

Multi Kamera Photogrammetrie

Bernhard Strackenbrock^a | Birgit Tsuchiya^b

^{a+b} Illustrated architecture, Deutschland info@illustrated-architecture.de

KURZDARSTELLUNG: Die Photogrammetrie wird seit über 150 Jahren zur 3D-Digitalisierung von Kunstobjekten eingesetzt. Klassisch mit hochauflösenden Kameras ausgeführt, ist es ein zweistufiges Verfahren, bei dem zunächst eine virtuelle Bildkonserve aus hinreichend vielen Messbildern des Objektes entsteht, aus denen dann das eigentliche 3D-Digitalisat abgeleitet wird.

Im Bedarfsfall kann das Digitalisat zu späteren Zeitpunkten mit dann aktuellen Programmen, oder auch von anderen Bearbeitern, erneut aus den Messbildern berechnet werden. Die Photogrammetrie ist damit ein transparentes und überprüfbares Vorgehen zur Erstellung von 3D Daten, das deswegen seit vielen Jahrzehnten in der Baudenkmalpflege ein hohes Vertrauen genießt.

Die Übertragung der klassischen Photogrammetrie auf ein besonderes Museumsobjekt, die Typographia Sinica der Berliner Staatsbibliothek, soll in diesem Beitrag vorgestellt werden. Dabei wird aufgezeigt, wie ein besonderes Möbelstück, ein Sammlungsschrank mit 10 Setzkästen als Schubladen, die knapp 3.500 ca. 2,5 cm große würfelförmige Drucktypen und einige 100 Sonderteile enthalten, in wenigen Tagen erfasst werden konnten. Die Würfel wurden von 6 Seiten aufgenommen, wobei die Oberflächen mit den chinesischen Schriftzeichen mit einer Auflösung von 0.025 mm erfasst wurden. Daneben wurden noch alle Schubladen einzeln und das Möbel im Ganzen erfasst.

1. EINFÜHRUNG

Für die 3D-Digitalisierung von Objekten im Museumsbereich stehen im Wesentlichen zwei grundsätzlich unterschiedliche Ansätze zur Verfügung. Das porträthafte Digitalisieren mit aktiven Scannern, bei dem weite Teile des Digitalisates direkt vor Ort entstehen, sowie photogrammetrische Verfahren, bei denen vor Ort eine hinreichende Zahl von hochauflösenden Messbildern entstehen, die dann im Büro in die entsprechenden 3D-Objekte umgesetzt werden. Auf eine kurze Zeitachse gesehen sind die Ergebnisse beider Herangehensweisen gleichwertig. Bei den photogrammetrischen Verfahren entsteht jedoch im Grunde nebenbei eine virtuelle Bildkonserve mit sehr hochauflösenden, metrischen Bildern, die jedes Detail des Objektes festhalten.

Aus dieser virtuellen Bildkonserve können zu späteren Zeitpunkten weitere 3D-Objekte oder andere Unterlagen erstellt werden. Das kann auch zu einem sehr viel späteren Zeitpunkt erfolgen, oder für Fragestellungen, die bei der ursprünglichen Aufnahme der Messbilder noch nicht bekannt waren. Die virtuelle Bildkonserve eines Objektes darf aber nicht mit den immer mehr Verbreitung findenden „3D-VR“ Modellen für 3D Brillen oder andere 3D Betrachtungssysteme verwechselt

werden. Diese „3D-VR“ Modelle können aber schöne Nebenprodukte einer hochauflösenden Messbilderfassung zur digitalen Bestandsicherung sein, die durch Reduktion der Bildauflösung und der Geometrie aus der Bildkonserve entstehen.

Diese reinen „3D-VR“ Modelle können aber auch aus extra aufgenommenen Bildern mit niedrigen Auflösungen entstanden sein, was man ihnen in der Regel aber nicht ansieht. An dieser Stelle ist Vorsicht geboten. Aus den niedrig aufgelösten Bildern und Geometrien einer reinen VR Präsentation können zu einem späteren Zeitpunkt natürlich keine hochauflösenden Unterlagen erstellt werden. Das gilt natürlich auch für „3D-VR“ Modelle aus der Bildkonserve, auch sie können nicht wieder in hochauflösende Unterlagen, wie sie für die Erforschung und Erhaltung des Denkmals benötigt werden, zurückverwandelt werden, wenn kein Zugriff auf die originale Bildkonserve besteht.

Für 3D-Punktwolken, die ebenfalls aus der Bildkonserve erstellt werden können, und heute in moderaten Auflösungen in alle gängigen CAD oder 3D-Softwarepaketen eingeladen werden können, gilt ebenfalls, das einmal reduzierte Daten nicht wieder in hochauflösende Daten zurückgeführt werden können.

In diesem Beitrag wird vom Verfasser nur auf photogrammetrische Verfahren mit Bildern im sichtbaren Bereich des Lichtes eingegangen, an deren

Entwicklung er als Vertragswissenschaftler des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt – DLR seit vielen Jahren intensiv beteiligt ist, und die er gemeinsam mit seiner Frau Dipl.-Ing. Architektin Birgit Tsuchiya im Rahmen vieler Projekte von illustrated architecture eingesetzt hat.

2. DIE BILDKONSERVE

Die älteste und wohl auch eine der bekannteren Bildkonserven im hier verwendeten Wortsinn ist das Bildarchiv der ehemaligen Königlich Preussischen Meßbild-Anstalt, die von 1885 bis 1920 in Berlin ca. 20.000 Glasnegative mit metrischen Kameras von Denkmälern im deutschsprachigen Raum, aber auch von Gebäuden im Vorderen Orient anfertigte. Dieses historische Messbildarchiv (MBA) befindet sich heute im Brandenburgischen Landesamt für Denkmalpflege. Die 3D Auswertung dieser Aufnahmen ist mit speziellen Herangehensweisen heute noch möglich. Bis zur Jahrtausendwende bestanden Bildkonserven im Wesentlichen nur aus fotografischen Bildern metrischer Kameras in großen Formaten, wobei sich nach dem zweiten Weltkrieg die Formate 9x12 cm oder 13 x 18 cm als Glasplatte oder Planfilm durchgesetzt haben. Ab den 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurden auch vermehrt Rollfilme im Mittelformat eingesetzt. Die analogen Bildträger der Fotografie wurden dann aber nach und nach durch digital aufgezeichnete Bilder ersetzt, wobei aber das Prinzip der Photogrammetrie, das zwei oder mehrere Bilder benötigt werden, um einen Punkt im 3D Raum festzulegen, nicht berührt wird.



Abb. 1: Photogrammetrische Aufnahmen in Altamira 1958 (Bild DM)



Abb. 2: Photogrammetrische Auswertung 2018 der 60 Jahre alten Bilder mit Reality Capture

Die älteste Bildkonserve, die vom Verfasser mit denselben Methoden wie die Typographia Sinica ausgewertet wurde, ist ein Satz von schwarz weißen Kleinbildnegativen aus der Bilderhöhle von Altamira in Spanien, aufgenommen Ende der 50er Jahre des letzten Jahrhunderts. Die aus diesen Bildern errechnete 3D-Geometrie der Decke hat 1-2 mm 3D-Auflösung und ist vergleichbar zu modernen Laserscanner Modellen. Die originalen Negative liegen heute im Deutschen Museum in München. Das Beispiel zeigt eindrücklich, daß eine Bildkonserve über einen langen Zeitraum immer wieder mit aktuellen, verbesserten Verfahren ausgewertet werden kann, ohne das man das original Objekt erneut aufnehmen muss. Es ist daher besonders wichtig bei der Aufnahme von photogrammetrischen Bildern darauf zu achten, daß die eingesetzten Kameras und Objektive eine möglichst hohe Bildqualität erzeugen können.

3. DIE TYPOGRAPHIA SINICA

Bei der Typographia Sinica handelt es sich um ein Sammlungsmöbel, bestehend aus einem Untergestell und einem Sammlungsschrank mit 10 Schubladen aus dem 17. Jahrhundert. Sie wurde von Andreas Müller (um 1630–1694) für den Großen Kurfürsten in Berlin angefertigt. Die Typographia Sinica wurde auf Anregung von Herrn Dr. Bienert von uns für das Humboldt Forum Berlin in Zusammenarbeit mit der Staatsbibliothek Berlin digitalisiert.



Abb. 3: Typographia Sinica, synthetisches Bild aus dem 3D Modell



Abb.4: Digitalisierung des Möbels mittels Schwebestativ

Die ersten 8 Schubladen enthalten je ca. 400 Holzwürfel mit jeweils ungefähr 2,5 cm Kantenlänge, in deren oben liegender Fläche jeweils ein chinesisches Schriftzeichen im Negativ eingeschnitten ist. Die Seitenflächen der Würfel sind mit unterschiedlichen Ordnungssystemen nummeriert, die Unterseiten sind unbeschriftet. Die Schubladen 9 und 10 enthalten Halbzeug, an dem man den Entstehungsprozess der Typen ablesen kann sowie diverse Sonderteile. Es wurde das Möbelstück an sich, jede einzelne Schublade im Ganzen und alle Typen digitalisiert. Für das Möbel und die Schubladen im Ganzen wurde eine Auflösung von 0.1-0.2 mm angestrebt, für die Drucktypen 0.025mm für das Druckzeichen und 0.05mm für die Seitenflächen. Die Drucktypen wurden dabei nicht einzeln, sondern jeweils im Zusammenhang einer Schublade erfasst, da die Typen zur Digitalisierung der Seitenflächen eh den Schubladen entnommen werden mussten. Dafür wurden die Typen so aufgestellt, daß es möglich war jeweils 5 Seiten gleichzeitig zu digitalisieren; für die letzte Seite wurden die Typen einmal gedreht und ein zweites mal vereinfacht aufgenommen.



Abb. 5: Aufbau der Typen für die 3D Digitalisierung

4. MULTI KAMERA PHOTOGRAMMETRIE

Unter Multi Kamera Photogrammetrie wird hier eine Herangehensweise verstanden, bei der unterschiedliche Kameras parallel oder nacheinander eingesetzt werden, die jeweils ein eigenes Bild erzeugen, in Abgrenzung zu Kameras, in denen mehrere Bildsensoren verbaut sind, deren Daten aber

zu einem gemeinsamen Bild zusammengefasst werden. Ein älteres Beispiel für ein digitales Multikamerasystem ist die High Resolution Stereo Kamera HRSC, die am DLR Berlin für die Mars-Express Mission der ESA um die Jahrtausendwende gebaut wurde. Die HRSC besteht aus einer weitwinkligen Zeilenkamera und einer Flächenkamera mit leichtem Teleobjektiv. Diese Kamera ist aber bei der Satellitenmission leider ausgefallen.

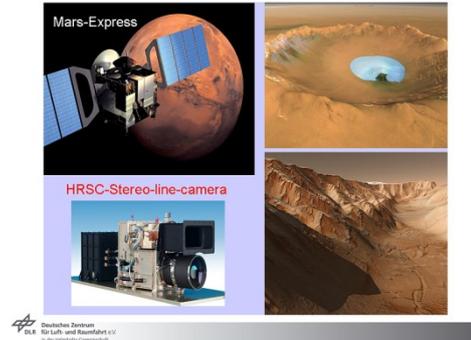


Abb. 6: Mars Express Kamera

Die HRSC stand damit quasi Pate für das Kamerasystem, mit dem wir die Schrifttypen der Typographiya Sinica aufgenommen haben. Dafür haben wir ebenfalls eine extrem weitwinklige Kamera mit 16 mm Brennweite (Kleinbild) mit einer 35 mm Kamera kombiniert. Für die 3D-Digitalisierung wurden die Kameras mit senkrechter Achse in X- und Y- Richtung über den Objekten verschoben, so das ein klassischer Bildflug en miniature entstand. Es wurde ein Raster von 5 cm in X- und Y- Richtung aufgenommen; damit war genügend Sicherheit gegeben, damit durch evtl. einzelne unscharfe Aufnahmen keine Lücken im Verband entstehen. Für beide Brennweiten wurde eine Sony A7RIII mit Zeiss Objektiv eingesetzt. Die Kameras wurden auf einem Videoschlitten montiert, so das die Y-Richtung automatisch abgefahren werden konnte, der Schlitten wiederum war auf einem selbstgebautes Portalsystem befestigt, das manuell in X- Richtung verschoben wurde.

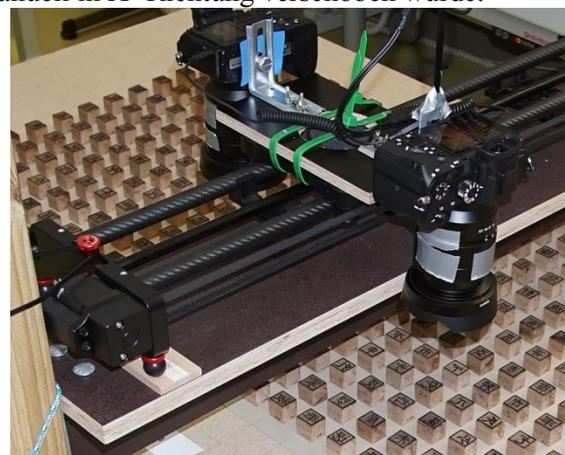


Abb.7: Die zwei Sony Kameras auf dem Videoschlitten

Alle eingesetzten Komponenten entstammen dem gehobenen fotografischen Bedarf und können auch professionell gemietet werden.

Die Sony A7RIII bietet die Möglichkeit Aufnahmen mit dem Pixelshift Verfahren anzufertigen; dabei wird das Bayerfilter zur Erzeugung der Grundfarben Rot Grün und Blau, das nahezu jeder Bildsensor enthält, überwunden, und es entstehen voneinander unabhängige Pixel im fertigen Farbbild. Für eine mathematische Auswertung entspricht das einer Vervielfachung der Kameraauflösung.

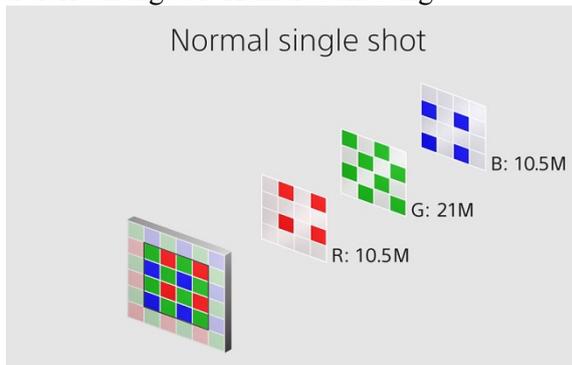


Abb.8: Normales RGB Bild. Zur Erzeugung des endgültigen Bildes werden die leeren Positionen der einzelnen Farben interpoliert, um ein vollständiges Farbbild zu erreichen. (Abb Sony)

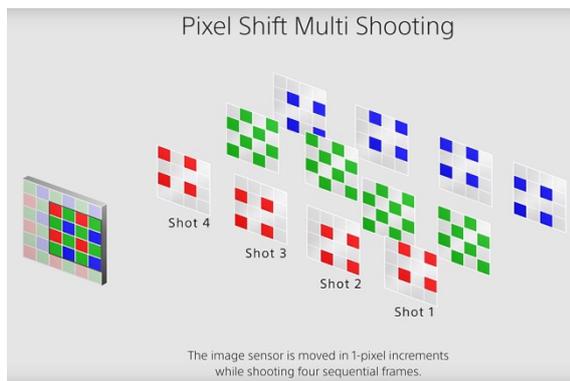


Abb.9: Pixelschift RGB Bild. Zur Erzeugung des endgültigen Bildes werden die vier einzelnen Aufnahmen nur zusammengeschoben, um ein vollständiges Farbbild zu erreichen. (Abb Sony)

Beim Pixelschift Verfahren werden an jedem Kamerastandpunkt 4 Aufnahmen angefertigt. Zwischen den Aufnahmen wird im Kamerarinneren der eigentliche Bildsensor jeweils um ein Pixel in X- oder Y- Richtung des Bildkoordinatensystems verschoben. Dafür ist in der Kamera eine entsprechende Mechanik erforderlich. Pixelschift Bilder können nur bei feststehender Kamera aufgenommen werden. Für die Digitalisierung der Typen wurde dieses Verfahren mit beiden Brennweiten eingesetzt, so das mit jeder Kamera ca. 3.200 Bilder mit 42 MP je aufgestellter Typen einer Schublade aufgenommen wurden, wofür jeweils ca. 2,5 Stunden benötigt wurden.

Die besondere Herausforderung bei der photogrammetrischen 3D-Digitalisierung im

Nahbereich ist die Tiefenschärfe. Die mögliche Tiefenschärfe einer Kamera bei gegebenem Objektstand ist von der Brennweite und der verwendeten Blende abhängig, wobei aber die weitverbreitete Auffassung, das eine kleine Blende automatisch zu mehr Schärfe führt irrig ist, da mit kleinen Blenden andere Abbildungsfehler entstehen. Gute Objektive haben ihr Abbildungsmaximum meist um Blende 8 herum. Eine kurze Brennweite, hier das 16 mm Objektiv, kann auch im Nahbereich noch den ganzen Würfel gut abbilden, so das jeweils 5 Seiten aufgenommen werden konnten. Durch den großen Öffnungswinkel von 96° werden zudem auch bei senkrechter Kameraachse die Seitenflächen der Würfel gut erfasst.

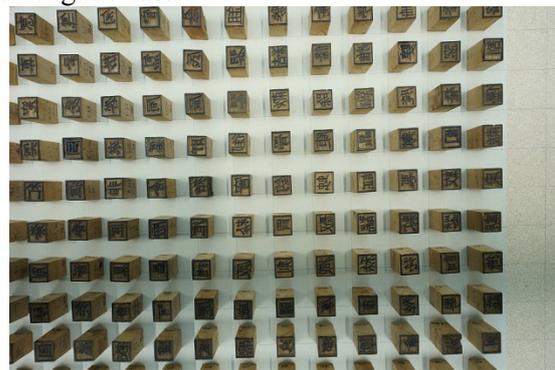


Abb.10: 16 mm Aufnahme



Abb.11: 35 mm Aufnahme vom selben Schlitten-Haltepunkt

Die 35 mm Brennweite dient der feinen Digitalisierung des Schriftzeichens. Führt man beide Aufnahmeserien zusammen, entstehen hochauflösende 3D-Modelle, die jeweils 5 Seiten eines Würfels zeigen. Die Würfel können auch aus dem gesamten Tableau ausgeschnitten und einzeln dargestellt werden.



Abb.12: Ausschnitt aus einem schattierten 3D Modell von 7 einzelnen Typen

Für die 3D-Digitalisierung des ganzen Möbels wurde ebenfalls ein Multi Kamera System, bestehend aus einer Sony RX0 Kamera mit fester Brennweite und einer Sony A7RIII eingesetzt. Beide Kameras können mittels eines speziellen Kabels synchron ausgelöst werden, und sind noch leicht genug für ein kleines Schwebestativ [Abb. 4]. Mit der Fixfokus Kamera werden bei der Orientierung genügend homologe Punkte in einem Referenzmodell erzeugt, so das man die zweite Kamera mit einer Bildvarianten Kalibrierung, also Autofokus, und gegebenenfalls auch Zoomobjektiv in die Rechnung einführen kann.

5. 3D AUSWERTUNG

Die Auswertung aller aufgenommenen Teile erfolgt in den Stufen RAW Bild Entwicklung, 3D-Berechnungen und interne Publikation auf einem Web Server, der für alle Beteiligten zugänglich ist. In einem Vorbereitungsschritt werden alle RAW Bilder gesichtet, systematisch benannt und strukturiert abgelegt.

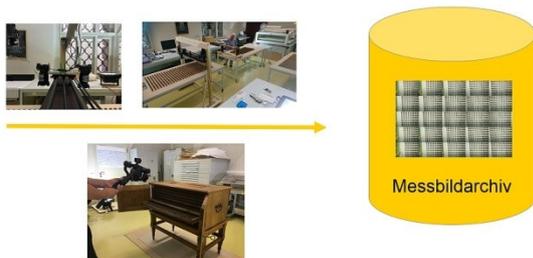


Abb.13: Aufbau der Bildkonserve mit zusammen ca. 6 TB RAW Daten

Für die Typographia Sinica wurden insgesamt ca. 84.000 Bilder aufgenommen, die gemeinsam die hochauflösende Bildkonserve des Objektes ergeben. Nach der mit der im Projekt gewonnenen Erfahrung kann man aber bei diesem Aufbau die Schrittweite der Y- Achse verringern und auf viele Bilder, die zur Sicherheit aufgenommen wurden, verzichten, da durch die weitestgehende Automatisierung der Aufnahmearbeiten mittels Einsatz eines Videoschlittens keine unscharfen Bilder angefallen sind, und das Pixelschift Verfahren ebenfalls so

stabil ist, daß nur 5 fehlerhafte Aufnahmen entstanden sind. Alle Fehler bei den Pixelschift Bildern beruhen darauf, daß an den Tischenden eine Person versehentlich in den großen Bildkreis der 16 mm Kamera getreten ist, was der Enge im Aufnahmeaum geschuldet war. Eine Aufnahmeanordnung mit 5 cm X- Schrittweite und 7.5 cm Y- Schrittweite wäre also ausreichend gewesen.

Für die RAW Bild Entwicklung wurde die Sonyeigene Software zur Berechnung der Pixelschift Bilder eingesetzt, wobei auch eine Korrektur der Verzeichnung und der chromatischen Aberation erfolgte. Vor der eigentlichen 3D-Auswertung wurden auch alle Bilder im JPG Format mit maximaler Qualität gespeichert, um die physikalische Datenmenge zu reduzieren.

Photogrammetrische Puristen werden zwar über beide Schritte die Nase rümpfen, aber die JPG Komprimierung in hoher Qualität hat keine mit heutigen Viewern wahrnehmbare Auswirkungen auf das Ergebnis, reduziert aber die Zugriffszeiten auf die Festplatten während der Auswertung erheblich, was sich bei der Auswertung einer so großen Bildmenge schon mit einigen Wochen bemerkbar macht. Auch das mehrfache Auspacken der komprimierten Bilder ist bei Einsatz moderner leistungsfähiger Grafikkarten hingegen nicht zu spüren.

Alle 3D Berechnungen erfolgen mit dem Softwarepaket Reality Capture in der Reihenfolge Orientierung, Bildung eines hochauflösenden Meshes mit ca. 650.000.000 Dreiecken für alle Typen einer Schublade und einer entsprechend dichten 3D-Punktewolke mit Textur. Die Meshes werden auf topologische Fehler und Löcher untersucht und entsprechend bereinigt, ausgedünnt und in einer Basisauflösung von 60.000.000 Dreiecken texturiert. Dabei entstehen 4 Texturatlanten mit je 32.000 x 32.000 Pixel für alle Würfel einer Schublade gemeinsam.

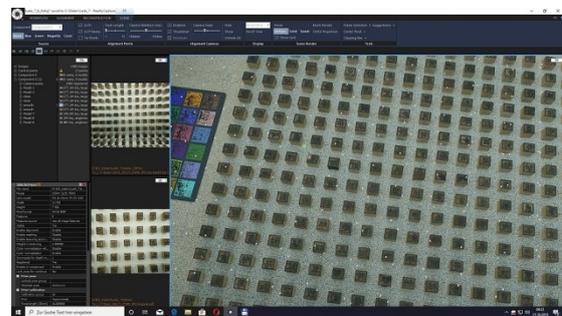


Abb.14: Arbeitsbildschirm von Reality Capture

Anschließend erfolgt eine weitere Reduktion auf 20.000.000 Dreiecke für Programme wie 3D-Studio und Co. und auf 2.000.000 für die projektinterne

Internet Publikation. Für die interne Publikation werden die am stärksten reduzierten 3D-Modelle direkt aus Reality Capture auf die 3D-Plattform Skechfab übertragen, wo sie von allen Berechtigten nur mit einem Internetbrowser eingesehen werden können.

Alle 3D-Auswertungen erfolgen parallel auf zwei „Gaming“ PCs, die mit 64 GB RAM typischen Gamer Grafikkarten und SSD Festplatten ausgerüstet sind. Solche Rechner sind heute im Bereich von 4.000€ (Netto) zu kaufen. Einer der Rechner ist bereits 6 Jahre alt. Die Rechner sind mit Zeitlizenzen (Monatslizenzen) für Reality Capture ausgerüstet, es gibt aber auch die Möglichkeit die Bildstapel für die Auswertung zu lizenzieren, pay per Input -PPI. Mit der PPI- Lizenz kann man zunächst alle 3D-Auswertungen erproben; Kosten fallen nur an, wenn die Ergebnisse exportiert werden sollen. Das ist eine schöne Möglichkeit sich mit photogrammetrischen 3D-Auswertungen besser vertraut zu machen. Die Bilder im Projekteingang können nicht mehr verändert werden, allerdings kann man den Bildstapel ergänzen. Ob man dies auch für eine gewisse Zertifizierung der Bilder nutzen kann, wird noch weiter von uns untersucht.

6. SCHLUSSBEMERKUNG

Anhand der Typographia Sinica kann aufgezeigt werden, wie mit normalem fotografischen Equipment und überschaubaren finanziellen Mitteln 3D-Digitalisate in höchster Auflösung angefertigt werden können. Nach einer längeren Testphase wurden für das Digitalisieren vor Ort 6 Tage benötigt, und alle Auswertungen erfolgten innerhalb von 6 Wochen. Berücksichtigt man nur die Würfel, wurden weniger als 8 € je Schriftzeichen eingesetzt. Voraussetzung dafür ist ein guter Überblick über moderne fotografische Kameras und Objektive sowie ein tiefgreifendes photogrammetrisches Verständnis des gesamten Workflows.

7. DANKSAGUNG

Um die Typographia Sinica in der dragestellten Form zu digitalisieren, waren zwei Probeläufe erforderlich, um zu einer optimalen Abstimmung von Hard- und Software zu kommen. Für die dafür aufgebrauchte Geduld möchten wir uns bei Frau Buttler vom Humboldtforum und dem Team der Staatsbibliothek, welches das Objekt bearbeitet, bedanken.

8. LITERATURHINWEIS

[1] GUMBRECHT, CORDULA; FISCHER, CHRISTIAN: 2019. Demnächst im Humboldt Forum: Die Typographia Sinica in: Bibliotheksmagazin 1/2019 https://www.bsb-muenchen.de/fileadmin/pdf/publikationen/bibliotheksmagazin/BM2019_1.pdf

[2] BRUNNER, MARKUS; STRACKENBROCK, BERNHARD; WIESNETH, ALEXANDER. 2019. 3D-Vermessung von hochrangigen Denkmälern der Bayerischen Schlösserverwaltung - von Pilotprojekten zur Standardisierung. In: "Denkmalpflege" Wissenschaftliche Zeitschrift der Vereinigung der Landesdenkmalpfleger in der Bundesrepublik Deutschland, Deutscher Kunstverlag 2019 Heft 2 im Druck.

[3] HIRZINGER, Gerd; STRACKENBROCK, BERNHARD: 2019. Das Projekt „Bayern 3D – Heimat Digital“ in: Die Vensugrotte im Schlosspark Linderhof Illusionskunst und Hight Tech im 19. Jahrhundert. ICOMOS Hefte des deutschen Nationalkomitees LXX, 2019 pp. 237

[4] STRACKENBROCK, BERNHARD; HIRZINGER, GERDd, WOHLFEIL, JÜRGEN. 2014. Multi-Scale / Multi-Sensor 3DDokumentation und 3D-Visualisierung höfischer Prunkräume, To be published in the proceedings of EVA conference on Electronic Media and Art, Culture, History held in Berlin, Germany, November 5th-7th 2014.

[5] WOHLFEIL, JÜRGEN; STRACKENBROCK, BERNHARD; KOSSYK, INGO. 2013. Automated high resolution 3D reconstruction of cultural heritage using multi-scale sensor systems and semi-global matching. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial; Information Sciences, Volume XL-4/W4, 2013, pp. 37