabstand) [mm]: **2.068mm**
Texturauflösung: Projektmaßstab: **1 : 5.0**
tatsächl. Auflösung: **252.46**
tatsächl. Pixelgröße [mm]: **0.50mm**
Modelloberfläche: 136.787m² (23.516.542 Punkte, 47.054.020 Dreiecke)
Effektive Texturnutzung: 872.415.232 Px (Gesamt), 540.536.161 Px (verwendet) --> 62.0%
Tatsächliche Pixelgröße Modell [mm]
Durchschnitt: 0.55 Min: 0.30
Standardabweichung: 0.59 Max: 19.93

Bereich	Min [mm]	Max [mm]	Dreiecke	Flächenanteil [%]	Flächen...
1.0-fache Std.Abw	0.00	1.14	46.384.992	99.1%	135.6m²
1.5-fache Std.Abw	0.00	1.43	46.498.086	99.4%	136.0m²
2.0-fache Std.Abw	0.00	1.72	46.553.928	99.5%	136.1m²
2.5-fache Std.Abw	0.00	2.01	46.587.079	99.6%	136.2m²
3.0-fache Std.Abw	0.00	2.31	46.608.994	99.6%	136.3m²

Ziel
Maßstab: 1: 5.00 Texturgröße [Px]: 8192
Auflösung [dpi]: 300.00 Anzahl Texturdateien: 19
Texturnutzung [%]: 62.0

	Projekteinstellungen aktuelles 3D-Modell	Ziel
Maßstab	1 : 5.00	1 : 5.00
Auflösung	300.00	300.00
Pixelgröße [mm] (Projekteinstellung)	0.42	0.42
vorhandene Texturen		
effektive Texturnutzung[%]	62.0	62.0
Große Texturdateien	8192x8192	8192x8192
Anzahl Texturdateien	13	19
tatsächliche Pixelgröße (Textur) [mm]	0.50	0.42
tatsächlicher Maßstab	1 : 5.94	1 : 4.91
tatsächliche Auflösung	252.46	305.31
benötigte Texturen		
Große Texturdateien	8192x8192	8192x8192

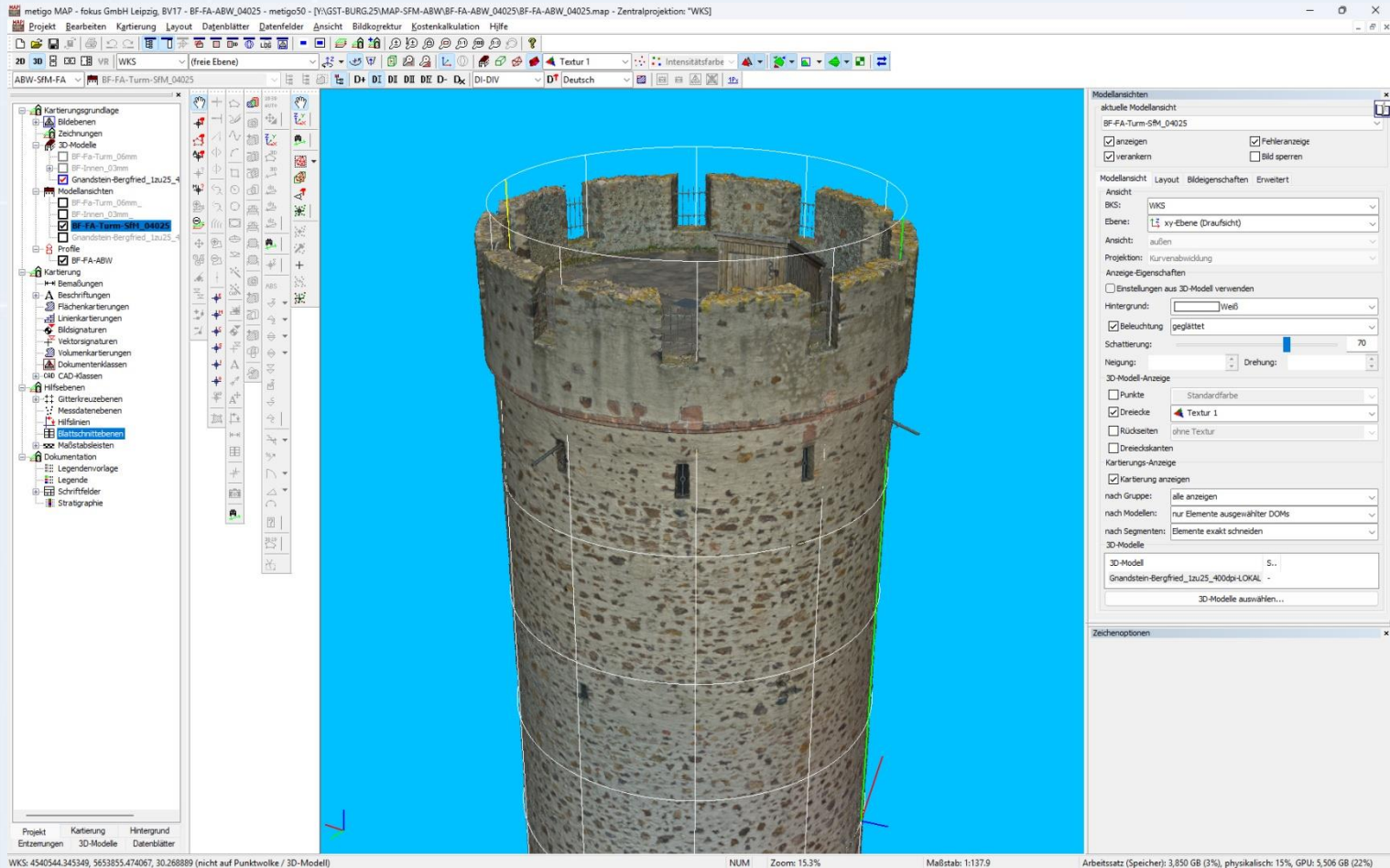
Schließen

ke / 3D-Modell NUM Zoom: 202.5% Maßstab: 1:1.4 Arbeitssatz (Speicher): 10,800 GB (8%), physikalisch: 19%; GPU: 8,364 GB (34%)

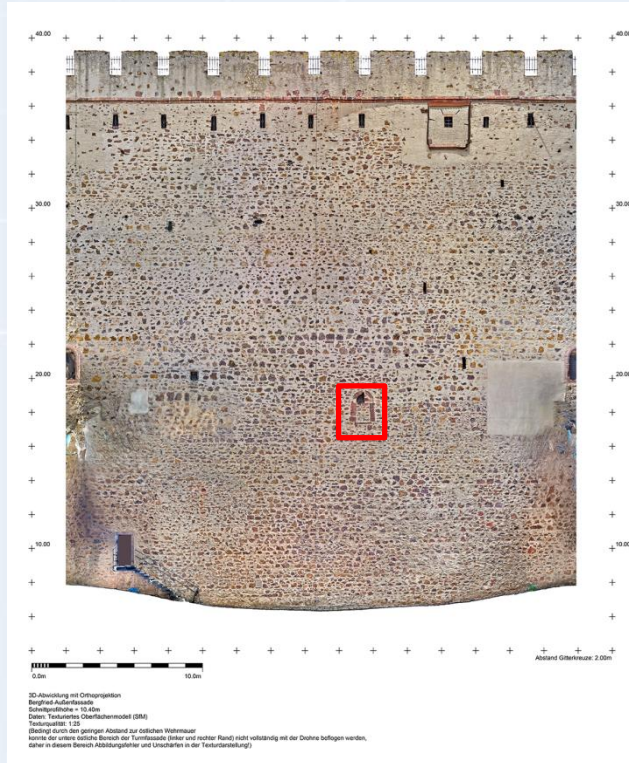
Verhältnis zwischen geometrischer und Texturauflösung sollte bei 1:3 bis 1:5 liegen!

- Auswahl von Dokumentationsmethoden für Restaurierung und Denkmalpflege
- Qualitätsparameter für die 3D-Objektdokumentation
- 3D-Datengrundlage für 2D-Kartierung
- 3D-Kartierung mit Mengenermittlung
- 3D-Rekonstruktionen

3D-Objektdokumentation für 2D-Kartierung



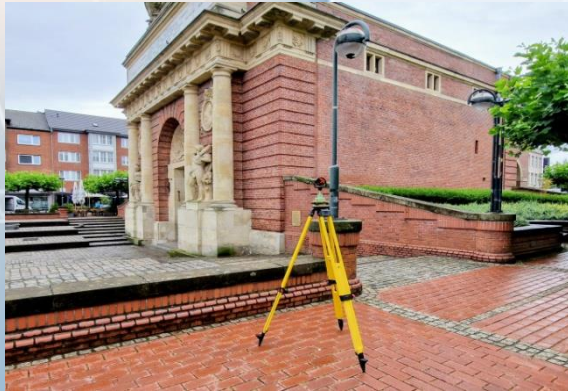
Geometrische Auflösung: 6,4mm Punktabstand
Texturauflösung: 1,8mm (1:25 bei 350 dpi)
(Tachymetrische Passpunktmessung)



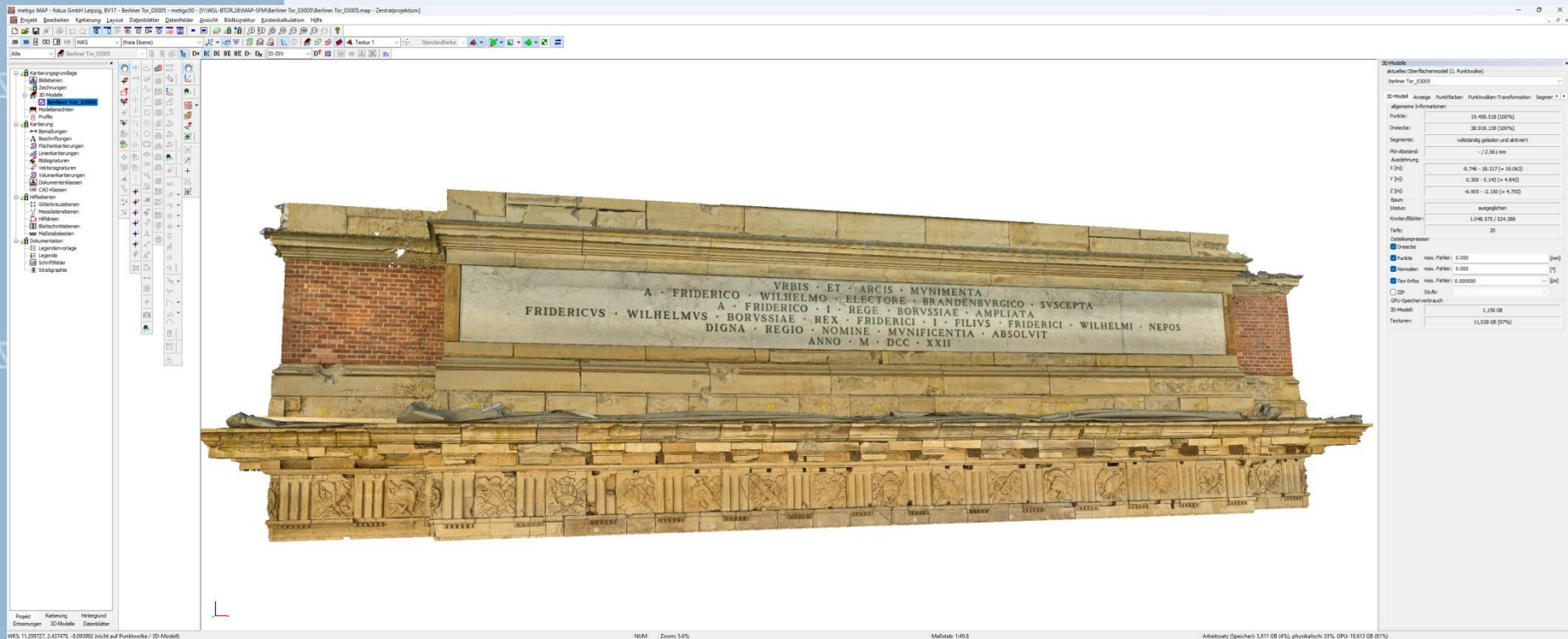
Geometrische Auflösung: 6,4mm Punktabstand
Texturauflösung: 1,8mm (1:25 bei 350 dpi)
(Tachymetrische Passpunktmessung)



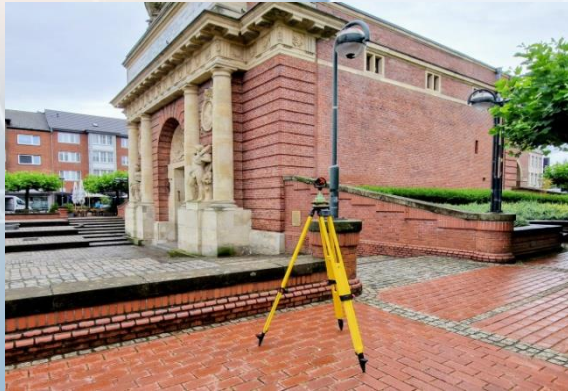
3D-Objektdokumentation für 2D-Kartierung



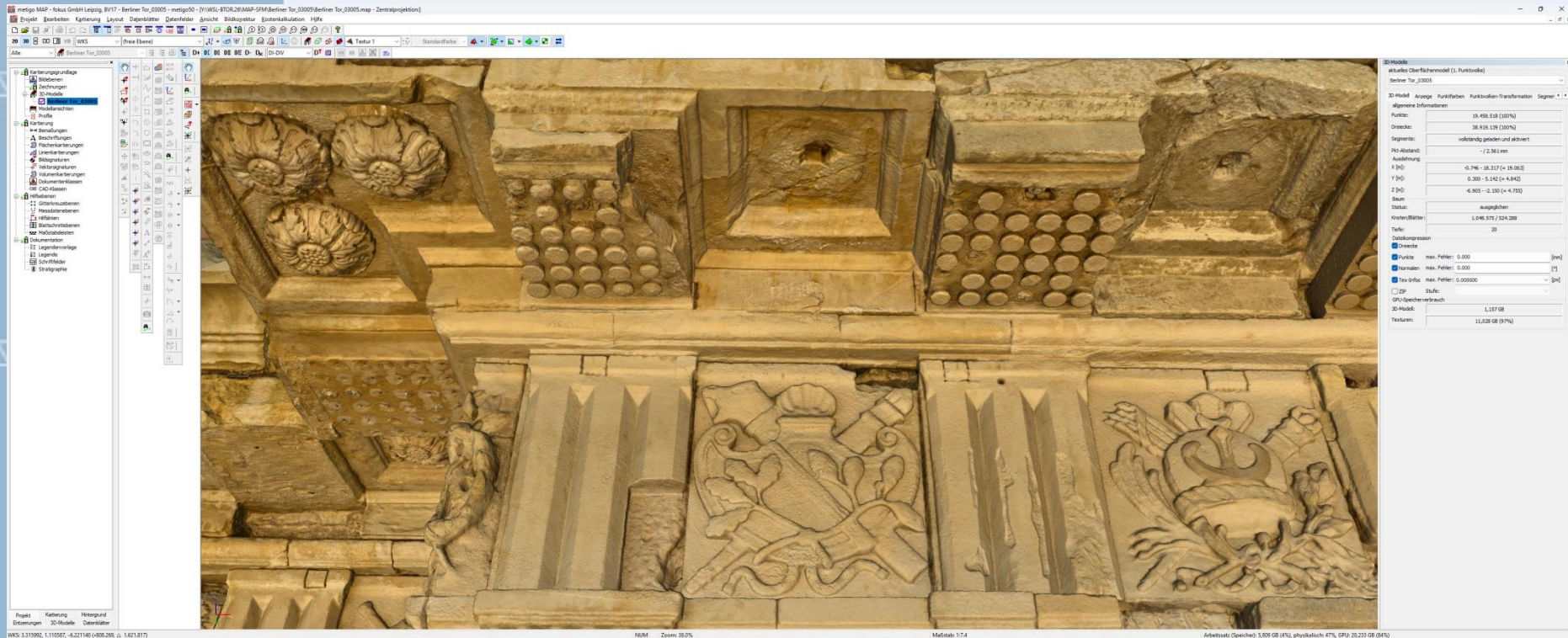
Geometrische Auflösung: 2,4 mm Punktabstand
Texturauflösung: 0,4mm (1:5 bei 300 dpi)
(Referenzmessung im Laserscan)

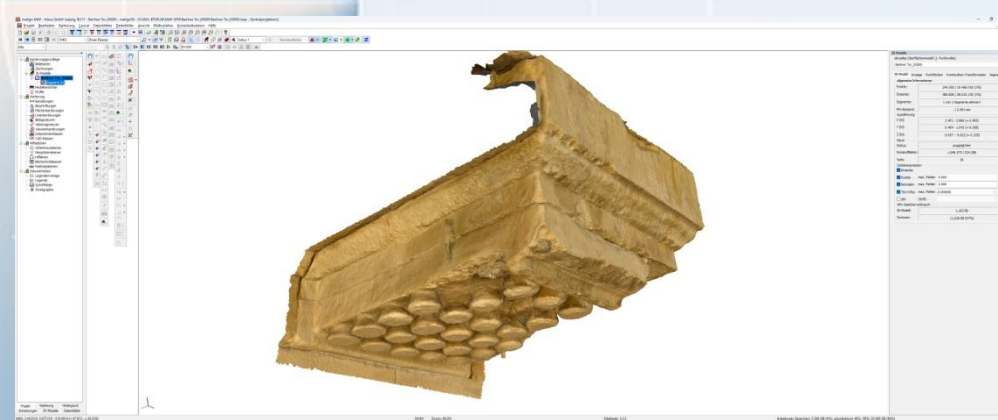


3D-Objektdokumentation für 2D-Kartierung



Geometrische Auflösung: 2,4 mm Punktabstand
Texturauflösung: 0,4mm (1:5 bei 300 dpi)
(Referenzmessung im Laserscan)

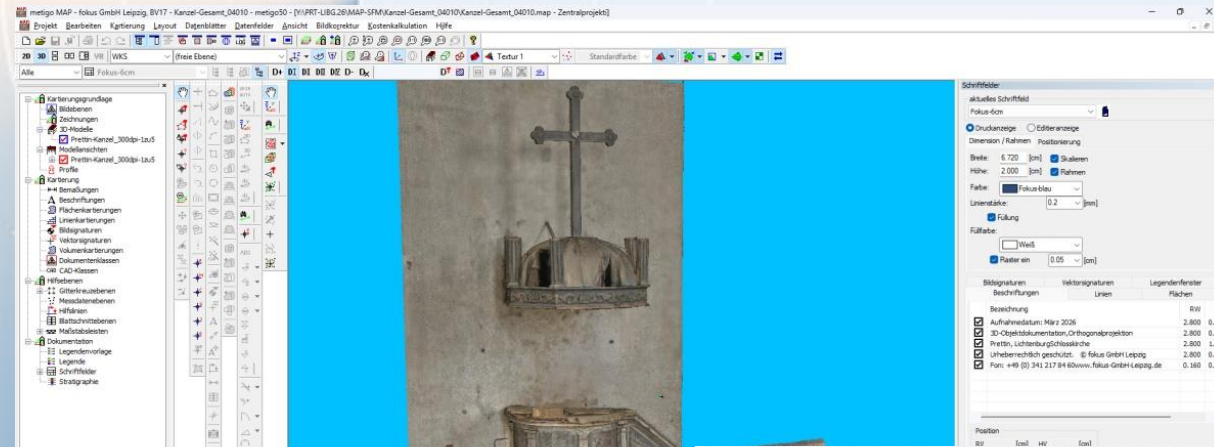




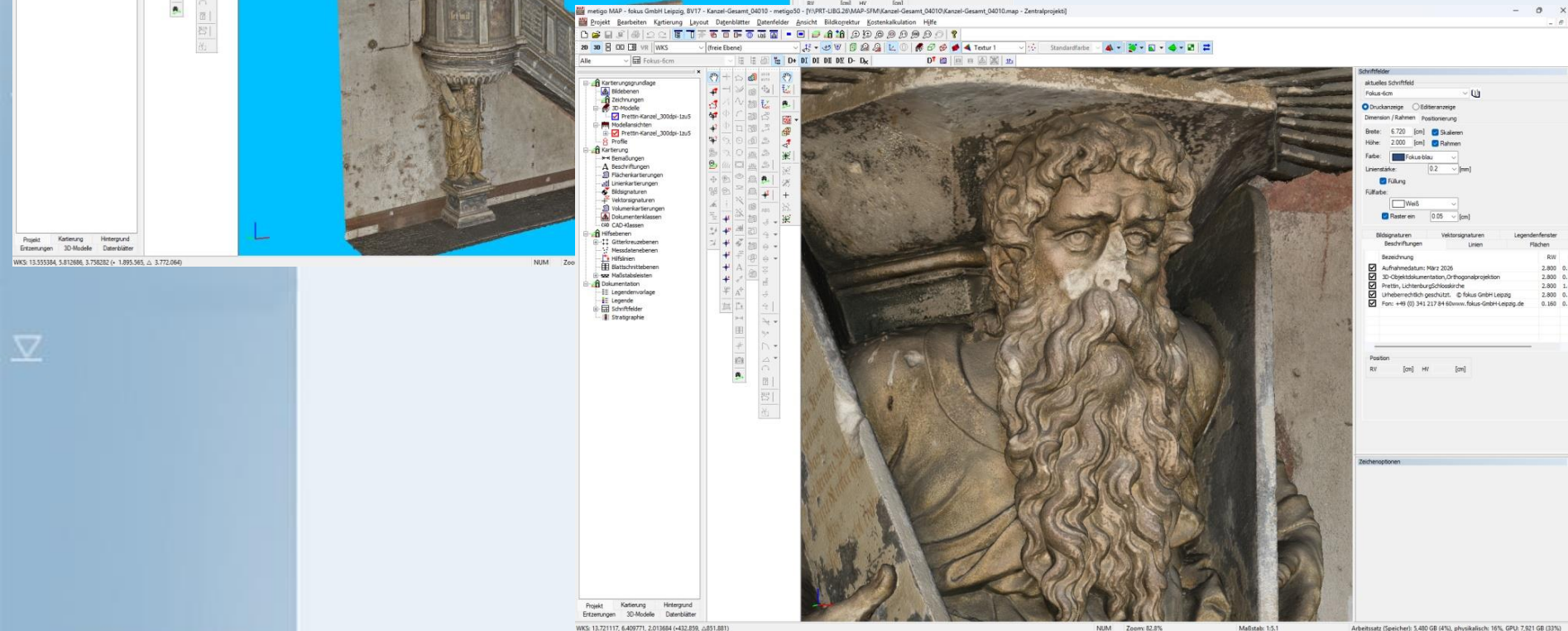
Geometrische Auflösung: 2,4 mm Punktabstand
Texturauflösung: 0,4mm (1:5 bei 300 dpi)
(Referenzmessung im Laserscan)



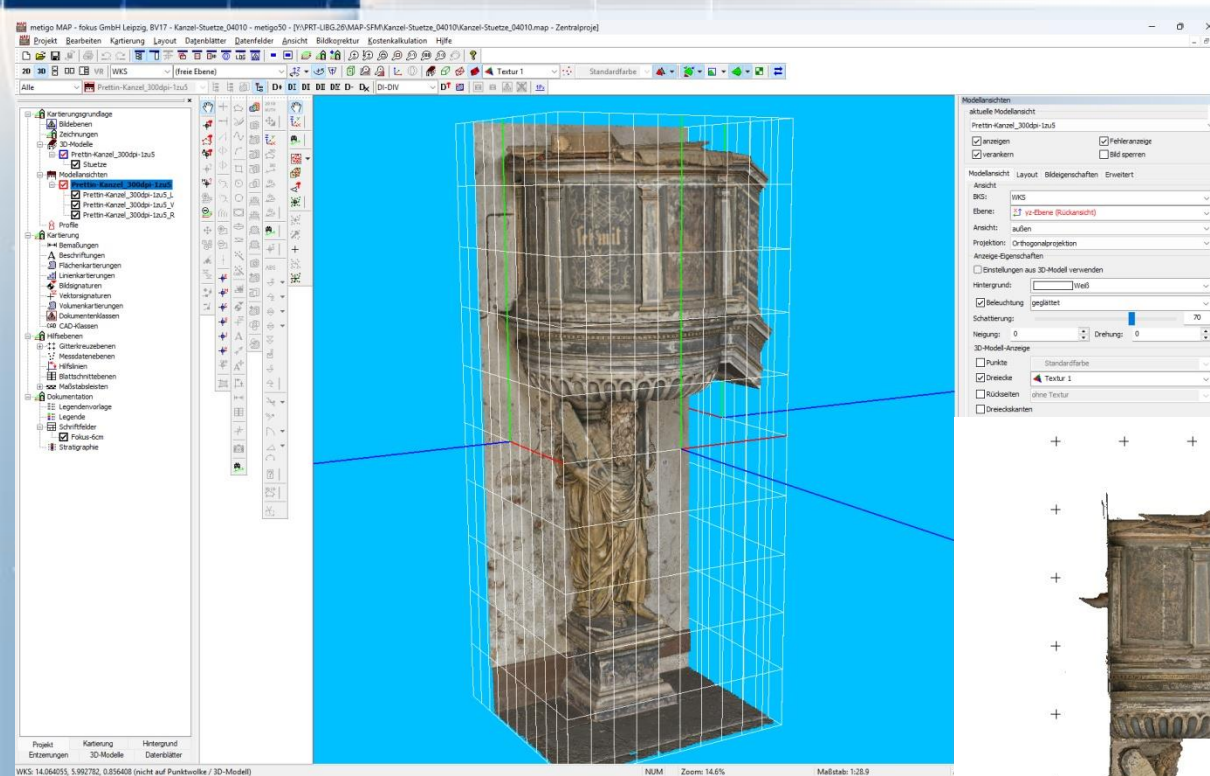
3D-Objektdokumentation für 2D-Kartierung



Geometrische Auflösung: 2mm Punktabstand
Texturauflösung: 0,4mm (1:5 bei 300 dpi)
(Tachymetrische Passpunktmessung)



3D-Objektdokumentation für 2D-Kartierung



Geometrische Auflösung: 2mm Punktabstand
Texturauflösung: 0,4mm (1:5 bei 300 dpi)
(Tachymetrische Passpunktmessung)



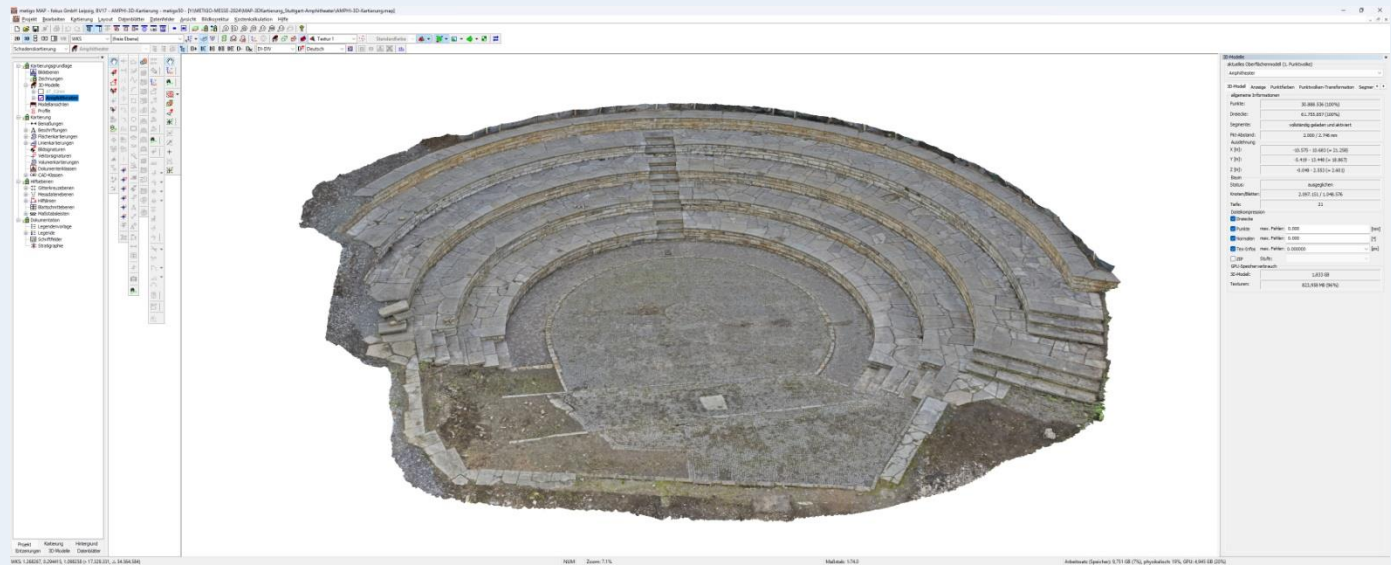
3D-Objektdokumentation mittels Structur from Motion Anwendungen in der Denkmalpflege

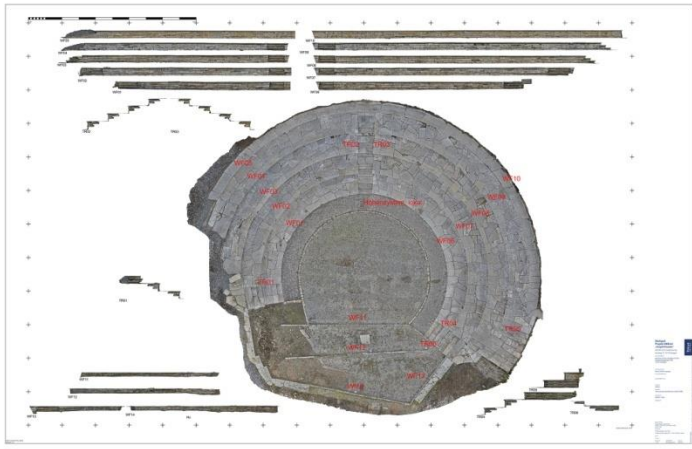
- Auswahl von Dokumentationsmethoden für Restaurierung und Denkmalpflege
- Qualitätsparameter für die 3D-Objektdokumentation
- 3D-Datengrundlage für 2D-Kartierung
- **3D-Kartierung mit Mengenermittlung**
- 3D-Rekonstruktionen

3D-Objektdokumentation für 3D-Kartierung

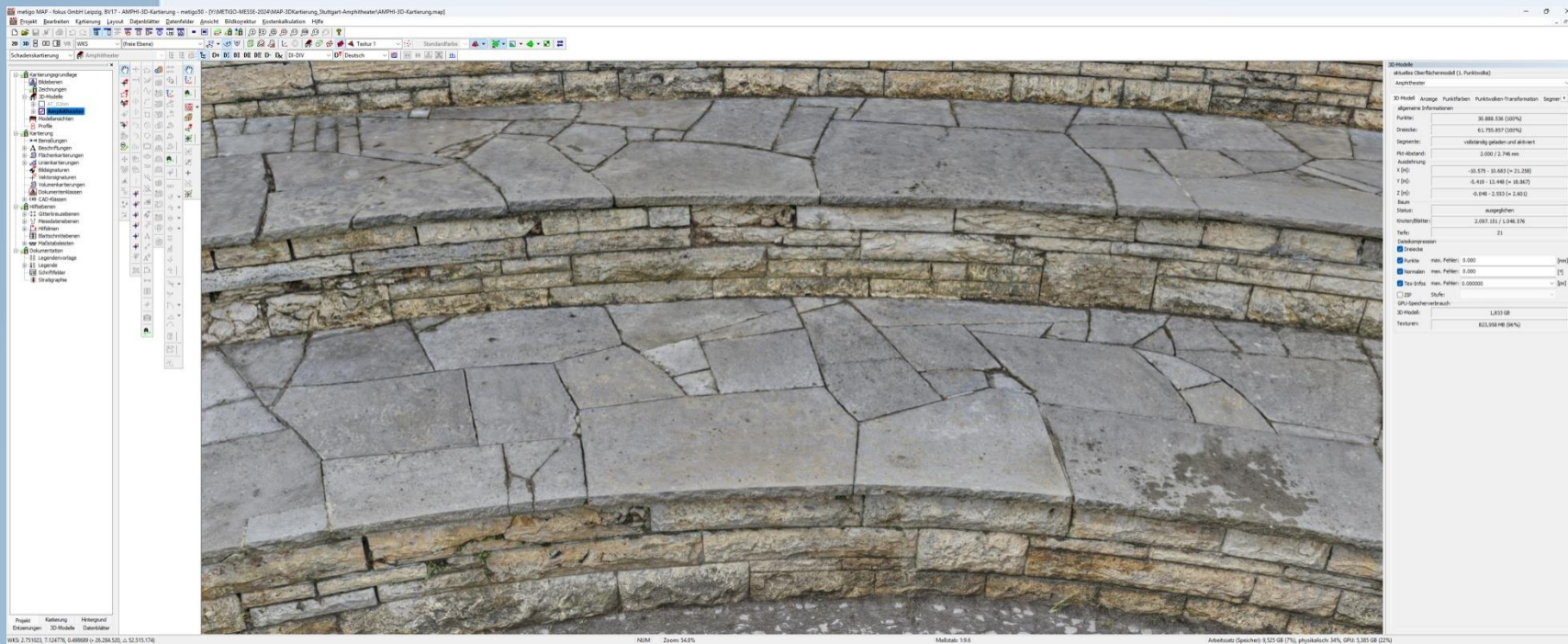


„Am 6. April 1957 konnte der Neubau am Herdweg, auf dem Gelände der ehemaligen Villa des Grafen von Zeppelin, eingeweiht werden. Das neue Gebäude entstand unter der Leitung des Architekten Hans Bregler, einem ehemaligen Schüler des Abiturjahrgangs 1941. Dieses Gebäude wurde wegen seiner preisgekrönten Architektur (Paul-Bonatz-Preis, 1959) unter Denkmalschutz gestellt. (WIKIPEDIA),

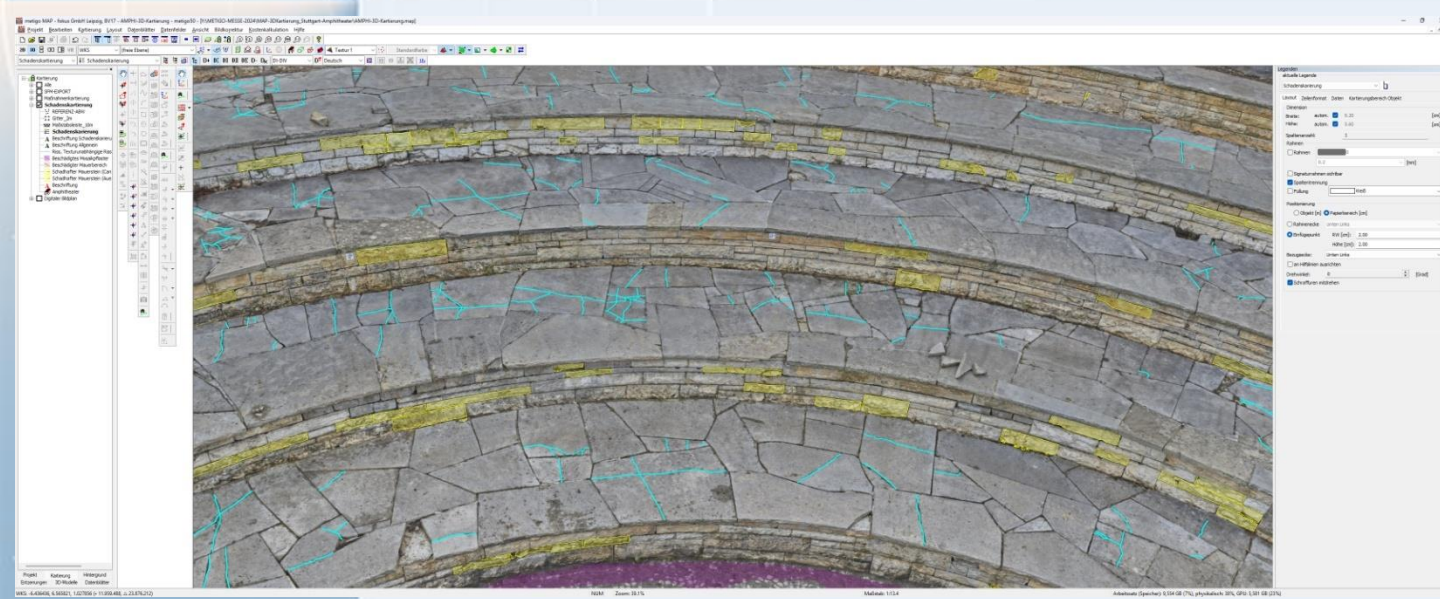




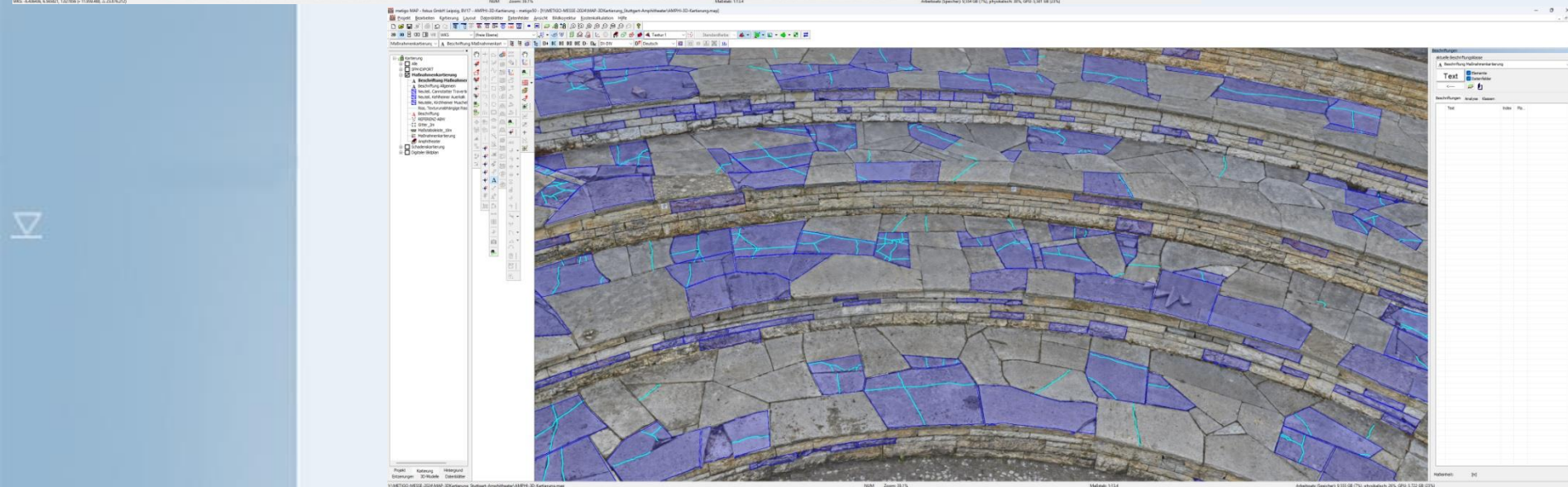
Geometrische Auflösung: 2,5 mm Punktabstand
Texturauflösung: 1 mm (1:25 bei 600 dpi)
(Tachymetrische Passpunktmessung)



3D-Objektdokumentation für 3D-Kartierung

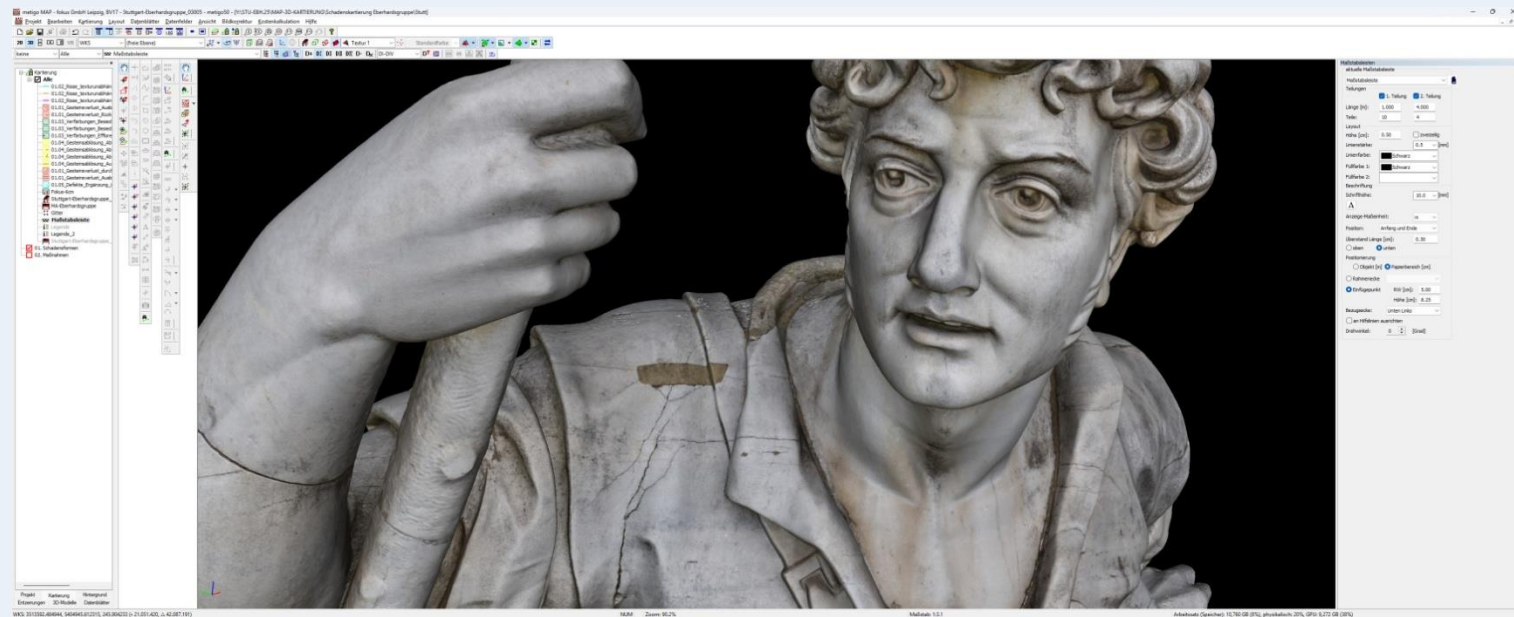


Links: Zustandskartierung
Unten: Maßnahmeplanung





Geometrische Auflösung: 2mm Punktabstand
Texturauflösung: 0,5mm (1:5 bei 250 dpi)
(Tachymetrische Passpunktmessung)





Geometrische Auflösung: 2mm Punktabstand
Texturauflösung: 0,5mm (1:5 bei 250 dpi)
(Tachymetrische Passpunktmessung)

(Maßangaben in [cm])

	Klassenname	Anzahl	Summe
	01.02_Risse_texturunabhängig	5076	10879.10
	01.05_Defekte_Ergänzung_in_Steinersatzmaterial	105	6389.20
	01.01_Gesteinsverlust_Rückwitterung_Schalenverlust	105	8643.50



- Auswahl von Dokumentationsmethoden für Restaurierung und Denkmalpflege
- Qualitätsparameter für die 3D-Objektdokumentation
- 3D-Datengrundlage für 2D-Kartierung
- 3D-Kartierung mit Mengenermittlung
- **3D-Rekonstruktionen**



Links: verwitterter original Wasserspeier
mit ergänzenden Antragungen
Rechts: Bearbeitungszwischenstand
(Kopie mit Messarm)



Rechts: 3D-Druck (SfM-Modell) mit Ergänzungen
Links: Bearbeitungszwischenstand (Kopie mit Messarm)



Rechts: 3D-Druck (SfM-Modell) mit Messpunkten
Links: Bearbeitungszwischenstand (Kopie mit Messarm)



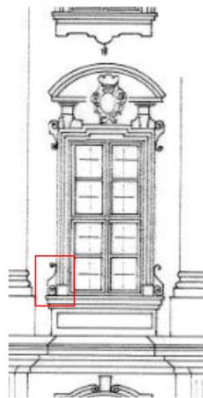
3D-Objektdokumentation als Sicherungskopie

Pelzer - Denkmalpflege - Wurlitz 55 - 95111 Rehau
Tel. 09283 - 5910 18 - mobil: 0157 - 3034 8765

Residenz Würzburg	Vorschläge für 3 D Aufnahmen 4	
Fassade:	Ehrenhof	Einzelne Achse v. Südwestpavillon nach Osten
Geschoss:	2. OG „Belle Etage“	
Objekt:	Fensterrahmung: Voluten links, oben und unten	



Luftaufnahme von Osten mit Blick auf die einzelne Achse (Fa. Euroluftbild)



Voluten links, oben und unten.

Vorschlag 4 - Seite 2 von 3

Links: Übersichtsblatt für Modellauswahl
Rechts: SfM-Modell Volute

Geometrische Auflösung: 0,6 mm Punktabstand
Texturauflösung: 0,13 mm (1:1 bei 200 dpi)
(Kalibriertafel)

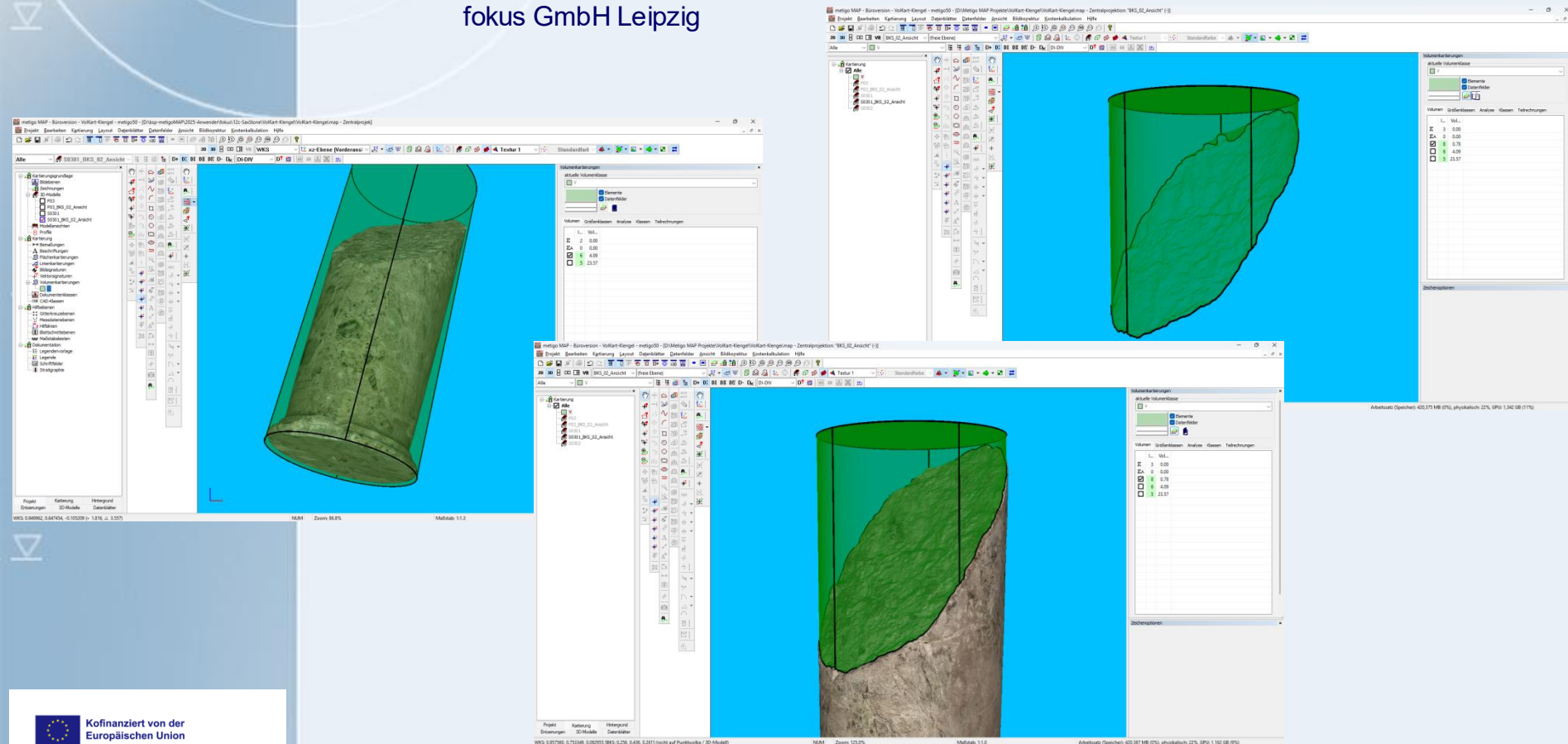


Würzburg, Residenz, Auswahl von Voluten, 2026

FuE-Projekt „3DSaxStone“ (2025-2027)

Projektziel: Vollprozesstechnologieentwicklung vom digitalen Modell zum additiv gefertigten Naturstein

Partner: BECKMANN-INSTITUT für Technologieentwicklung e. V. (Chemnitz)
Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmälern in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V.
Gebr. Preiß Betonsteinwerk (Chemnitz)
fokus GmbH Leipzig



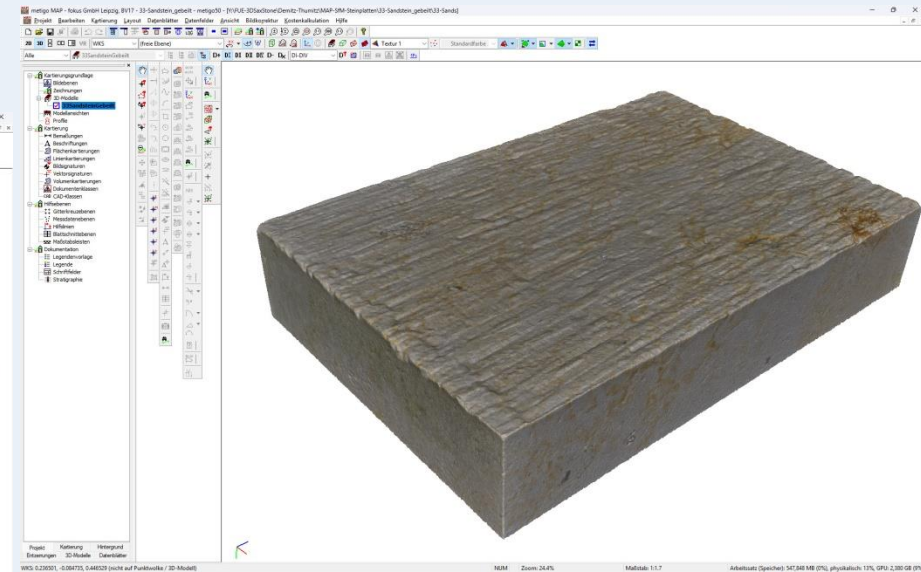
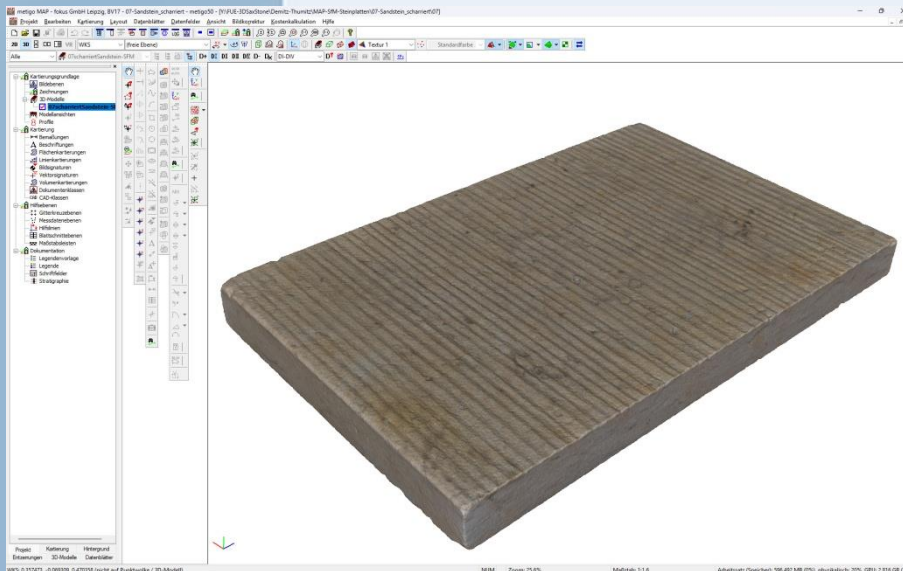
Entwicklung von Werkzeugen zur Ableitung von Fehlstellen als Grundlage für 3D-Druckausgabe

FuE-Projekt „3DSaxStone“ (2025-2027)

Projektziel: Vollprozesstechnologieentwicklung vom digitalen Modell zum additiv gefertigten Naturstein

Partner: BECKMANN-INSTITUT für Technologieentwicklung e. V. (Chemnitz)
Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmälern in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V.
Gebr. Preiß Betonsteinwerk (Chemnitz)
fokus GmbH Leipzig

Geometrische Auflösung: 2mm Punktabstand
Texturauflösung: 0,5mm (1:5 bei 250 dpi)
(Tachymetrische Passpunktmessung)



33 – Sandstein, gebeilt

07 – Sandstein, scharriert

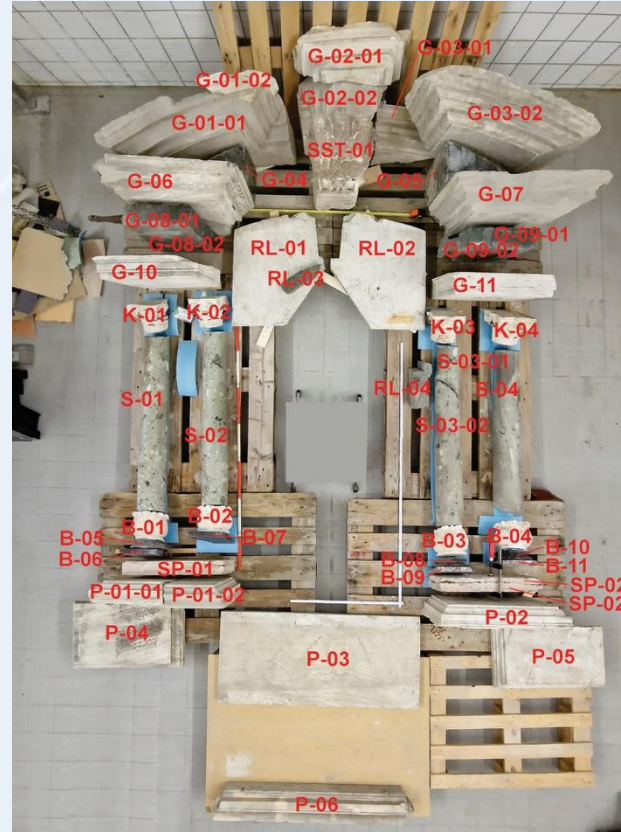
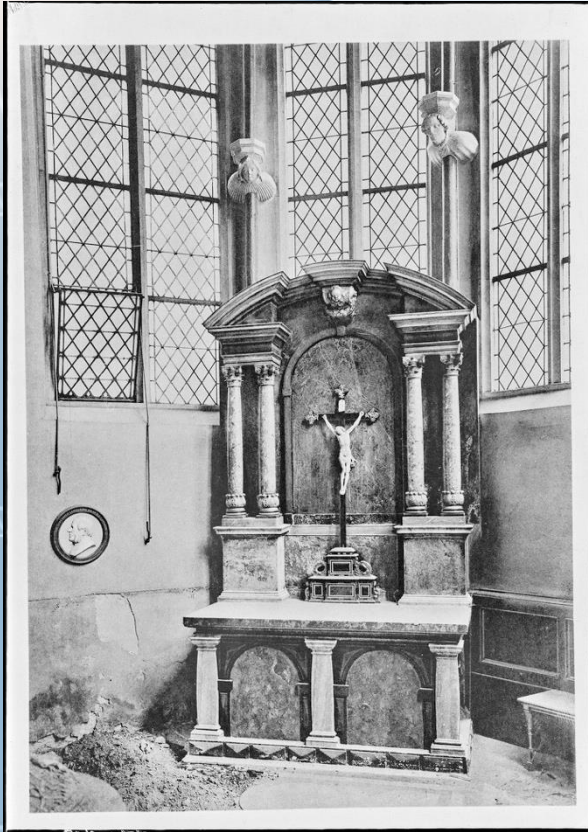


Kofinanziert von der
Europäischen Union



Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch
Steuermittel auf der Grundlage des vom
Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.

Aufbau einer Objektdatenbank für typisierte
Oberflächenstrukturen (Bearbeitungsspuren auf Naturstein)



- Links: historische Aufnahme Altar
(Deutsche Fotothek, df0171013)
- Mitte: Fragmente Altar, Dresden 2024
- Rechts: Nachkriegsaufnahme Sophienkirche
(LfD Sachsen, LfD-21-24-3609)

3D-Objektdokumentation für Rekonstruktion

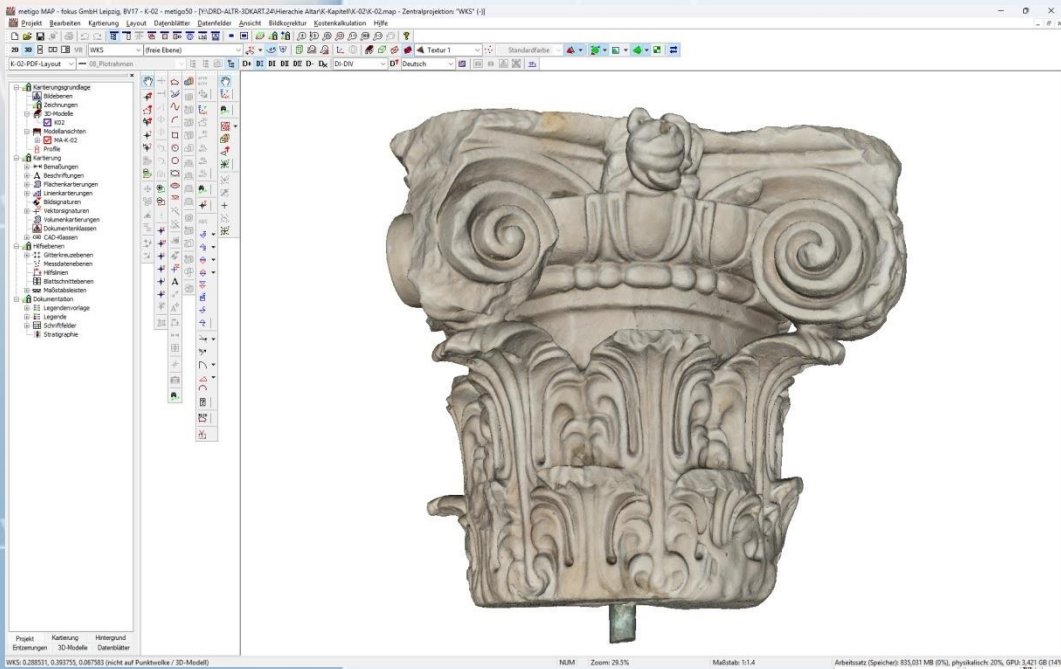


Geometrische Auflösung: 0,3 mm Punktabstand
Texturauflösung: 0,06mm (1:1 bei 400 dpi)
(Tachymetrische Passpunktmessung)

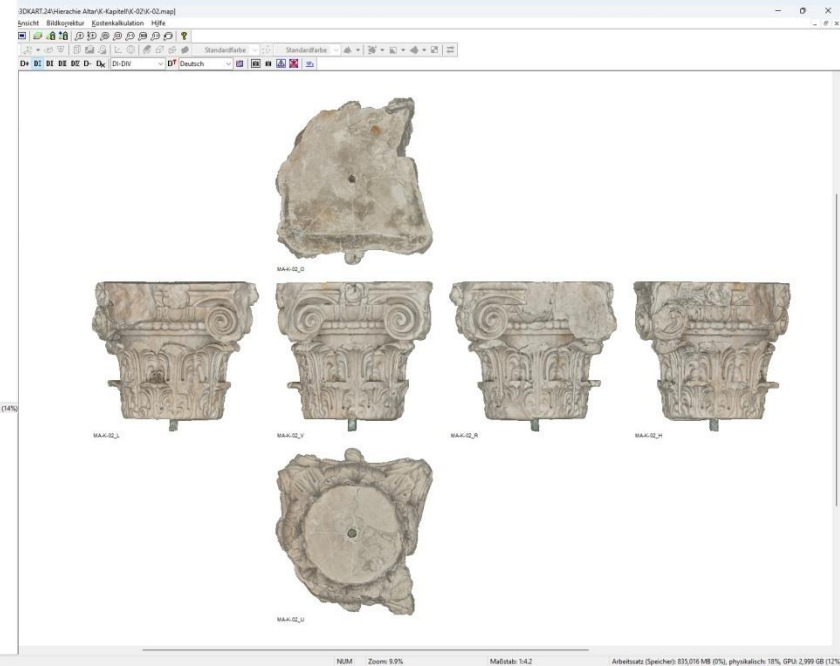
Vollständige Dokumentation aller Fragmente

- für Zustandsdokumentation
- für virtuelle Rekonstruktion

3D-Objektdokumentation für Rekonstruktion



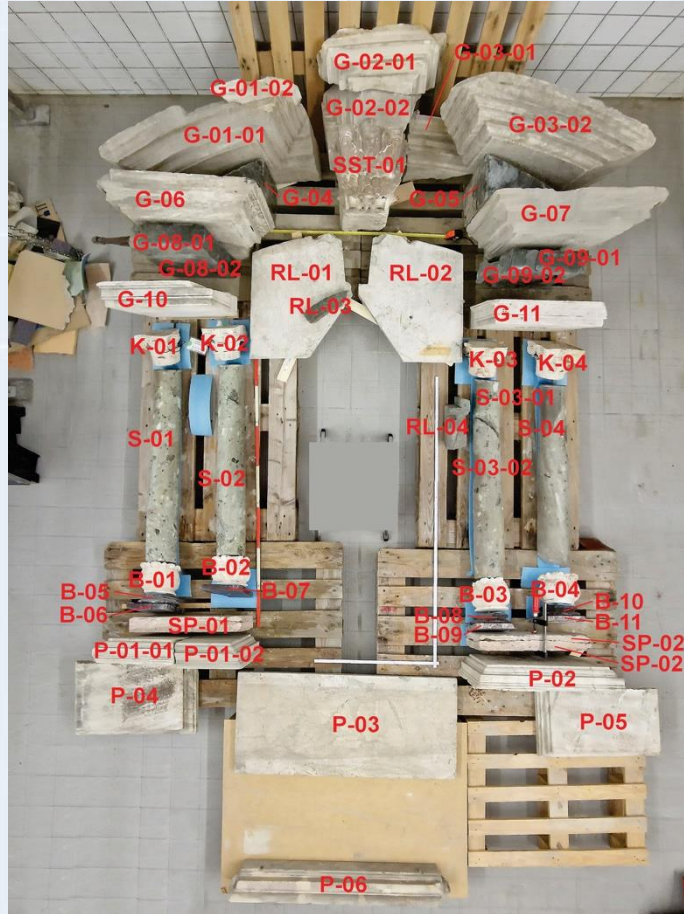
Geometrische Auflösung: 0,3 mm Punktabstand
Texturauflösung: 0,06mm (1:1 bei 400 dpi)
(Tachymetrische Passpunktmessung)



Vollständige Dokumentation aller Fragmente

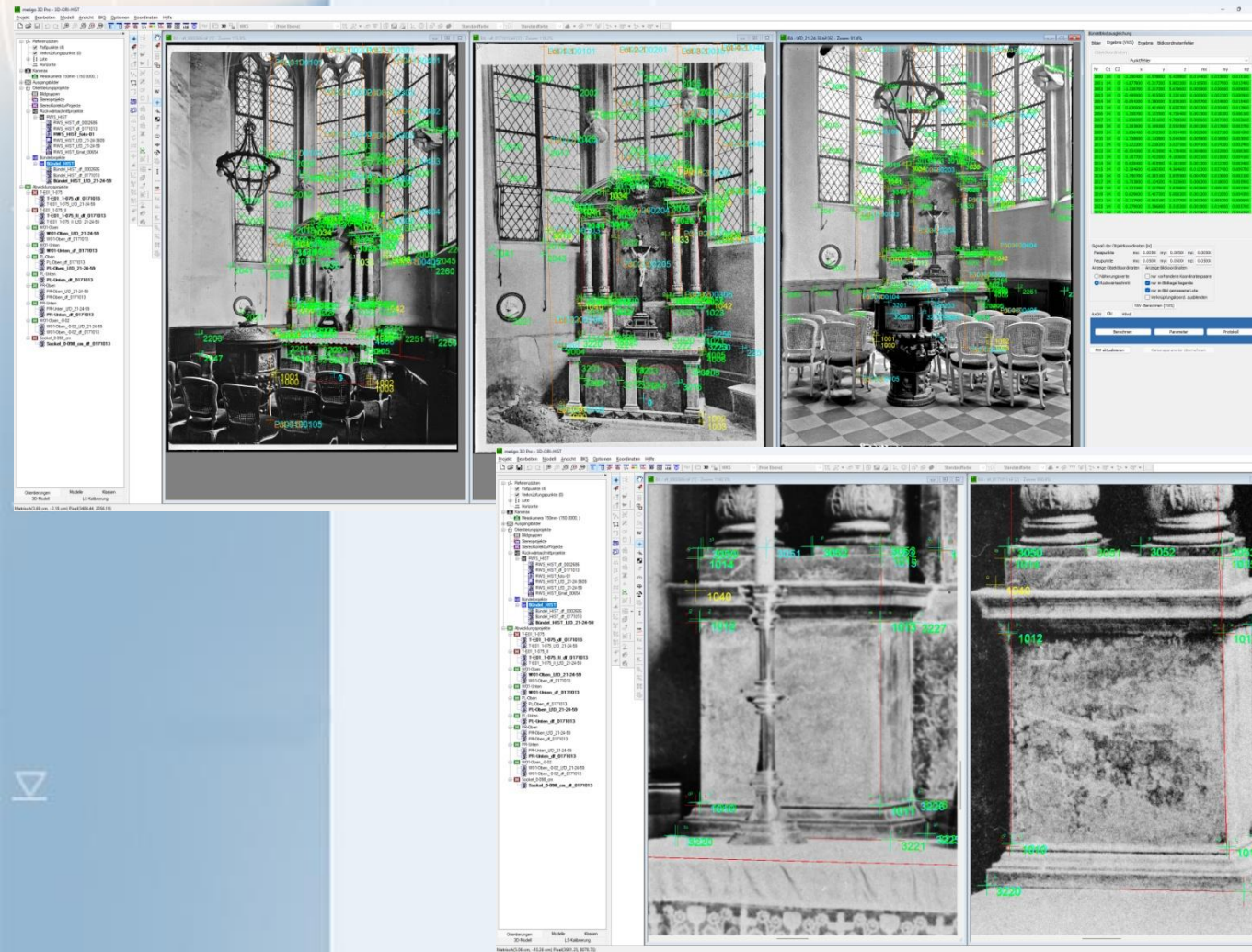
- für Zustandsdokumentation
- für virtuelle Rekonstruktion

3D-Objektdokumentation für Rekonstruktion



Vollständige Dokumentation aller Fragmente
- für Zustandsdokumentation
- für virtuelle Rekonstruktion (Blender)

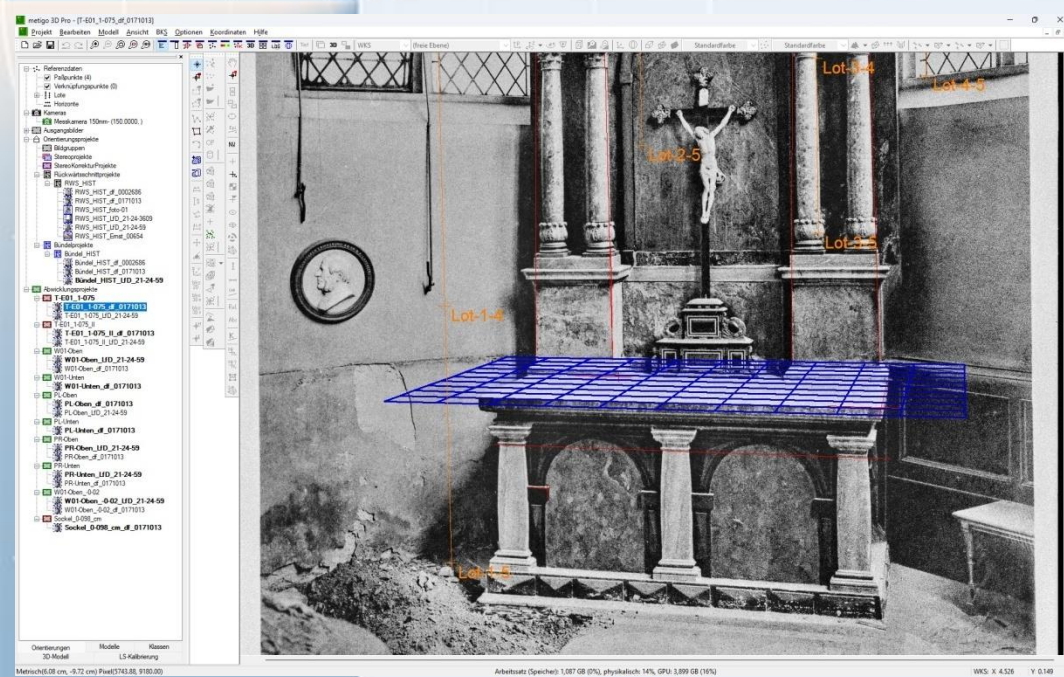
3D-Objektdokumentation für Rekonstruktion



Historische Aufnahmen:
-Deutsche Fotothek
-Landesamt für Denkmalpflege
Sachsen

Photogrammetrische Auswertung historischer Aufnahmen

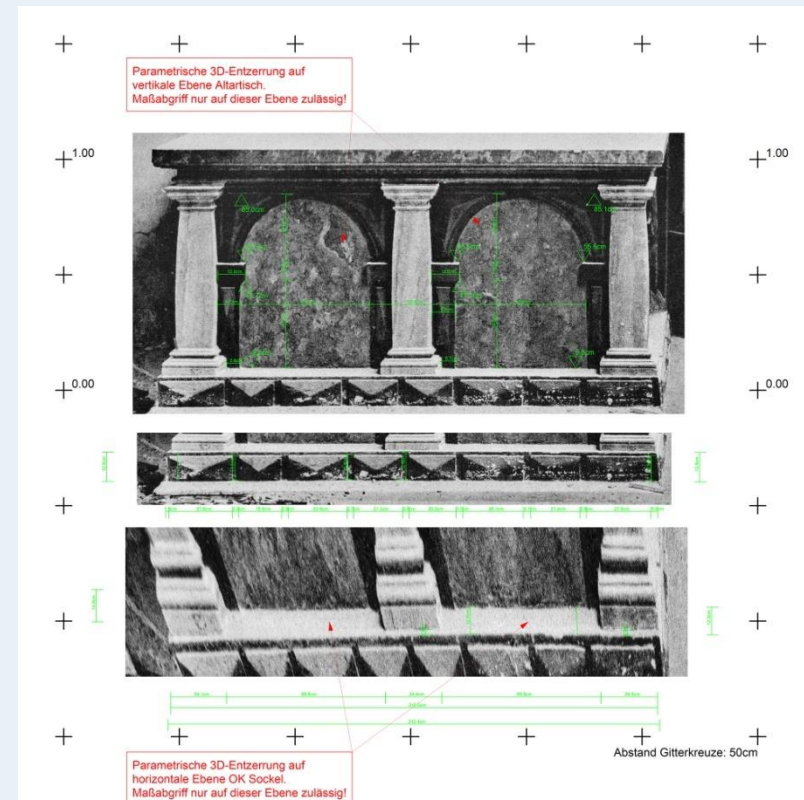
- für **Rekonstruktion Altartisch**
- Kontrolle Maßhaltigkeit der Zeichnung



Rekonstruktion Maße über parametrische
Entzerrung von 3D-Ebenen zur Bestimmung von:

- Profilen
- Höhen- und Tiefenmaßen

Historische Aufnahmen:
-Deutsche Fotothek
-Landesamt für Denkmalpflege
Sachsen



Photogrammetrische Auswertung historischer Aufnahmen

- für Rekonstruktion Altartisch
- Kontrolle Maßhaltigkeit der Zeichnung

3D-Objektdokumentation für Rekonstruktion



Links: virtuelle Rekonstruktion Bestand
Rechts: virtuelle Rekonstruktion Altartisch basierend aus
photogrammetrische Auswertung historischer Audnahmen



***Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit!***