

Archäologische Sehschule 2.0

Was passiert, wenn Klassische Archäologie und Informatik aufeinandertreffen? Einblicke in ein Forschungsvorhaben zur Bildhauerei in der griechischen Hochklassik.

VON INGEBORG KADER, KYOKO SENGOKU-HAGA,
CHRISTOPH ANTHES UND KATSUSHI IKEUCHI

Die Zündung des Polyklet: der „Kanon“

Das Welterbe der europäischen Kunst sähe heute anders aus, hätte nicht um die Mitte des 5. Jahrhunderts v. Chr. ein griechischer Bildhauer namens Polyklet (ca. 480–410 v. Chr.) ausgerufen: „Lasset uns rechnen!“

Polyklet wurde gerade geboren, als eine große Koalition der Griechen bei Salamis die Perser besiegte. Aus der positiven Erfahrung, dass wir als vernetztes Team stärker sind, machten aber nur die Athener wirklich Ernst und verfolgten weiter ihren Weg zur radikalen Demokratie. In dieser Aufbruchsstimmung wuchs Polyklet auf. Perikles war nur wenig, Phidias noch etwas älter als er. Sokrates, der Lehrer Platons, war etwas jünger. Nach dem Teamerfolg gegen die Perser erlebten die Griechen eine Explosion von Kreativität, eine Singularität im Sinne von James Clerk Maxwell oder eine Fulguration im Sinne von Konrad Lorenz. Irgendwann in diesem Prozess kam Polyklet auf die Idee, das stupide Messen beim Konzipieren von menschlichen Körpern zur τέχνη zu erheben. In seiner neuen Proportionierungsmethode, dem so genannten Kanon, übertrug er das Quadrivium für jeden leicht anwendbar auf die Bildende Kunst. Die Kernidee der Hochklassik, die radikale Idealplastik, war geboren.

2.470 Jahre Echo

Die kreative Explosion der griechischen Hochklassik hat die Weltgeschichte bewegt wie ein Stein, der in einen stillen See fällt. Sie hallt seit über 2.470 Jahren nach. Das Wissen Ägyptens und anderer Hochkulturen mag darin enthalten sein. Aber wir haben in der sog. Ersten Welt der menschlichen Zivilisation nun mal seit Jahrtausenden in griechisch-römischem Stil gebaut und gebildhauert, das allein zählt. Vermutlich, weil darin die Idee der Demokratie

mitschwingt, auch weil die Griechen schlicht und einfach viele interessante Ideen hatten, sie aufgeschrieben und in leicht entzifferbarem Schriftgut in großer Menge hinterlassen haben. Es gab mindestens drei Renaissance der griechischen Hochklassik: Römer, Renaissance, Klassizismus / Deutsche Klassik. Was haben diese Erzeugnisse menschlicher Kreativität also an sich, dass sie uns seit Jahrtausenden einfach nicht ruhen lassen?

Lokale und globale Zündungen

Beispiel München: Ludwig I. wollte München zu einem Isar-Athen umbauen. Münchens Maxvorstadt bebaute er in antikem Stil, ihren Kern widmete er der antiken Kunst und der Wissenschaft. Erst heute jedoch schöpfen wir das Potential seines „perikleischen Impulses“ mit dem Ausrufen des Münchner Kunstareals überhaupt aus. Warum erst jetzt? Die Antwort ist einfach: weil wir uns erst dank der Digitalen Revolution wieder genauso effektiv vernetzen können wie





Abb. 1: Im Zentrum für Virtuelle Realität und Visualisierung des Leibniz-Rechenzentrums.

damals die Griechen vor Salamis. Seither erlebt die ganze Welt eine kreative Explosion, die uns in eine phantastische Zukunft führen wird. Es mag zunächst gewaltig knirschen im analogen Gebälk, aber als intelligentes, globales Kollektiv werden wir erfolgreich sein. Das ist sicher.

Ein Mythos geht zu Ende – die Digitale Zündung im Herzen der Klassischen Archäologie

Ein erster Erfolg dieser neuen Intelligenz ist nun hier zu vermelden: 2011 machte sich Kyoko Sengoku-Haga, eine Klassische Archäologin aus Japan, zusammen mit einem 3D-Team auf, um die Frage nach der „edlen Einfalt und stillen Größe“ oder dem Wesen der griechischen Hochklassik erneut anzugehen. Hier in Europa hatte diese Frage schon länger keine Konjunktur mehr. Es bedarf offensichtlich einer unbelasteten, spielerischen, ja naiven Neugier,

sich erstens überhaupt wieder an ein solches Kardinalthema heranzuwagen und zweitens mit scheinbar derart „pietätlosen“ Mitteln. Kyoko Sengoku-Haga und ihr Team verfügen nicht nur über alle diese Tugenden, sondern zusätzlich noch über japanische Disziplin in jeder Hinsicht, Zähigkeit und Ausdauer. Viele Reisen in viele Museen Europas, viele Genehmigungen, Hunderte Stunden eintöniger Scansitzungen, langwierige Nachbearbeitung großer Datenmengen, Entwicklung von maßgeschneiderter Analyse-Software u. s. w. – das alles steht hinter diesen Ergebnissen: modernste Klassische Archäologie des 21. Jahrhunderts n. Chr.

Was also hat dieses Team gemacht? Sie haben Dutzende 3D-Scans von Details sorgfältig ausgewählter römischer Kopien der Werke Polyklets, egal ob männliche oder weibliche Figuren, per Computer verglichen (Abb. 2 und 3). Kyoko Sengoku-Haga hatte kein Problem damit, dass der Computer womöglich ein besserer Beobachter sein könnte als sie selbst nach etlichen

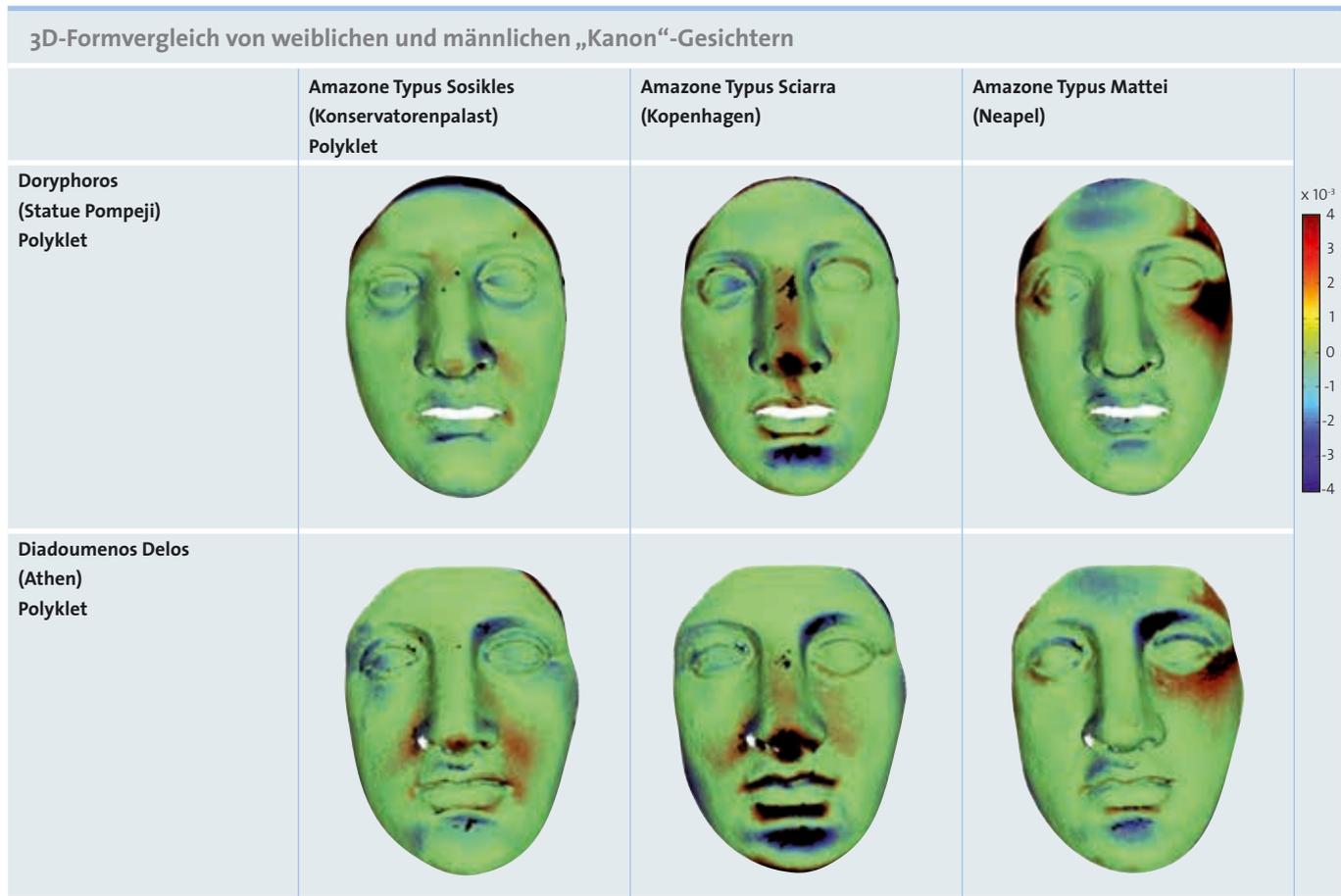


Abb. 2: 3D-Formvergleich von weiblichen und männlichen (sic!) „Kanon“-Gesichtern: drei Gesichter des Bildhauers Polyklet und zwei Gesichter von zwei weiteren Bildhauern. Die beste Kanon-Übereinstimmung ergibt sich links oben beim Doryphoros und der Amazone Typus Sosikles.

Grün: Abweichung – 0,5 bis + 0,5 mm, maximale Abweichungen + 4 mm (gelb bis rot) bis – 4 mm (türkis bis blau).
Größenanpassung: Doryphoros 1.00, Diadoumenos 0.99, Sosikles 0.99, Sciarra 0.95, Mattei 1.01.

Jahren klassisch archäologischer Sehschule. Der Computer als „human enhancer“ im Allerheiligsten der europäischen Kunstrezeption – das ist harter Tobak, besonders in München, dem Geburtsort der einflussreichen „Archäologischen Sehschule“ von Heinrich von Brunn. Während also ein solcher Ansatz unter europäischen Archäologen bis heute bestenfalls höflich ignoriert wird, gab es in Japan dafür jahrelang finanzielle Unterstützung.

Back down to earth ...

Der „Kanon des Polyklet“ ist ein nicht erhaltenes zahlenharmonisches Modell – wohl eine Art Formelwerk. Nach ihm wird seit über 2.000 Jahren gefahndet. Mit dem Datenmaterial der 3D-Scans sind wir ihm deutlich näher gekommen. Erstmals erkennen wir genauer, was diese Formeln leisteten und wofür sie eingesetzt

wurden: Sie können mit jedem beliebigen, lokal verfügbaren Fußmaß in jeder beliebigen Größe ausgeführt werden. Sie haben zudem zwei Vorteile: Sie erleichtern jedem Bildhauer erstens das Auffinden der zahlenharmonischen Messpunkte im Raum und zweitens das Konzipieren eines z. B. menschlichen Körpers oder Gesichts. Unterschiede der so entstandenen „Kunstwerke“ ergeben sich nur noch aus Zutaten wie Frisur, Kleidung und Attributen, ja sogar Geschlechtsmerkmalen. Füße, Gesichter: alles standardisiert und austauschbar; wohl auch Hände, Rücken, Bäuche, Gliedmaßen. Ein Bildhauer spart daher viel Zeit. Seine Produktivität steigt erheblich, weil er nur noch Baukastenteile zusammensetzt. Die Qualität seiner Werke hängt an der Akribie, mit der er

seine Modell-Baukastenteile nach dem Formelwerk erstellt. Es könnte sich dabei auch um eine zeichen- bzw. symbollose Webkante mit Knotensträngen unterschiedlicher Länge handeln – z. B. aus Flachs; fein genug, maßhaltig und leicht zu transportieren. Am einfachsten, detailliertesten und präzisesten sind die Werke in Bronze zu erstellen und zu vervielfältigen. Man schlägt mehrere Fliegen mit einer Klappe, bekommt allerdings ein standardisiertes Ergebnis, egal ob Mann, Frau oder Kind dargestellt werden sollen.

Der „Kanon“ als Meister-Killer

Wie kann so ein Ansatz in der Bildenden Kunst akzeptabel sein? Hierzu müssen wir bereit sein, die Geschichte des europäischen Kunstbegriffs und seiner Standards einfach auszublenden: Was wir heute als Kunst ansehen, hieß bei den Griechen τέχνη, und meint „Verfahren und Methode für jede Art von Tätigkeit“. Da die Griechen damals gerade die Erfahrung gemacht hatten, im Team als Gleiche am erfolgreichsten zu sein, traf das monotone Einheitsergebnis der τέχνη Polyklets den Nerv der Zeit. Das exzessive Ausleben der eigenen Individualität während der Archaik hatte die kollektive Effizienz

in. Das attische Kollektiv hatte sich also mit voller Absicht einer bewussten Atomisierung unterzogen. Die Athener hatten so viele Grundpfeiler, Gewohnheiten und Grenzen eingerissen, wie sie nur ertragen konnten. Danach aber war die beste aller möglichen Welten in greifbare Nähe gerückt. Sie hatten es geschafft, ihre Arbeitskraft und Kreativität für das Kollektiv einzusetzen. Das Individuum war verschwunden und aufgegangen in einem übergeordneten Ziel. Das war die Ursache für den Erfolg der Griechen gegen die Übermacht der Perser.

Polyklet gelang es, genau das in ein Bild zu gießen. Als Darstellungsmethode für das nächste, noch unbekanntere, noch höhere Ziel benötigte er eine Metaebene. Seine Wahl fiel dabei auf das Quadrivium – die Königsdisziplin. Pythagoras hatte es etwa um 500 v. Chr. erstmals als die Tetraktys formuliert und gelehrt. Es enthält in sich eine transzendente Ebene, eine Ebene des nicht Wissbaren, denn es befindet sich an der Schwelle von der Physik zur Metaphysik. Polyklet fand eine so stimmige Metapher für dieses Lebensgefühl, dass sie nicht nur alle Athener, die Griechen insgesamt, sondern später auch die Römer u. s. w. überzeugte.



Abb. 3: 3D-Formvergleich zweier „Kanon“-Gesichter des Bildhauers Polyklet (römische Kopien):

links: Doryphoros (Bronzekerne des Apollonios, Neapel)

Mitte: Diadoumenos aus Delos (Marmor, Athen)

rechts: Überlagerung beider Scans mit halbautomatisiertem Vergleich

Grün: Abweichung = $-0,5$ bis $+0,5$ mm, maximale Abweichungen $+4$ mm (gelb bis rot) bis -4 mm (türkis bis blau).

Größenanpassung: Doryphoros 1 : 0,978 Diadoumenos. Die Abweichung beim Mund ist ein Datenloch bzw. auf das unterschiedliche Material zurückzuführen.

enz gelähmt. Erst Luxusverbote, gepaart mit totaler Zerschlagung alter, unzulänglicher Netzwerke seit dem späten 6. Jahrhundert v. Chr. hatten den Erfolg gegen die Perser ermöglicht: Salamis war das *quod erat demonstrandum*. Das musste etwas bedeuten. Männer mit langen Haaren, in aufwändige Kunstfrisuren gelegt, kostbarste Mustergewebe: alles total out. Kurze Haare und einfarbige Stoffe waren



Abb. 4: Originalgroße Gipskopien hochklassischer Einheitskörper im „analogen“ Abgussmuseum.

Abb. 5: Gemeinsame Begutachtung von Statuen in einer vernetzten virtuellen Umgebung.

Abb. 6 (S. 77): Gäste erhalten einen Eindruck der virtuellen Statuen am Internationalen Museumstag.



Wir verdanken Polyklet also eine narrensichere Methode, mit der sich nicht nur jedes Künstlerindividuum eliminieren, sondern auch das Dargestellte völlig entpersonalisieren lässt. Etwas Anonymes, nicht fassbares Höheres kommt so zum Vorschein – daher auch ideal für Götterbilder. Athens Göttin Athene bekam jedes Jahr einen neuen Peplos, dessen Muster in einem ähnlichen Prozess von vier Mädchen entworfen wurde. Sie webten das Anfangsband für den Stoff, aus dem sich das Schicksal der Stadt immer wieder neu nach göttlichem Plan – eben dem Gewebe des Kosmos – hypostasierte. Ein solches Anfangsband könnte auch der Kanon des Polyklet gewesen sein.

Meisterschaft präsentiert sich bei ihm nicht als individuelle Formensprache eines Bildhauers. Der Meister des Kanons verschwindet im Diesseits vollkommen und offenbart sich statt dessen nur als transzendenter, atmosphärischer Eindruck vom Ebenmaß einer meta-

physischen Zahlenharmonie. Der Stil dieser Kanon-Bildwerke spricht seit 2.470 Jahren eine entrückte Metaebene in uns allen an, die auf eine neue Metaerzählung verweist. Deshalb waren wir ihnen so lange verfallen. Wir mögen nach unserer anstehenden Singularität/Fulguration die griechische Idealplastik und Architektur nicht mehr brauchen, den Einfallsreichtum der Griechen aber brauchen wir schon.

Die technische Seite: Einscannen und Statuenvergleich

Digitale Archäologie ist ein Gebiet, welches sich in den vergangenen Jahren in der Archäologie etabliert hat. Digitale Hilfsmittel werden vielfach zur Dokumentation und Rekonstruktion, allerdings seltener zur eigentlichen Analyse herangezogen.

Um die Statuen zu scannen, wird ein Laserscannerverfahren eingesetzt. Ein bekanntes Muster wird auf das zu digitalisierende Objekt projiziert. Durch die gegebene Form des Objekts wird das Muster auf seiner Oberfläche verzerrt. Diese Projektion wird durch eine Kamera aufgezeichnet und die Verzerrung analysiert. Nachdem das Originalmuster bekannt ist, kann die geometrische Struktur des Objektes nun digital rekonstruiert werden. Die Genauigkeit beträgt hier beim Scannen bis zu $\pm 50 \mu\text{m}$. Es wird ein Dreiecksnetz erstellt, welches die Oberfläche der Statue wiedergibt.

Literatur und Präsentationen

K. Sengoku-Haga et al., Polykleitos' Works 'From One Model': New Evidence Obtained From the 3D Digital Form Comparisons, in: A. Patay-Horváth (ed.), New Approaches to the Temple of Zeus at Olympia. Architecture, Sculpture, History and Recent Technologies (forthcoming).

Die hier vorgestellten Forschungsergebnisse sowie weitere Beispiele aus der digitalen Archäologie wurden 2013 beim Internationalen Museumstag am Leibniz-Rechenzentrum präsentiert. Die Gäste erhielten bei Fachvorträgen und Live-Demonstrationen einen Einblick in die digitale Archäologie.

Diese Dreiecksnetze können nun zur Begutachtung übereinandergelegt und halbautomatisch verglichen werden. Hierbei misst man die Distanzen zwischen den Oberflächen der Statuen und generiert Differenzbilder, welche die Unterschiede der einzelnen Bereiche farblich markieren und Abweichungen und Ähnlichkeiten klar ersichtlich machen.

Mit diesen digitalen Objekten lässt sich aber im Vergleich zu den realen Objekten oder Fotos noch mehr erreichen. Es können beliebige Schnittebenen, also auch Längs- und Querschnitte, in den Modellen erzeugt und vermessen sowie Maßverhältnisse angezeigt werden (hier sind wohl Anleihen bei der Sonifikation von Musik nützlich).



Die virtuellen Statuen können frei skaliert und von definierten Punkten aus betrachtet werden. Zum Vergleich kann man identische Lichtsituationen erzeugen, was bedeutet: Man kann ein Ansichts-„Präparat“ für die Analyse generieren, völlig frei von analogem „Umgebungsrauschen“. Dadurch wird für die Klassische Archäologie ein in noch nie dagewesener Weise objektiver Blick auf ihr zentrales Skulpturmaterial möglich: die Idealplastik.

Kollaborative Umgebungen und virtuelle Welten

Um die Zusammenarbeit zwischen entfernten Standorten zu verbessern, entwickelte das Team um Professor Ikeuchi eine kollaborative Software, welche die gemeinsame Datenanalyse verbessern soll. Hierbei werden die Benutzer

des Werkzeugs mit einem ähnlichen Verfahren, wie es bei den Statuen angewendet wird, eingescannt, während sie kommunizieren. Die Wissenschaftler finden sich in einer gemeinsamen virtuellen Welt wieder, in der auch die Statuen dargestellt werden.

Zu Testzwecken wurde die Powerwall des Zentrums für Virtuelle Realität und Visualisierung (V2C) am Leibniz-Rechenzentrum (LRZ), eine großflächige, hochauflösende Projektionswand, mit der University of California, Berkeley in den USA und mit der University of Tokyo in Japan vernetzt.

Eine weitere wichtige Komponente zur Begutachtung der Rohdaten ist die fünfseitige Projektionsinstallation im V2C des LRZ. Bei dieser Installation handelt es sich um einen würfelförmigen Raum mit der Kantenlänge von 2,70 m. Drei Seitenwände sowie Decke und Boden werden mit jeweils zwei Projektoren bespielt. Die Darstellung erfolgt in Echtzeit, also mit 30 Bildern pro Sekunde, pro Auge in stereoskopischem 3D. Der Benutzer betritt diese Installation, um sich durch die virtuelle Welt zu bewegen und mit ihr zu interagieren. Mit Hilfe von optischen Positionierungssystemen kann seine Kopfposition und Ausrichtung festgestellt werden. Diese Informationen werden verwendet, um eine virtuelle Kameraposition zu bestimmen. Die 3D-Projektionen werden aus der virtuellen Kameraposition berechnet, und somit kann eine perspektivisch korrekte Darstellung erlangt werden.

Der Betrachter hat den Eindruck, die Statuen würden vor ihm im Raum erscheinen. Er kann sich um die gescannten Objekte bewegen und sie von allen Seiten in realer Größe oder beliebiger Skalierung betrachten. Wahrnehmungshandlungs-Zyklus, motorische Rückkopplung und Gestaltkreis werden auf diese Weise virtuell simuliert. So können auch Objekte, die nicht analog vor uns stehen – seien es weit entfernte Körper oder eben Ideen – vom System Mensch mit demselben neuronalen Input verarbeitet werden, für den uns die Evolution im niederschweligen analogen Betrieb ausgestattet hat.

DIE AUTOREN

Dr. Ingeborg Kader leitet das *Museum für Abgüsse Klassischer Bildwerke in München*. Ihre *Forschungsschwerpunkte spannen einen Bogen von der hellenistischen und römischen Architektur, der griechischen und römischen Plastik sowie der Geschichte der Abgussammlungen bis hin zu interdisziplinären archäologischen Arbeiten, die etwa Humanmedizin, Hirnforschung, Psychologie, Mathematik, Astrophysik, Philosophie und Kunst zusammenbringen*.

Prof. Dr. Kyoko Sengoku-Haga ist *außerordentliche Professorin für Kunstgeschichte an der Tohoku Universität in Japan*. Ihre *Forschungsarbeit konzentriert sich auf griechische und römische Kunst und Archäologie*. *Seit 2007 forscht sie gemeinsam mit Katsushi Ikeuchis Computer Vision Laboratory an klassischen Skulpturen basierend auf 3D-Daten*. *Das Projekt wird von der Japanischen Gesellschaft zur Förderung von Wissenschaft finanziert*.

Dr. Christoph Anthes studierte *Angewandte Informatik und Computer Science und wurde 2009 an der Universität Linz im Bereich Virtual Reality promoviert*. *Seit 2011 leitet er das Team für Virtuelle Realität und Visualisierung im Leibniz-Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften*. *Seit Sommer 2012 unterrichtet er das Fach Virtual Reality an der LMU München*.

Prof. Dr. Katsushi Ikeuchi ist *Professor an der Universität Tokio*. *Er wurde in Information Engineering promoviert und arbeitete am Massachusetts Institute of Technology im Labor für Künstliche Intelligenz, am Elektrotechnischen Labor in Japan sowie an der Carnegie Mellon Universität*. *Seine Forschungsinteressen reichen von Computer Vision über Robotik bis hin zur Computergrafik*.