

Carolin Pfeuffer

4. 3D-Modellierung von Skulpturen mit Laserscan und die quantitative Erfassung der 3D-Flächenmaße von Verwitterungsphänomenen

Zusammenfassung

Im folgenden Artikel wird die dreidimensionale Kartierung zur exakten Bestimmung der flächenmäßigen Ausbreitung von Schadensphänomenen auf der Oberfläche von Skulpturen vorgestellt. Hierzu wird die Generierung von drei-dimensionalen Modellen, die als Kartierungsgrundlage dienen, beschrieben. Des Weiteren wird die dreidimensionale Kartierung erläutert und die ermittelten Werte mit denen der zwei-dimensionalen Kartierung anhand von drei Beispielen verglichen. Auf diese Weise wird die höhere Genauigkeit der 3D-Kartierung deutlich. In einem letzten Punkt werden die weiteren Möglichkeiten in Bezug auf 3D-Modelle von Skulpturen besprochen.

Abstract

The following article presents the three-dimensional mapping as a tool for measuring the real distribution of damage phenomena on the surface of sculptures. The three-dimensional models of the sculptures that serve as the mapping basis were captured with a T Scan 2 from Fa. Steinbichler Optotechnik. Three-dimensional mapping is explained and the values determined on three examples are compared with the two-dimensional mapping. The comparison of 3D mapping with 2D mapping clearly proves the much higher accuracy of the 3D methodology. In a final point, further possibilities of using 3D models for assessing the state of sculptures are presented.

1. Einleitung

Für die Berechnung der Risikoziffer wird unter anderem die genaue flächenmäßige Ausbreitung von Schäden benötigt. Um diese Angaben zu erhalten, wurden Schadenskartierungen von 12 Objekten angefertigt. Die in der Konservierung, Restaurierung und Denkmalpflege übliche zweidimensionale Kartierung auf einem Foto erfordert jedoch viele unterschiedliche Ansichten eines Objekts, damit alle Bereiche erfasst werden. Die Flächen von Vertiefungen oder Hinterschneidungen können auf diese Weise gar nicht ermittelt werden, weshalb die genaue Ausbreitung des Schadens so nicht exakt bestimmt werden kann. Daher wird im Zuge des Forschungsprojektes „Risikoziffer“ auf die Möglichkeit des dreidimensionalen Kartierens zurückgegriffen, um die exakte

Ausbreitung des Schadens zu erfassen. Dazu müssen zunächst 3D-Modelle der Skulpturen angefertigt werden, welche als Kartierungsgrundlage dienen.

2. Gescannte Objekte

Im Projekt „Risikoziffer“ sind Skulpturen aus Sandstein und Marmor gescannt worden, die im Freien oder einem Depot stehen. Nachfolgend sind die gescannten Objekte aufgeführt:

- München: Schlosspark Nymphenburg
 - o Äolus, Sterzinger Marmor, Standort: im Freien
 - o Flora, Laaser Marmor, Standort: im Freien
- Baiersdorf: Jüdischer Friedhof
 - o Grabstein des Bernhard Ehrenbacher, Schilfsandstein, Standort: im Freien
 - o Grabstein des Sigmund Sulzberger, Schilfsandstein, Standort: im Freien
 - o Grabstein des Rabbi Löw Gans Nr. 935, Schilfsandstein, Standort: im Freien
 - o Doppelgrab Nr. 1091, Buntsandstein, Standort: im Freien
- Heidenau: Barockgarten Großsedlitz
 - o Hera/Juno (Kopie), Cottaer Sandstein, Standort: im Freien
 - o Hera/Juno (Original), Cottaer Sandstein, Standort: Depot
 - o Kybele/Rhea (Original), Cottaer Sandstein, Standort: Depot
- Dresden: Großer Garten
 - o „Die Zeit enthüllt die Wahrheit“, Carrara Marmor, Standort: im Freien
- Potsdam: Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg, Sammlung im Depot in Potsdam
 - o Apollo, Carrara Marmor, Standort: Depot
 - o Vestalin, Carrara Marmor, Standort: Depot

Insgesamt wurden sieben Skulpturen bzw. Grabsteine aus Sandstein und fünf Skulpturen aus Marmor gescannt (s. Abb. 1).

3. Durchführung der Laserscans

3.1 Scanner

Um die drei-dimensionalen Modelle der ausgewählten Objekte zu erhalten, wurden diese mit Hilfe

4. 3D-Modellierung und 3D-Flächenmaße



Abb. 1: Auswahl von 3D-Modellen der gescannten Skulpturen

des Laserscanners T-Scans 2 der Firma Steinbichler Optotechnik gescannt. Hierbei handelt es sich um einen handgeführten Laserscanner der Otto-Friedrich-Universität Bamberg. Der Scanner besteht aus zwei Teilen: einem IR-Kamerabalken, der den zweiten Teil, ein Handgerät mit Laserscanner, im Raum verortet.

Während des Scannens können die entstehenden Modelle am PC direkt gesehen werden. Es kann unmittelbar überprüft werden, ob alle Bereiche gescannt wurden, ob die Qualität stimmt usw. Bei dem fertigen Scan handelt es sich zunächst um eine Punktwolke. Diese rechnet die Software per Triangulation zu

einem Flächenmodell um, aus dem die Oberfläche des 3D-Modells generiert wird.

3.2 Scanablauf

Der Kamerabalken wird drei bis fünf Meter vor dem Objekt positioniert. Oftmals ist ein Gerüst für den Balken und wiederum ein Gerüst für die scannende Person nötig, um bei größeren Objekten alle Bereiche erfassen zu können (s. Abb.2, 3).

Im Freien ist häufig eine Abdunkelung mit Planen nötig, da bei hellem Sonnenlicht der Balken das Handgerät nicht orten kann. Die Planen schützen



Abb. 2: Beim Scannen der Skulptur „Die Zeit enthüllt die Wahrheit“, Dresden



Abb. 3: Beim Scannen der Skulptur Äolus, München

die empfindlichen Elektrogeräte auch vor Regen. Der Scanprozess gestaltet sich so, dass alle Bereiche, die mit einer Kamerabalken-Position erfasst werden können, zusammenhängend aufgenommen werden. Der Kamerabalken verfügt über ein bestimmtes Messvolumen, in dem er das Handgerät orten kann. Außerhalb dieses Bereichs wird das Handgerät nicht erfasst und es werden keine 3D-Daten ermittelt. Ist das Objekt größer als das angegebene Messvolumen, muss der Kamerabalken teilweise mehrfach umgestellt werden, um alle Teile des Objektes zu erfassen. Hat man alle Flächen gemessen, ist die Scan-Arbeit vor Ort abgeschlossen. Jede Kamerabalken-Position ergibt ein Teilstück des Objektes. Die Einzelscans werden am PC zu einem vollständigen Modell zusammengefügt. Das nennt man Matchen.

4. Nachbearbeitung

Nach dem Zusammenlegen aller Einzelscans und der automatischen Nachbesserung des Scan-Programms muss der Scan am PC noch optimiert werden. Durch Hinterschneidungen, Bewuchs auf der Oberfläche und der Geometrie des Handgerätes können nicht immer alle Bereiche der Skulptur aufgenommen werden. So entstehen Löcher in der Modelloberfläche (s. Abb. 4).

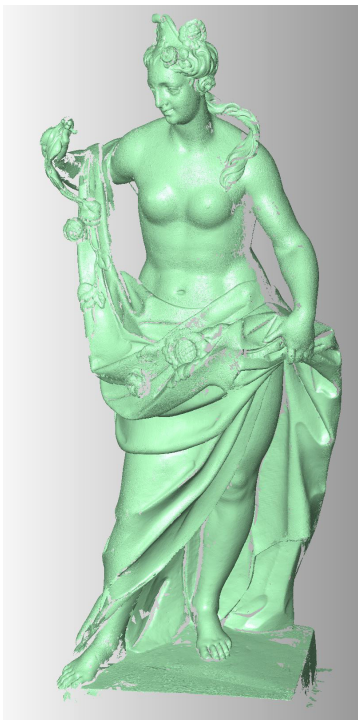


Abb. 4: 3D Scan der Flora

Diese Fehlstellen werden in der Nachbearbeitung am PC geschlossen. Auf diese Weise wird ein komplett geschlossenes 3D-Modell generiert.

5. Kartierung

Die fertiggestellten 3D-Modelle der Skulpturen können nun als Grundlage für die Schadenskartierung genutzt werden.

5.1 Kartierung vor Ort

Zunächst ist eine Kartierung der vorhandenen Schäden des Objektes vor Ort auf einem Foto ausgeführt worden. Hierbei sind zwei Schadenskategorien aufgenommen worden: Formen der Verwitterung und Oberflächenrauheit (nach DAMJANOVIC 2013) des Objekts (s. Tab. 1 und 2).

Schadensphänomen	Kartierungsfarbe
Rückwitterung	[Dark Blue]
Relief	[Teal]
Kruste	[Black]
Absanden	[Yellow]
Schuppen	[Orange]
Schale	[Red]
Aufblättern / Aufspalten	[Pink]
biologische Besiedlung	[Green]
Riss	[White]

Tab.1: Kartierungsvorlage: Verwitterungsphänomene

Rauheit	Kartierungsfarbe
P>1000	[Light Green]
P1000-600	[Dark Teal]
P600-400	[Grey]
P400-300	[Yellow]
P300-200	[Orange]
P200-60	[Red]
P>60	[Dark Blue]

Tab. 2: Kartierungsvorlage: Rauheit der Oberfläche

5.2 Dreidimensionale Kartierung

Die Kartierung muss in einem nächsten Schritt am PC, allerdings nun dreidimensional digitalisiert werden. Die derzeit am Markt verfügbare 3D-Kartierungssoftware funktioniert für unsere Ansprüche noch nicht zufriedenstellend, wie eigene Tests gezeigt haben. Auf derartige Probleme hat auch schon ANSEL ET AL. (2016) hingewiesen. Deshalb wurde die

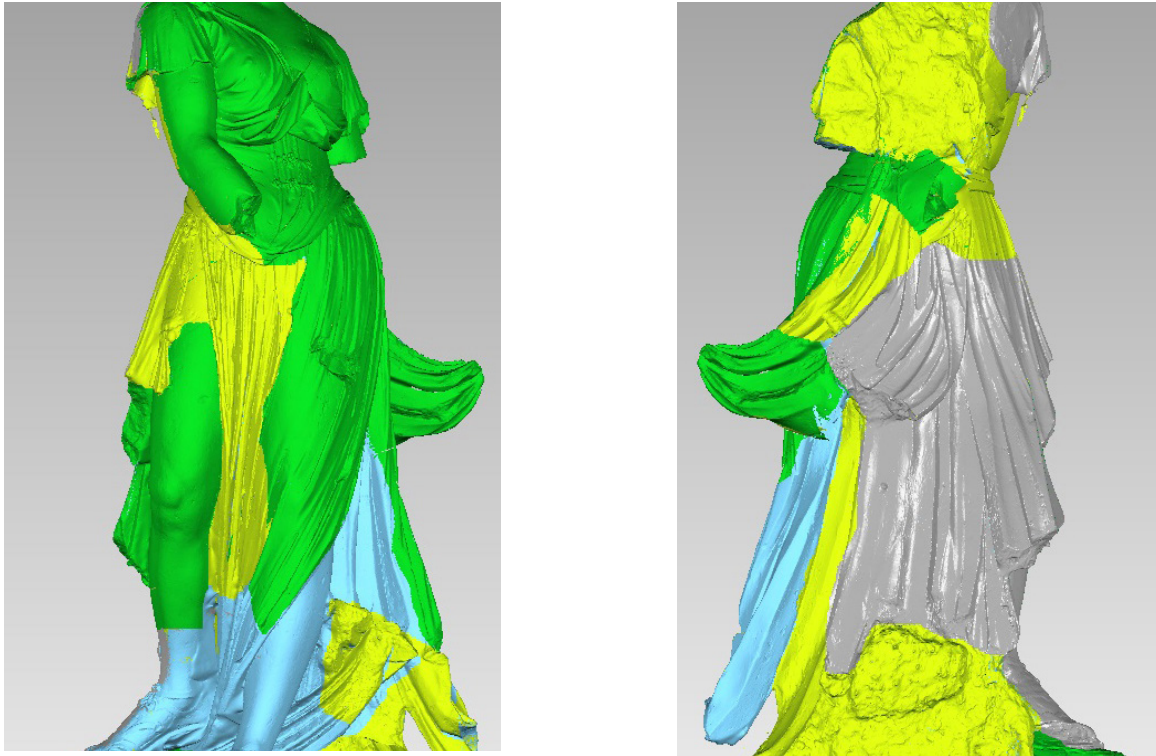


Abb. 5: 3D-Modell der Hera (Original) mit Kartierung der Oberflächenrauheiten

Ermittlung der Flächen mit Hilfe der Software Geomagic Studio 2013 durchgeführt. Hierbei handelt es sich um die Software, mit der schon die 3D-Modelle nachgearbeitet wurden, um beispielsweise Löcher zu schließen. Das Programm ist zur Bearbeitung von 3D-Modellen gedacht und damit eigentlich kein klassisches Kartierungsprogramm. Dennoch können Flächenmaße ermittelt werden.

5.3 Flächenmaße der Oberflächenrauheit am Beispiel der Hera

Im Folgenden wird die Ermittlung der flächenmäßigen Ausbreitung der Oberflächenrauheit am Beispiel der Hera (Original) aus dem Barockgarten Großsedlitz durch die 3D-Kartierung aufgezeigt (s. Abb. 5). Zunächst wird die Gesamtoberfläche bzw. die zu kartierende Fläche ermittelt (s. Tab. 3). Diese Flächen sind wichtig, da für die Risikoziffer die jeweiligen Werte in Bezug auf die Gesamtfläche benötigt werden.

	mm ²	gerundete m ²
Gesamtfläche	4627949,8319	4,63
Standfläche	1298320,8765	1,30
zu kartierende Fläche (Gesamtfläche minus Standfläche)	3329628,9554	3,33

Tab. 3: Ermittlung der Gesamtoberfläche der Skulptur Hera Original sowie der zu kartierenden Fläche.

In einem nächsten Schritt werden alle Flächen, die zu einer bestimmten Oberflächenrauheit gehören, zusammengefasst und mit der zugehörigen Farbe versehen (s. Abb. 5). Die Auswertung ergibt dann die in Tabelle 4 aufgeführten Flächenmaße.

Rauheit	mm ²	gerundete m ²	in Bezug auf Gesamtoberfläche
P<1000 (Grün)	1266661,6214	1,27	38,14%
P1000-600 (Hellblau)	610552,8248	0,61	18,32%
P600-400 (Grau)	513409,2141	0,51	15,32%
P400-300 (Gelb)	939005,2951	0,94	28,23%

Tab. 4: Ermittlung der einzelnen Oberflächenrauheiten an der Skulptur Hera Original

Das Ergebnis zeigt, dass 38 % der Gesamtoberfläche eine Rauheit von P < 1000 besitzen, 18 % eine Rauheit von 1000 – 600 und 15 % eine Rauheit von 600 – 400.

Das bedeutet, dass die Oberfläche des Sandsteins zu fast 75 % immer noch eine sehr feine Rauheit besitzt und somit praktisch trotz der fast dreihundert Jahre währenden Exposition im Freien kaum Schaden genommen hat. Die berechneten Flächenwerte werden dann für die Berechnung der Risikoziffer genutzt.



Abb. 6: 3D-Modelle der Skulpturen Apoll, Hera (Kopie), Flora (v. links n. rechts)

6. Vergleich 2D-/3D-Kartierung

Um die höhere Genauigkeit der 3D-Kartierung zu demonstrieren, wurde die flächenmäßige Ausbreitung der Oberflächenrauheit an drei ausgewählten Skulpturen (Apoll, Hera (Kopie) und Flora (s. Abb. 6)) durch eine zwei- und eine drei-dimensionale Kartierung bestimmt (s. Abb. 7). Die jeweiligen Ergebnisse werden im Folgenden verglichen.

6.1 Zweidimensionale Kartierung

Für die zwei-dimensionale Kartierung mit AutoCAD 2018-Software wurden die vier Ansichten der aus-

gewählten Skulptur – hier gezeigt am Beispiel des Apoll - auf die reale Größe des Objekts skaliert und die Flächen entsprechend ihrer Rauheit in verschiedenen Farben markiert (s. Abb. 8). Sodann erfolgte die Messung der Gesamtoberfläche der Skulptur und der unterschiedlichen Rauheiten.

6.2 Vergleich der mit 2D und 3D bestimmten Gesamtoberfläche

In einem ersten Schritt wird die Gesamtoberfläche der Skulpturen in beiden Varianten bestimmt (siehe Tab. 5). Da beim 3D-Scan nahezu die exakte Oberflä-

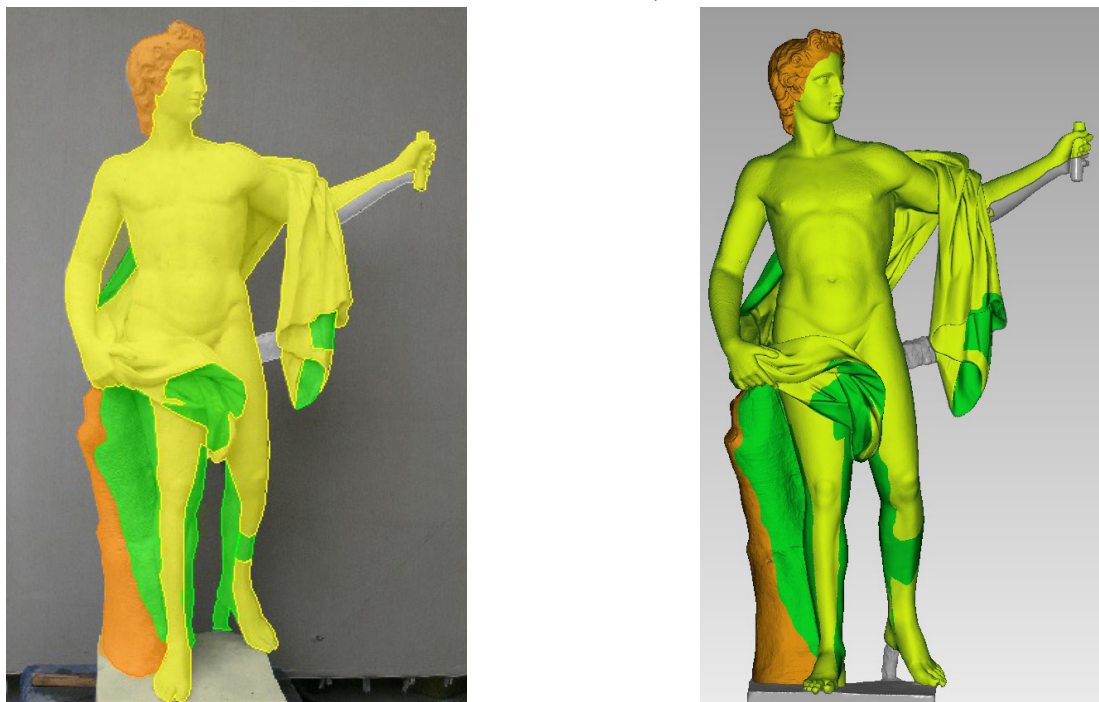


Abb. 7: Kartierung der Oberflächenrauheit der Apoll-Skulptur; links zwei-dimensional, rechts drei-dimensionale Kartierung

4. 3D-Modellierung und 3D-Flächenmaße

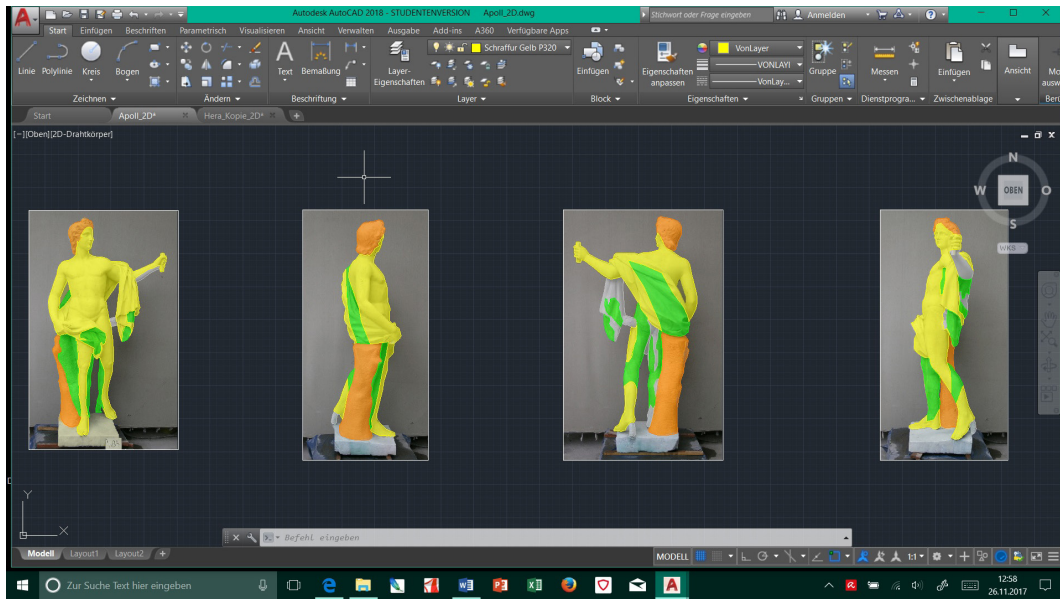


Abb. 8: Benutzeroberfläche von AutoCAD mit der 2D-Kartierung der Oberflächenrauheit des Apoll

che abgebildet wird, kann man bei der Ermittlung der Oberflächenmaße davon ausgehen, dass diese Werte der tatsächlichen Gesamtoberfläche entsprechen. Die Genauigkeit hängt bei diesem Verfahren vom Scanner und dessen Auflösung ab. Außerdem können, wie oben beschrieben, nicht alle Flächen genau aufgenommen werden. Beispielsweise können Vertiefungen nur bis zu einer bestimmten Tiefe vom Scanner erfasst werden. Die so entstehenden Fehlstellen werden bei der Nachbearbeitung durch Annäherung ermittelt. Das hat zur Folge, dass die bestimmten Flächenwerte um einen bestimmten, nicht genau definierbaren Wert zu gering ausfallen.

Apoll erfasst man zwei-dimensional nur 66 % der tatsächlichen Oberfläche. Hinzu kommt, dass die zwei-dimensional gemessenen Oberflächen scheinbar größer ausfallen, weil bestimmte Teilflächen auf mehreren Ansichten sichtbar sind. Die tatsächliche Gesamtoberfläche der Skulptur kann auf diese Weise nicht ermittelt werden. Die 3D-Kartierung liefert den exakteren Wert der Oberfläche, weil auch Hinter-schneidungen und Vertiefungen erfasst werden. So sind bei der Skulptur Apoll durch die 2D-Kartierung nur 66 %, bei Hera 88 % und bei Flora 77 % der Gesamtoberfläche erfasst.

	Gesamtoberfläche	
	2D-Kartierung	3D-Kartierung
Apoll	2,30 m ² (66,6% der 3D-Kartierung)	3,45 m ²
Hera	4,46 m ² (88,3% der 3D-Kartierung)	5,05 m ²
Flora	3,85 m ² (77,8% der 3D-Kartierung)	4,95 m ²

Tab. 5: Ermittelte Gesamtoberfläche der Skulpturen im Vergleich


6.3 Vergleich von 2D und 3D Schadenskartierung

Vergleicht man die Flächen der mittels 2D und 3D durchgeführten Schadenskartierung, so werden auch hier die Unterschiede deutlich erkennbar. Da sich die Ergebnisse der drei Skulpturen ziemlich unterscheiden, werden sie im Folgenden getrennt betrachtet.

6.3.1 Apoll

Bei der Apollo-Skulptur sind bei den zwei Kartierungsmethoden wie zu erwarten unterschiedliche Werte ermittelt worden (s. Tab. 6). Interessant hierbei ist, dass zumindest die Reihenfolge der ermittelten Flächenwerte gleich ist. So ist der Flächenwert der Oberflächenrauheit P400-300 bei beiden Kartierungen am größten, gefolgt von > P1000 an zweiter Stelle und P300-200. Den geringsten Oberflächenanteil weist Rauheit P600-400 auf.

Die bei der zwei- bzw. der dreidimensionalen Kartierung ermittelten Werte zur Gesamtoberfläche der Skulptur sind sehr unterschiedlich. Bei der Skulptur

	Oberflächenrauheit	2D-Kartierung		3D-Kartierung	
		Fläche	% Gesamtoberfläche	Fläche	% Gesamtoberfläche
	>P1000 (Grün)	0,51 m ²	22,33%	0,69 m ²	19,98%
	P600-400 (Grau)	0,12 m ²	5,38%	0,48 m ²	13,78%
	P400-300 (Gelb)	1,17 m ²	51%	1,74 m ²	50,45%
P300-200 (Orange)	0,49 m ²	21,4%	0,54 m ²	15,78%	
Tab. 6: Die Flächenanteile der Oberflächenrauheit im Vergleich. Skulptur Apoll.					

Will man die Werte miteinander vergleichen, ist es notwendig, die ermittelten Flächenangaben der 2D-Kartierung mit denen der 3D-Kartierung ins Verhältnis zu setzen.

Oberflächenrauheit	% der 3D-Kartierung
>P1000 (Grün)	73,91%
P600-400	25%
P400-300	67,24%
P300-200	90,74%

Tab. 7: Flächenanteile der Oberflächenrauheit in 2D-Kartierung in Bezug auf die Werte der 3D-Kartierung

Gut zu sehen ist, dass beim Oberflächenphänomen P600-400 durch die 2D-Kartierung lediglich 25% der tatsächlichen Fläche erfasst wurde. Betrachtet man die Fläche, bei der diese Rauigkeit an der Skulptur vorkommt, wird ersichtlich, dass es zu diesen Unterschieden kommt, weil die Beininnenflächen und die Armunterseiten betroffen sind. Diese Bereiche sind auf den 2D-Aufnahmen der Skulptur nicht zu sehen und werden bei der zweidimensionalen Kartierung nicht erfasst.

6.3.2 Hera (Kopie)

Die Werte, die bei der 2D-Kartierung der Hera (Kopie) ermittelt wurden, unterscheiden sich nicht sehr stark von denen der 3D-Kartierung. Die Reihenfolge der ermittelten Flächenwerte ist gleich, Jedoch ist der prozentuale Anteil an der Gesamtfläche leicht verschoben. Der Flächenwert des der Oberflächenrauigkeit P1000-600 ist bei der zwei-dimensionalen Kartierung im Vergleich zur 3D-Kartierung leicht erhöht.

Um die Werte der zwei- mit denen der dreidimensionalen Kartierung vergleichen zu können, müssen diese wieder miteinander in Relation gesetzt werden. Erkennbar ist, dass der leicht höhere prozentuale Anteil, der oben beschrieben wurde, sich auch auf den in Tab. 9 dargestellten Werten niederschlägt. So sind ca. 94% der Oberflächenrauigkeit von P1000-600 auch bei der zweidimensionalen Kartierung erfasst worden.

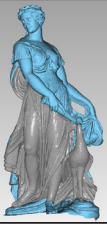
Oberflächenrauheit	% der 3D-Kartierung
P1000-700 (Blau)	94,21%
P700-500 (Grau)	82,52%

Tab. 9: Flächenanteile der Oberflächenrauheit in der 2D-Kartierung in Bezug auf die Werte der 3D-Kartierung

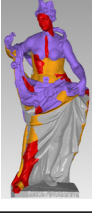
6.3.3 Flora

Erwartungsgemäß unterscheiden sich auch die Werte der 2D-Kartierung bei der Skulptur Flora von denen der 3D-Kartierung. Interessant hierbei ist, dass sogar die Reihenfolge der ermittelten Flächenwerte verschieden ist (Oberflächenrauheit P240, P120). So ist bei der 3D-Kartierung die Oberflächenrauigkeit P240 deutlich öfter erfasst. Das liegt daran, dass diese Bereiche v.a. an der Armunterseite bzw. an verdeckten Flächen vorkommen, die bei der 2D-Kartierung mit den nur vier Ansichten nicht ermittelt werden können.

Will man die Werte wieder miteinander vergleichen, ist es notwendig, die ermittelten Werte der 2D-Kartierung mit denen der 3D-Kartierung ins Verhältnis zu setzen (s. Tab. 10).

	Oberflächenrauheit	2D-Kartierung		3D-Kartierung	
		Fläche	% Gesamtoberfläche	Fläche	% Gesamtoberfläche
	P1000-600 (Blau)	2,44 m ²	54,71%	2,59 m ²	51,29%
P600-400 (Grau)	2,03 m ²	45,52%	2,46 m ²	48,71%	
Tab. 8: Die ermittelten Werte der Flächenanteile der Oberflächenrauheit im Vergleich. Skulptur Hera Kopie.					

4. 3D-Modellierung und 3D-Flächenmaße

	Oberflächenrauheit	2D-Kartierung		3D-Kartierung	
		Fläche	% Gesamtoberfläche	Fläche	% Gesamtoberfläche
	P600-400 (Grau)	1,02 m ²	26,42%	1,55 m ²	31,33%
	P300-200 (Orange)	0,29 m ²	7,48%	0,67 m ²	13,58%
	P200-60 (Rot)	0,37 m ²	9,52%	0,42 m ²	0,42%
	P<60 (Lila)	2,09 m ²	54,22%	2,3 m ²	46,63%

Tab. 10: Flächenanteile der Oberflächenrauheit im Vergleich. Skulptur Flora

Die Daten der Oberflächenrauigkeit P<60 sind auch bei der 2D-Kartierung gut erfasst. Diese sind v.a. in Bereichen anzutreffen, die auf den Aufnahmen gut zu sehen sind. Anders verhält es sich bei der Rauigkeit von P300-200, wo lediglich 43% ermittelt wurden.

Oberflächenrauheit	% der 3D-Kartierung
P600-400 (Grau)	65,81%
P300-200 (Orange)	43,28%
P200-60 (Rot)	88,1%
P<60 (Lila)	90,87%

Tab. 11: Flächenanteile der Oberflächenrauheit der 2D-Kartierung in Bezug auf die Werte der 3D-Kartierung

6.4 Gesamtbetrachtung

Insgesamt kann nachvollzogen werden, dass die 3D-Kartierung eine genauere Angabe der flächenmäßigen Ausbreitung der Oberflächenphänomene liefert. Damit kann sie beispielsweise als Methode zur Erfassung von nahezu exakten Werten für die Planung einer Konservierungsmaßnahme äußerst effektiv sein. Zum Beispiel zeigt die Kartierung des Apoll bei der Oberflächenrauigkeit P600-400, dass nur 25% der tatsächlichen Oberfläche mit Hilfe der zwei-dimensionalen Kartierung erfasst und damit 0,3 m² nicht ermittelt werden konnten. Müsste dieser Bereich aufwendig konservatorisch behandelt werden, würde es bei einer Ausführung zu einer nicht geplanten Mehrarbeit kommen.

7. Ausblick

Die Methode der Kartierung auf einem drei-dimensionalen Modell ist momentan noch nicht weit verbreitet. Den Restauratoren fehlen die teure Ausrüstung und die Erfahrung mit den Scannern. Die aufwändige 3D-Kartierung, bei der zuvor 3D-Modelle erstellt werden müssen, ist zeitintensiv und damit teuer. Doch diese Vorgehensweise lohnt sich, wie die Ergebnisse zeigen. Somit kann beispielsweise bei der Erstellung der Konservierungsmaßnahmen genauer und ressourcenschonender geplant werden.

Ein weiterer Vorteil der 3D-Daten-Erfassung ist neben der höheren Genauigkeit, dass mit dem 3D-Modell der momentane Zustand des Objektes exakt festgehalten wird. Löcher, Risse und sogar die Rauheit der Oberfläche werden genauestens und objektiv erfasst (RAHRIG, LUIB 2017). So können diese Daten unverfälscht für spätere Analysen genutzt und der Verwitterungsfortschritt festgestellt werden. Des Weiteren ist eine digitale Retusche an den 3D-Modellen möglich (HORN 2006), um so die unterschiedlichen Resultate alternativer Restaurierungsziele demonstrieren zu können.

Ebenso vorteilhaft ist, dass man mit Hilfe des 3D-Modells einen 3D-Druck erstellen kann. Aus dem virtuellen 3D-Modell wird ein physikalisches. So können beispielsweise Modelle mit unterschiedlichen Rekonstruktionsstufen erstellt und ausgewertet werden, ohne direkt am Original etwas verändern zu müssen. In naher Zukunft werden sich in diesem Bereich viele Veränderungen und Entwicklungen ergeben. Im Forschungsprojekt „Risikoziffer“ konnten mit Hilfe der 3D-Kartierung genauere Werte des Gesamtrisikos der ausgewählten Skulpturen ermittelt und somit das Risiko künftiger Schäden besser eingeschätzt werden.

8. Literaturverzeichnis

ANSEL JOCHEN, GERLING CHRISTINE, HOFMEISTER SABINE, SCHLICK SILKE (2016): Zwei Heiligenfiguren aus der katholischen Marienkirche in Bad Mergentheim – ein außergewöhnliches Restaurierungsprojekt und der Testlauf für eine 3-D-Dokumentation; in: Denkmalpflege in Baden-Württemberg – Nachrichtenblatt der Landesdenkmalpflege, 3/2016, Jahrgang 2016, S.157 – 163.

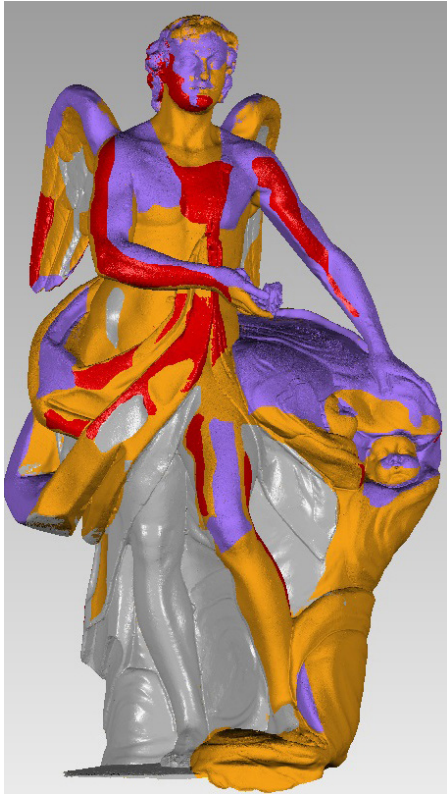
DAMJANOVIC SANDRA (2013): Sehen, fühlen, Messen. Erprobung der Profilemssmethode zur Einschätzung der Kantenabwitterung und der Beurteilung von Oberflächenrauheiten mit Hilfe von Sandpapieren sowie die messtechnische Ermittlung von Rauheitskenngrößen mit Hilfe des TRACEIT Systems an Carrara Marmorproben. Bachelor Thesis Studiengang Restaurierung FH Potsdam.

HORN FELIX (2006): Die virtuelle Retusche - Rekonstruktion verlorener Farbschichten am 3D Modell. In: Xi'an. Kaiserliche Macht im Jenseits. Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland Bonn. 21. April bis 23. Juli 2006. S. 180-183.

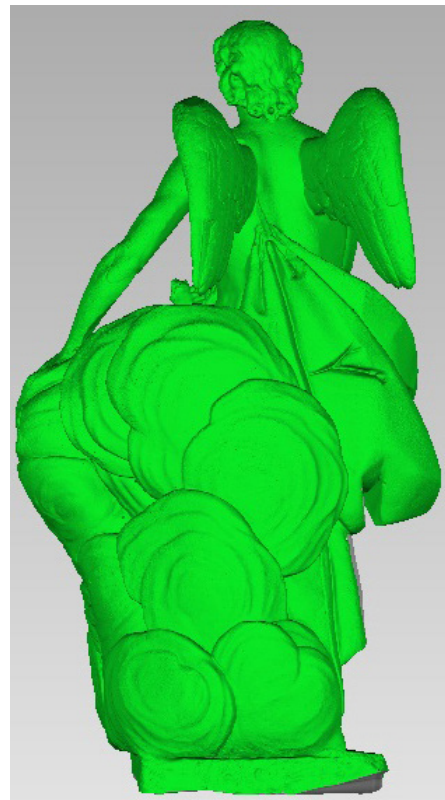
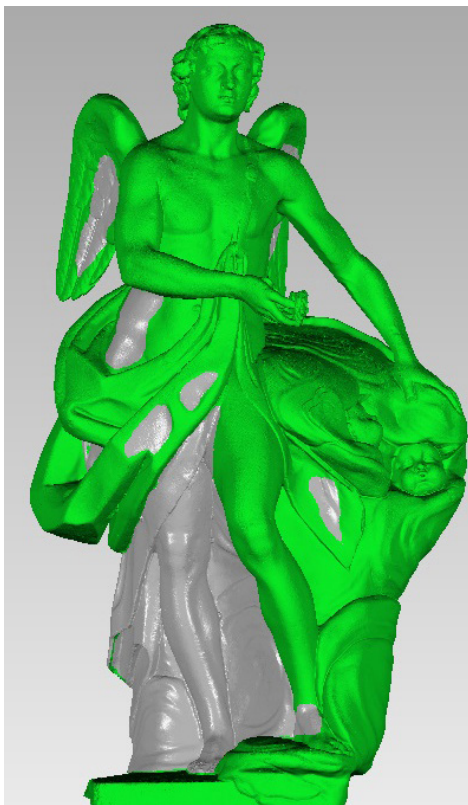
RAHRIG MAX, LUIB ANNA (2017): Sri Dalada Maligawa – 3D-Scanning and Documentation of the Temple of the Sacred Tooth Relic at Kandy, Sri Lanka, ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., IV-2/W2, 229-236, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-W2-229-2017>, 2017.

9. Anhang

9.1 Kartierung von Äolus, Schlosspark Nymphenburg, München



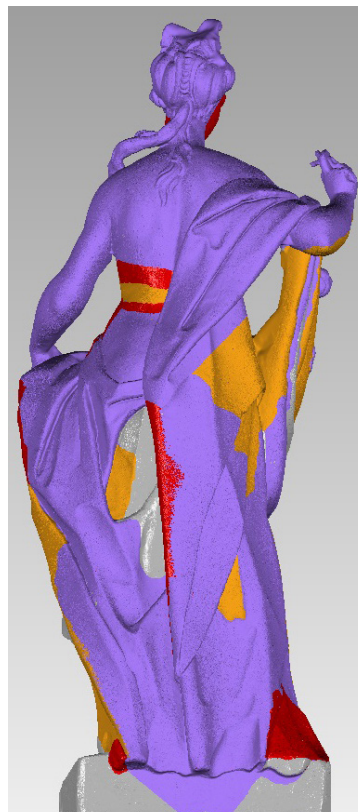
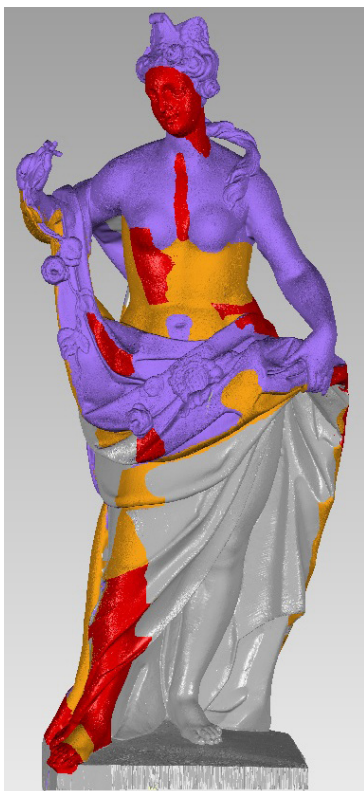
Kartierung der Rauheit



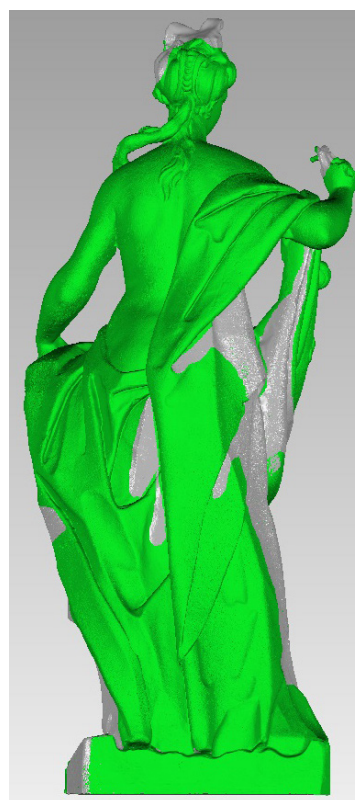
Kartierung der Verwitterungsphänomene

4. 3D-Modellierung und 3D-Flächenmaße

9.2 Kartierung von Flora, Schlosspark Nymphenburg, München

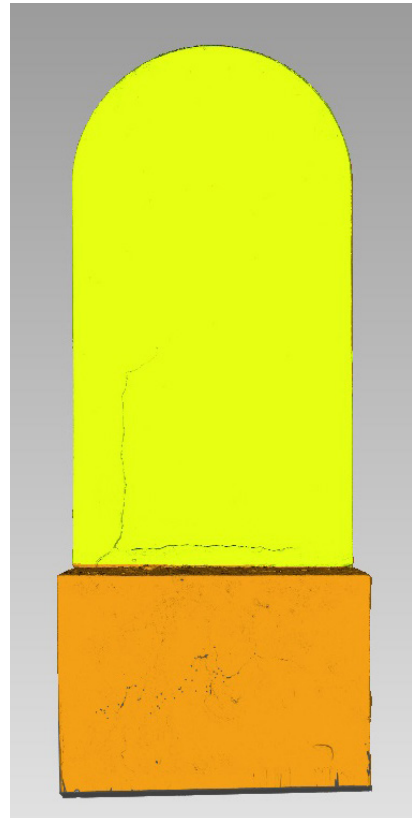
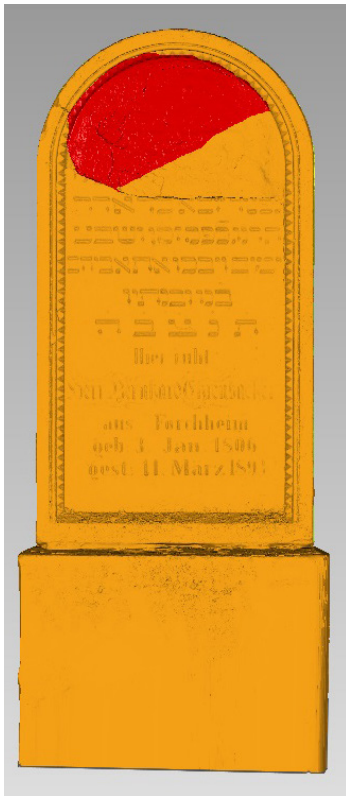


Kartierung der Rauheit

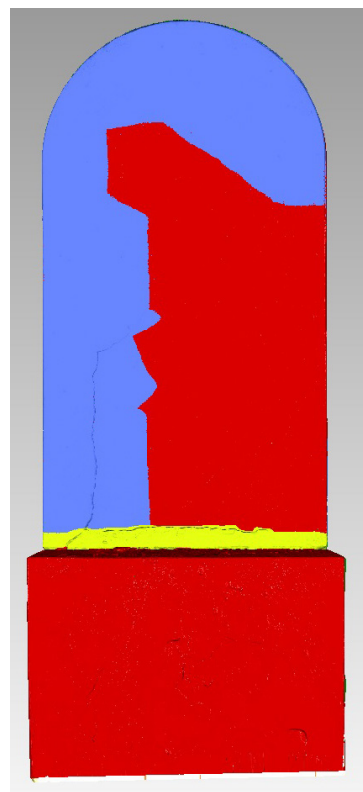
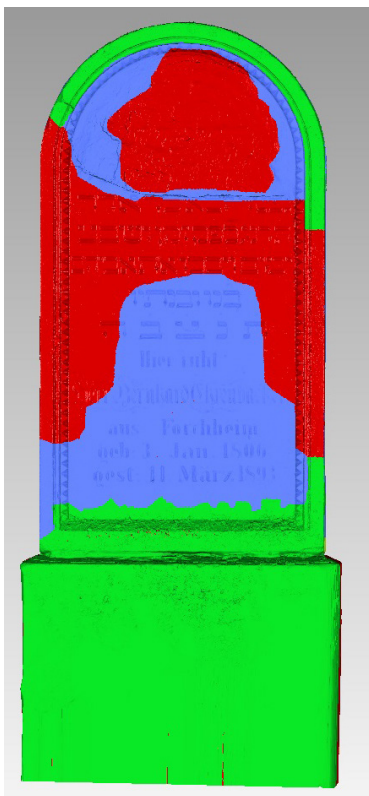


Kartierung der Verwitterungsphänomene

9.3 Kartierung des Grabsteins des Bernhard Ehrenbacher, Jüdischer Friedhof, Baiersdorf



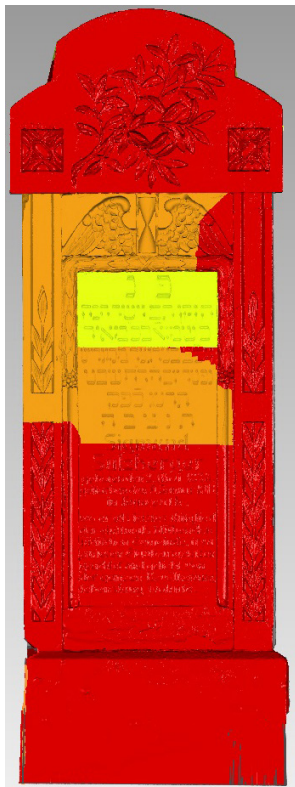
Kartierung der Rauheit



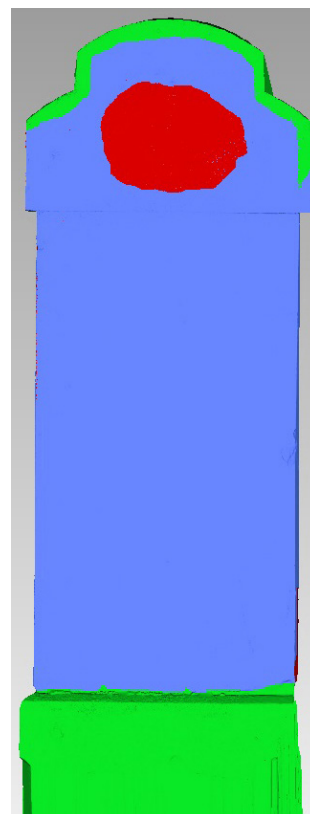
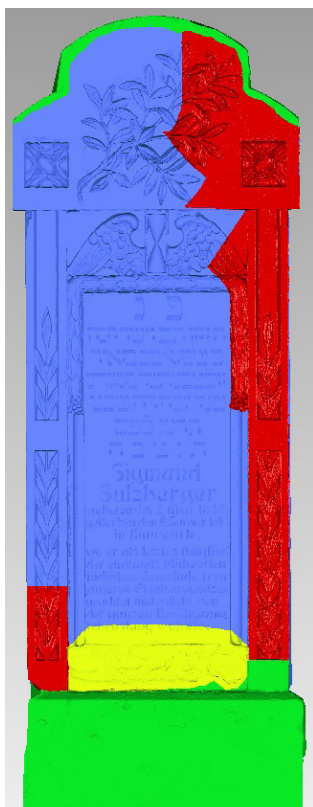
Kartierung der Verwitterungsphänomene

4. 3D-Modellierung und 3D-Flächenmaße

9.4 Kartierung des Grabsteins des Sigmund Sulzberger, Jüdischer Friedhof, Baiersdorf

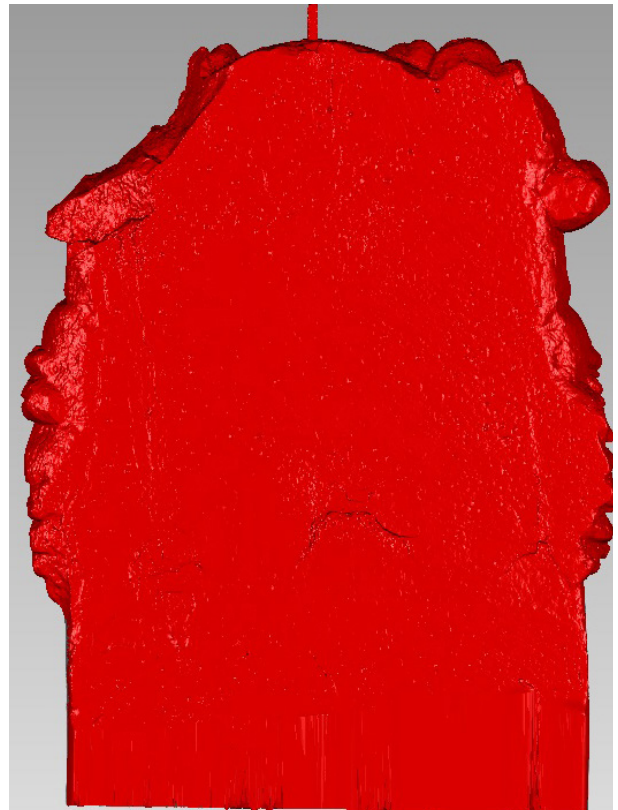


Kartierung der Rauheit

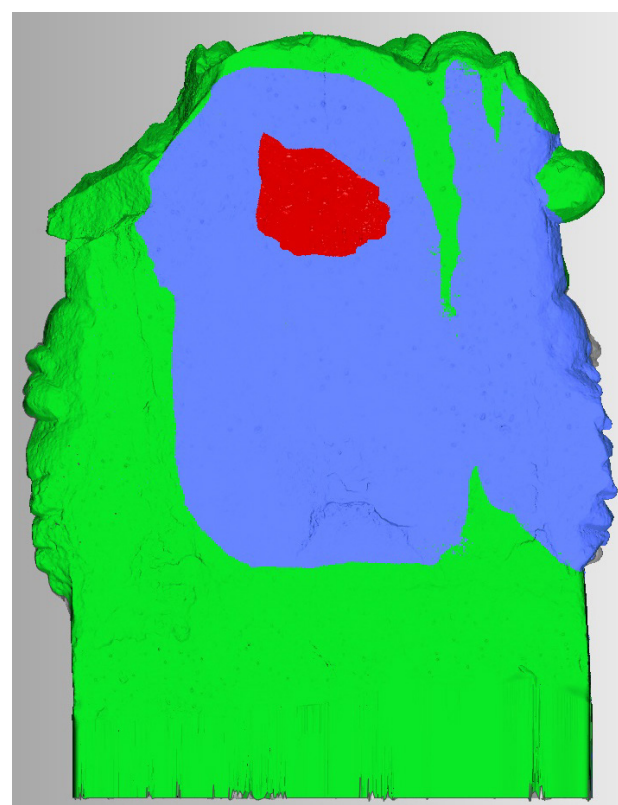
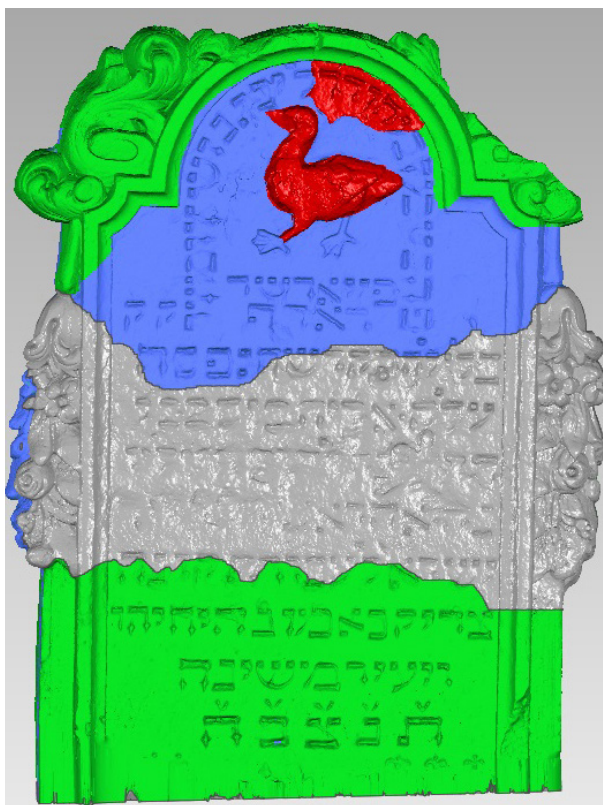


Kartierung der Verwitterungsphänomene

9.5 Kartierung des Grabsteins des Rabbi Löw Gans,
Jüdischer Friedhof, Baiersdorf



Kartierung der Rauheit



Kartierung der Verwitterungsphänomene

4. 3D-Modellierung und 3D-Flächenmaße

9.6 Kartierung des Doppelgrabes, Jüdischer Friedhof, Baiersdorf

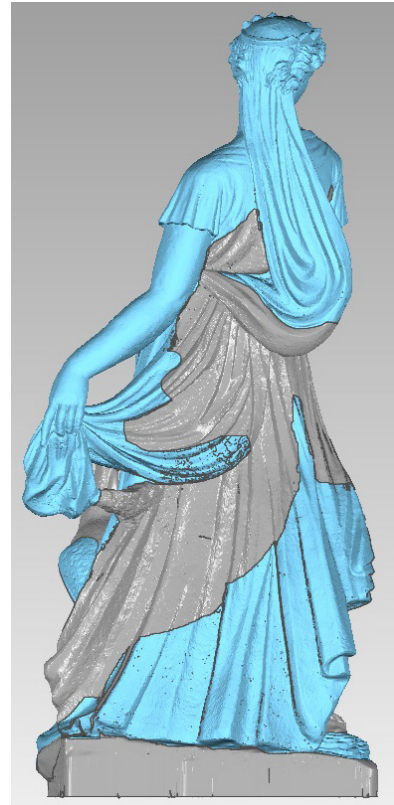
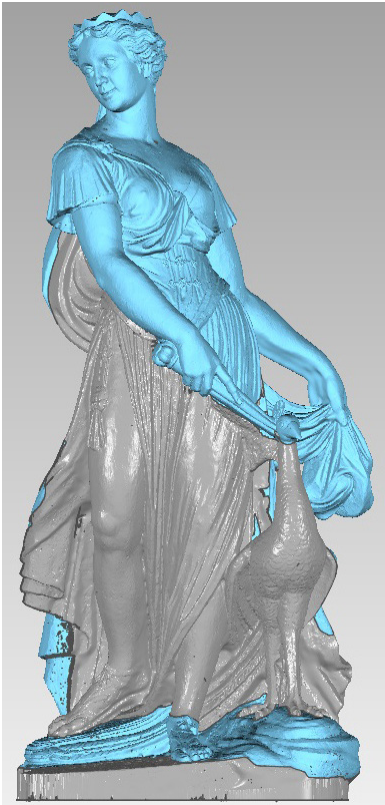


Kartierung der Rauheit

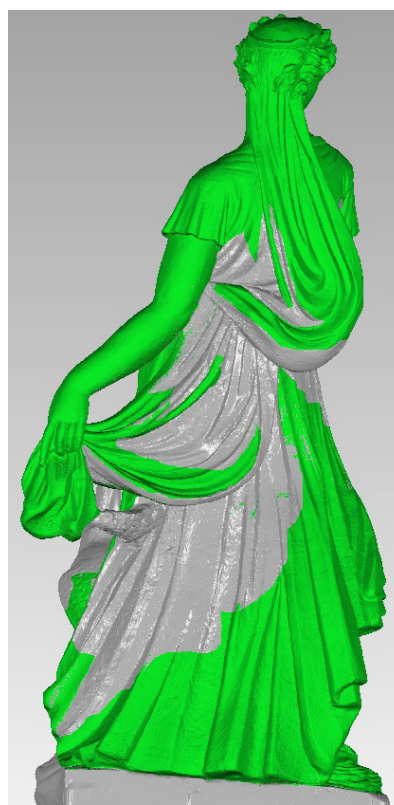
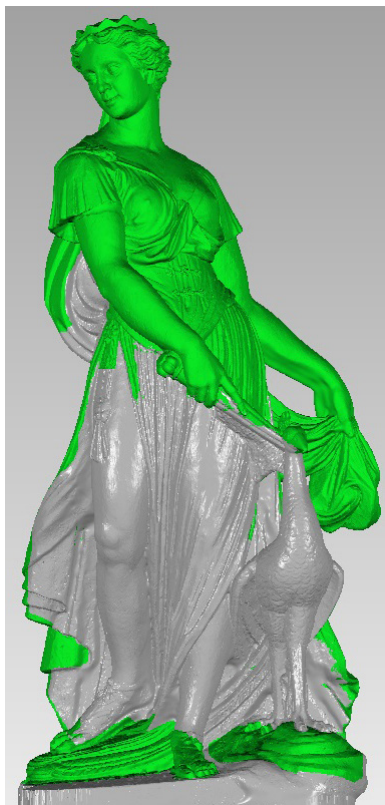


Kartierung der Verwitterungsphänomene

9.7 Kartierung Hera (Kopie), Barockgarten Großsedlitz, Heidenau

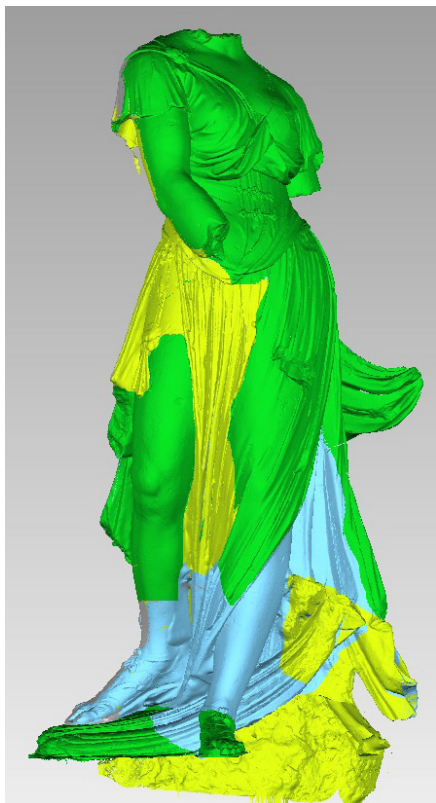


Kartierung der Rauheit

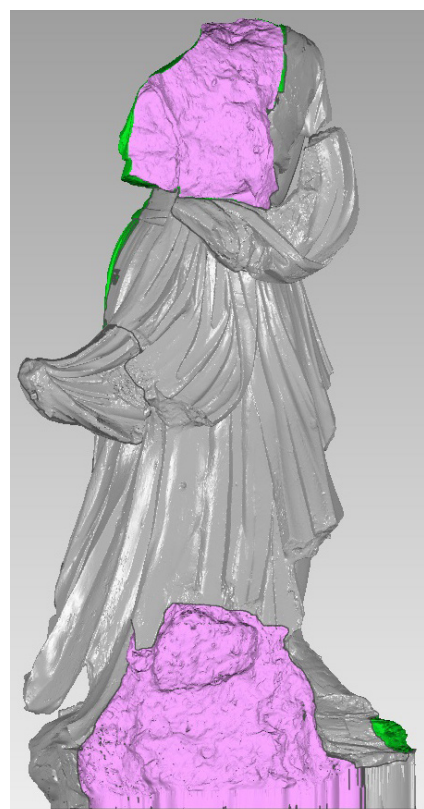
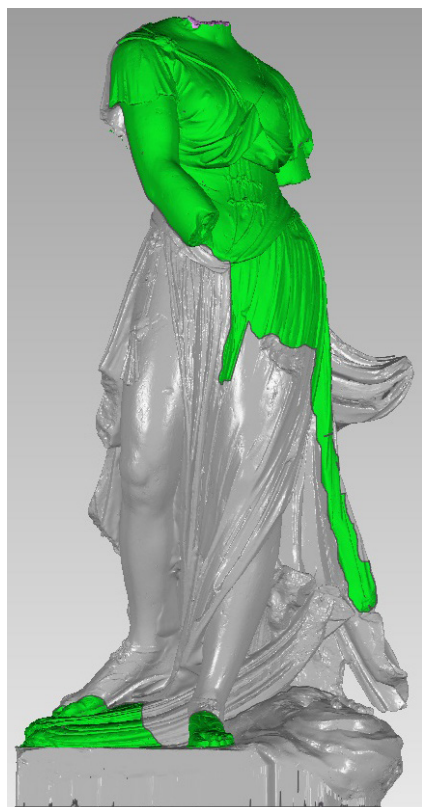


Kartierung der Verwitterungsphänomene

9.8 Kartierung Hera (Original), Barockgarten Großsedlitz, Heidenau

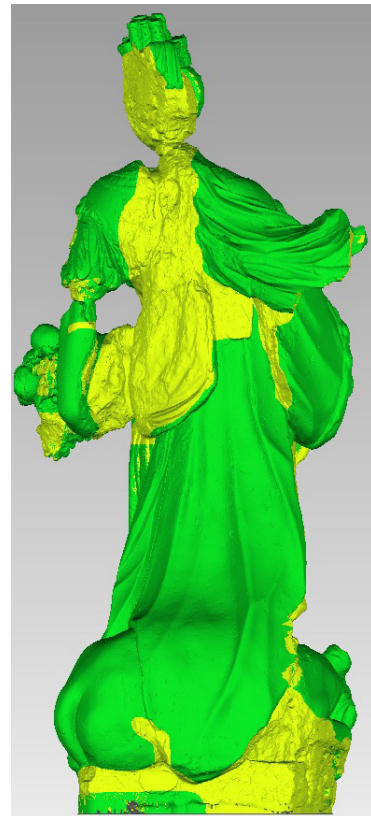
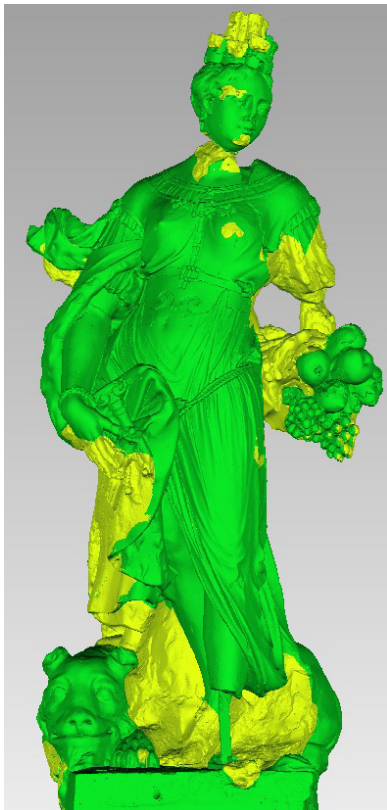


Kartierung der Rauheit

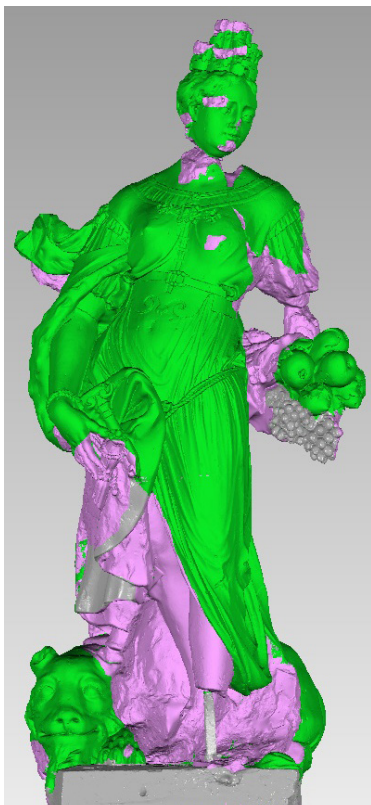


Kartierung der Verwitterungsphänomene

9.9 Kartierung Rhea (Original), Barockgarten Großsedlitz, Heidenau



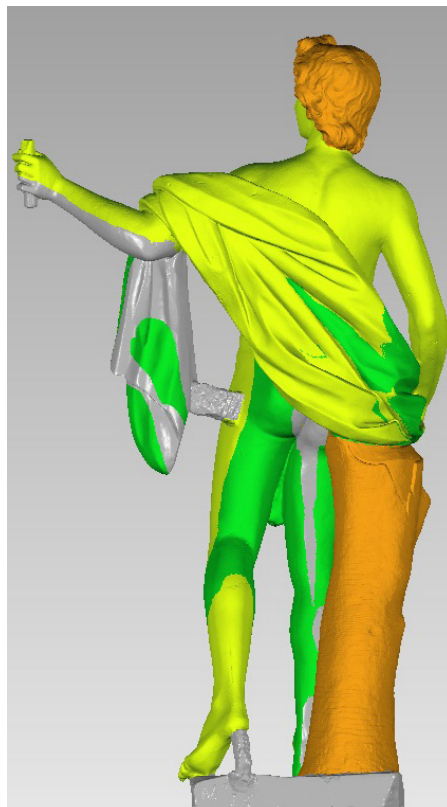
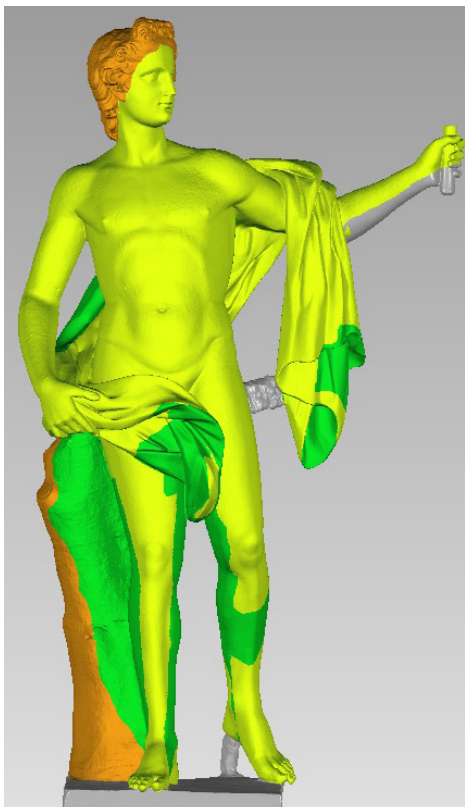
Kartierung der Rauheit



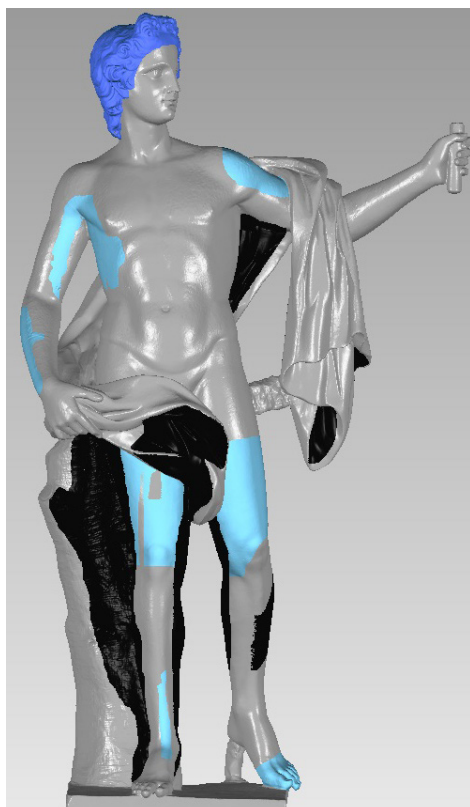
Kartierung der Verwitterungsphänomene

4. 3D-Modellierung und 3D-Flächenmaße

9.10 Kartierung von Apoll, Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg, Sammlung im Depot in Potsdam

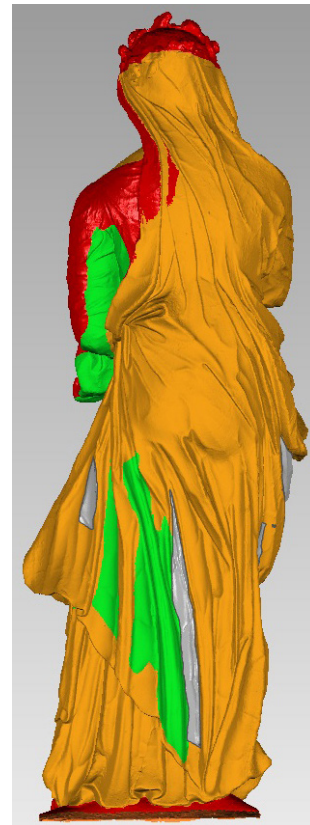
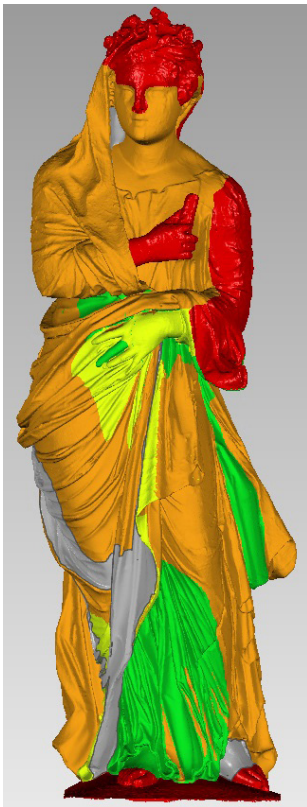


Kartierung der Rauheit



Kartierung der Verwitterungsphänomene

9.11 Kartierung von Vestalin, Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg, Sammlung im Depot in Potsdam



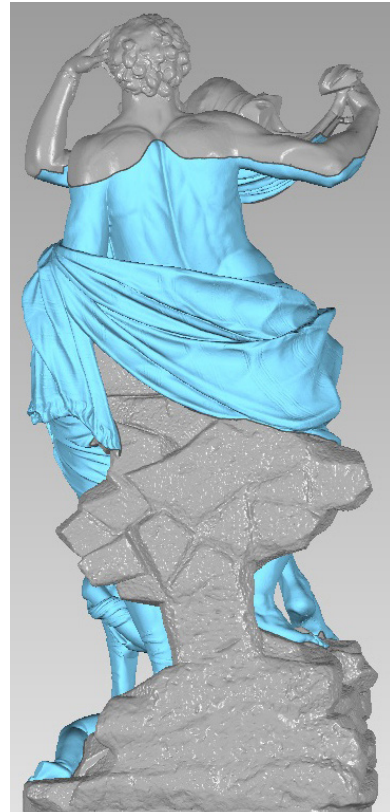
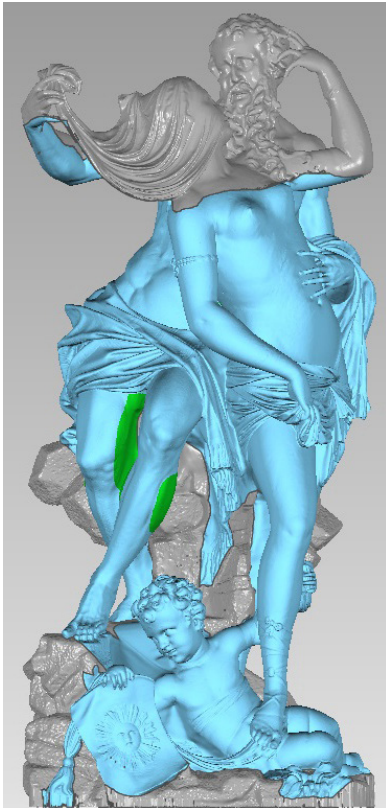
Kartierung der Rauheit



Kartierung der Verwitterungsphänomene

4. 3D-Modellierung und 3D-Flächenmaße

9.12 Kartierung von „Die Zeit enthüllt die Wahrheit“, Großer Garten, Dresden



Kartierung der Rauheit