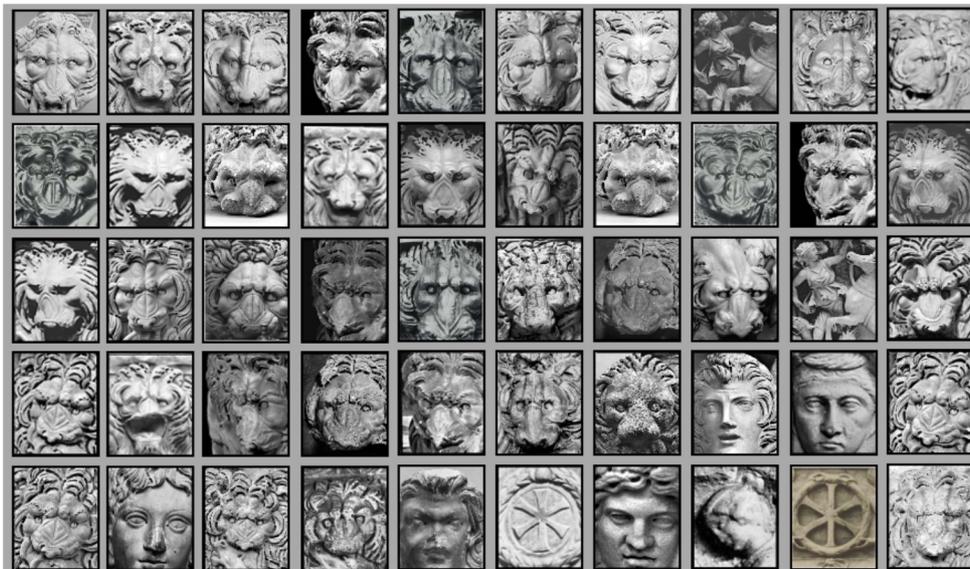


VISUELLE ERSCHLIESSUNG COMPUTER VISION ALS ARBEITS- UND VERMITTLUNGSTOOL

Peter Bell^a, Björn Ommer^b

^aHeidelberger Akademie der Wissenschaften, Deutschland, bell@uni-heidelberg.de; ^bComputer Vision Group, Heidelberg Collaboratory for Image Processing (HCI), Universität Heidelberg



KURZDARSTELLUNG: Kulturelles Erbe liegt in einer großen Menge an digitalisierten Reproduktionen in öffentlichen und fachspezifischen Datenbanken vor. Bislang existiert jedoch keine tiefere visuelle Erschließung der Bildinformationen. Computer Vision kann dies leisten, indem sie direkt auf die Bildinhalte zugreift, Identifikationen vornimmt und Verbindungen zwischen Kunstwerken aufzeigt, die vom menschlichen Auge nicht oder nur unter größtem Zeitaufwand gesehen werden können. Als Vorschlagssystem findet es nicht nur genau die Parteien nach denen der Anwender sucht, sondern weist auch auf Bilder mit ähnlichen Formen, Texturen oder Farbwerten hin und visualisiert die ähnlichen Bilder in übersichtlichen Synopsen. Computer Vision kann so in der Kette digitaler Prozesse von der Erschließung durch den Experten bis zur Vermittlung im Museum eingesetzt werden. An Prototypen der Heidelberger Computer Vision Group werden Leistungsfähigkeit und Anwendungsmöglichkeiten vorgestellt.

1. EINFÜHRUNG

Das Kunstwerk wird von der App automatisch erkannt, so dass weitere Informationen angezeigt werden können – dies ist eine bereits eingeführte Anwendung von Computer Vision im Museum, der die Vermittlungsarbeit erleichtert und die Besucher interessenbezogen informiert. Doch Computer Vision kann mehr als der „intelligente Bildscanner“, den das Städel Museum seinem Publikum anbietet [1]. Die junge Teildisziplin der Informatik ist in der

Lage die Digitalisierung in Museen wesentlich stärker zu unterstützen und zu verändern. Kulturelles Erbe liegt mittlerweile in einer großen Menge von digitalisierten Reproduktionen in öffentlichen und fachspezifischen Datenbanken vor. Museen stellen mit digitaler Objekt- und Ausstellungsdokumentation eine wichtige Säule in dieser Wissensbasis dar. Bislang existiert jedoch keine tiefere visuelle Erschließung dieser Bildinformationen.

Bisherige informatische Ansätze im Bereich der historischen Bildwissenschaften haben sich primär der Datenerfassung und Verschlagwortung innerhalb verschiedener Datenbankmodelle gewidmet. Während Aufnahme, Archivierung und Bearbeitung mittlerweile zu einem großen Teil computerunterstützt erfolgen, ist die aufwendige Erschließung, also die Identifikation des Objekts sowie der Herkunft und Urheberschaft, auch weiterhin kaum automatisiert. Gleichzeitig besitzt der Besucher oder Forscher keinen genuin visuellen Zugang zum Material. Grund hierfür ist die große semantische Lücke zwischen der Repräsentation eines digitalen Bildes als geordnete Menge von Bildpunkten und den nur mit Vorwissen wahrnehmbaren Objekten, Szenen und konzeptuellen Inhalten, die es zeigt. Eine automatische Analyse von Kunstwerken stellt daher eine besondere Herausforderung für das informatische Teilgebiet der Computer Vision dar, die sich umfassend mit der Erkennung von Objekten und Szenen in Bildern befasst.

Bisher wird die Vergleichbarkeit und Identifikation in Bildarchiven fast ausschließlich über textliche Beschreibung (Metadaten) gewährleistet. Diese klassische Annotation des Objekts, bezieht sich oft eng auf Fachterminologien und wissenschaftliche Diskurse (für die Kunstgeschichte etwa: Künstlername, Datierung, Titel) sowie den heutigen Kontext (Standort, Literaturangaben) kaum aber auf die Vorbilder, Provenienz oder Rezeption des Werks. Dadurch werden semantische, stilistische, ästhetische, technische und historische Bezüge zwischen Bildern und Bildpartien nur schwach hergestellt. Der ganze Bereich der Rezeption zwischen Kunstwerken wird kaum digital vermittelt. Somit werden die Intermedialität von Kunst und der Wandel von Bilddiskursen auch in der Fülle des Materials nur wenig greifbar. Eine übergreifende automatische Analyse der visuellen Bezüge zwischen Bildern untereinander kann die Masse des Materials vorsortieren und Hypothesen über Themen, Rezeption, Komposition und Stil abgeben. Eine interdisziplinäre und umfassende textliche Verschlagwortung und die manuelle Verknüpfung der Werke ist personell in Bildarchiven und Museen kaum zu leisten. Computer Vision kann hingegen, indem direkt auf die Bildinformationen zugegriffen wird, automatisch

Identifikationen und Beschreibungen vornehmen sowie Verbindungen zwischen Kunstwerken aufzeigen, die vom menschlichen Auge nicht oder nur unter größtem Zeitaufwand gesehen werden können. Die Abweichungen einzelner ähnlicher Bilder können detailliert verglichen werden. Als Vorschlagssystem finden Computer Vision Anwendungen nicht nur genau die Partien nach denen der Anwender sucht, sondern weist auch auf Bilder mit ähnlichen Formen, Texturen oder Farbwerten hin und visualisiert die ähnlichen Bilder in Form übersichtlicher Synopsen. Die Arbeit mit digitalen Bildrepositorien wird nicht nur effektiver, sondern auch assoziativer, durch das Vorschlagen neuer Verbindungen zwischen Kunstwerken.

Das interdisziplinäre Hauptziel des WIN-Projekts der Heidelberger Akademie der Wissenschaften „künstliches und künstlerisches Sehen. Computer Vision und Kunstgeschichte in methodisch-praktischer Zusammenarbeit“ ist es große heterogene Bilddatenbanken mit kulturellem Erbe visuell zu erschließen (z.B. die Bestände des Prometheus Bildarchiv oder der Universitätsbibliothek Heidelberg). Doch auch für Museumssammlungen und regionale Zusammenschlüsse von Museen ergeben sich durch die Verfahrensmöglichkeiten der tieferen und effizienteren Erschließung eigener Objekte sowie einen intuitiveren Zugang auf die Bestände durch die Öffentlichkeit, da Suchen jenseits fachlicher Terminologie und Vorwissen visuell durchgeführt werden können.

Computer Vision kann somit in der Kette digitaler Prozesse im Museum von der Erschließung durch den Experten bis zur Vermittlung eingesetzt werden. Im Folgenden werden wir die Möglichkeiten anhand bestehender Prototypen vorführen.

2. COMPUTER VISION UND KUNST

In der Kunstgeschichte wurde schon früh, vielleicht zu früh, mit den Möglichkeiten von Mustererkennung und Computer Vision experimentiert [2]. Damit ist auch früh die besondere Schwierigkeit des Vergleichs und der Analyse von künstlerischen Objekten für den Computer erkannt worden. Mittlerweile ist die Computer Vision ein stark beforschter Teilbereich der Informatik, der maßgeblich das autonome Fahren vorantreibt und in vielen Naturwissenschaften erfolgreich eingesetzt wird. Seit einigen Jahren erscheinen auch vermehrt Publikationen in denen Algorithmen und Anwendungen für Kunstwerke vorgestellt

werden und zu denen auch unsere Arbeiten gehören. Die Beschränkung auf kunsthistorische Korpora ist dabei als exemplarisch zu verstehen. Viele der Ansätze lassen sich auch auf andere Bereiche des kulturellen Erbes oder auch naturwissenschaftliche Gegenstände übertragen.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind besonders Objekte interessant, die über eine homogene Bildsprache verfügen oder andere visuelle Ähnlichkeiten zeigen. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit lassen sich fünf Herangehensweisen unterscheiden:

- a) Ein Vergleich von ganzen Bildern, z.B. zur Auffindung von Duplikaten, Kopien und Nachfolge. [3]
- b) Ein Vergleich von einzelnen Szenen, Objekten oder Detailformen auf der Ebene der Semantik. [4/5]
- c) Ein Abgleich der Unterschiede durch genaue Analyse/Errechnung der Abweichungen. [6]
- d) Ein Vergleich von technischen Merkmalen (Pinselstrichen, Schraffuren), Texturen und Farben (Low Level Vision). [7]
- e) Erschließung einer großen Menge an Bilddaten, zum Auffinden von strukturellen Ähnlichkeiten.

Für jede Computer Vision-Anwendung muss vorweg entschieden werden, welchen Anteil das maschinelle Lernen haben soll. Wenn eine Kategorie für einen Datensatz eine besondere Bedeutung hat, kann diese durch Beispiele besonders angelernt werden, um bessere Ergebnisse zu erhalten [8]. Daneben können bereits von der Computer Vision trainierte Kategorien auf Kunstwerke übertragen werden [9]. Soll hingegen nach ganz unterschiedlichen Objekten oder Szenen gesucht werden, sollte der Algorithmus zuvor eine Art ‚allgemeinen Eindruck‘ vom Datensatz erhalten.

Der vom Stadel verwendete Algorithmus gehört entsprechend zum Typ (a). Das Bild auf dem Smartphone wird schnell mit dem kleinen Datensatz an Sammlungsbildern verglichen und kann so schnell erkannt werden. Da die Identität zwischen abgelegtem und neu erstelltem Bild so groß ist, werden Algorithmen dieser Art auch zum richtigen Ergebnis trotz kleiner Variationen, wie einen leicht veränderten Winkel, anderer Beleuchtung oder partieller Verdeckung, kommen. Es ist technisch relativ leicht möglich die ganze Sammlung mit einem

solchen Algorithmus auszustatten, zumindest wenn sich nicht sehr ähnliche Objekte darin befinden, die zu Verwechslungen führen können. Eine Kombination mit Typ (b) wäre sinnvoll, wenn die Sammlung Objekte enthält, die durch Publikumsverkehr oder Größe nicht ganz ins Bild bringen lassen. Denn in vielen Fällen kann auch von einem Detail auf das Ganze Objekt geschlossen werden.

Eine partielle Bildsuche stellt aber eine viel weitreichendere Möglichkeit dar. Indem nur Teile des Bildes in den automatischen Blick genommen werden, können gezielt Informationen und Vergleichsabbildungen präsentiert werden, die sich nur auf eine Partie beziehen. In einem weiteren Schritt können die gefundenen Bereiche genauer verglichen werden und die Abweichungen markiert werden (c). Der Computer ist dabei in der Lage die verschiedenen Transformationen zu definieren, die zwischen einem Bild und einem Abbild bestehen, so dass nicht nur die Unterschiede sehr verständlich visualisiert werden können, sondern die Abweichungen durch diese Analysen teilweise begründet werden können.

Für die Bildsuche (b) nach Objekten, Szenen und Motiven sind Bildsammlungen, in denen eine Kohärenz unter einem oder mehreren Gesichtspunkten besteht hilfreich. Dies kann ein gemeinsamer Stil, eine ähnliche Bildsprache oder technische und motivische Übereinstimmungen sein. So eignet sich z.B. eine illuminierte mittelalterliche Handschrift oder illustrierte Inkunabel mit klarem Figurenmaßstab und geradezu normierter Bildsprache oder der mehrfachen Verwendung von gleichen Motiven mehr für eine Bildsuche als einem ganz heterogenen Bestand wie die digitalisierte Diathek eines breit aufgestellten kunsthistorischen Instituts, das Kunst und Architektur aller Epochen und aus einem großen geographischen Raum besitzt. Gleichzeitig sind es gerade diese Sammlungen aus denen überraschende Korrespondenzen zu erhoffen sind, da der Computer ohne Rücksicht auf Kontexte und bekannte Verbindungslinien Bild für Bild vergleicht.

Entsprechend setzten wir die freie Bildsuche zunächst in mittelalterlichen Bildhandschriften und druckgraphischen Porträtsammlungen, sowie Architekturdarstellungen mit markanten Bauteilen (z.B. Kapitellen) ein. Der Suchprozess ist individuell, mehrstufig und iterativ, das heißt der Nutzer kann ein oder mehrere Bereiche im Bild markieren nach denen gesucht werden soll. Mehrere Bereiche

zu markieren empfiehlt sich einerseits, wenn miteinander verknüpfte Objekte oder Personen gesucht werden sollen oder auch ein Objekt, dass sich durch signifikante Partien besonders auszeichnet (z.B. Kopf und Hufen eines Pferdes: Abb. 1).



Abb. 1: Suchbox im ersten Bild oben links und dann detektierte Bilder in absteigender Ähnlichkeit (Auswahl aus Marburger Porträtindex/ Computer Vision Group Heidelberg)

Iterativ und mehrstufig wird der Suchprozess dadurch, dass der Nutzer nach einem ersten Durchgang die Ergebnisse bewerten kann. Dadurch werden nicht nur Ergebnisse aussortiert, die eine unbedeutende visuelle Ähnlichkeit hatten, sondern die Suchaufgabe wird genauer definiert. Denn der Nutzer bestimmt mit den Ergebnissen im zweiten Schritt, ob er sehr fokussiert suchen oder ob er Varianzen ausdrücklich zu lassen möchte. Gerade hier liegt eine visuelle Skalierung der Suchanfrage, die textlich kaum zu definieren ist. Die Mehrstufigkeit ermöglicht auch heterogene Bilddatensätze anzugehen, wie z.B. alle 3620 mit dem Schlagwort „Kreuzigung“ versehenen Abbildungen im prometheus Bildarchiv. Darin lässt sich erfolgreich nach stiltypischen Kompositionen, Figurenkonstellationen (z.B. Maria und Andreas) oder markanten Details (z.B. INRI-Tafel) suchen. Auch hier ist der Mehrwert nicht nur das Auffinden von Bildelementen, die nicht verschlagwortet sind, sondern das Entdecken von Ähnlichkeiten zwischen verschiedenen Bildelementen und die Visualisierung von künstlerischer Varianz (Abb. 2). Mit einem Blick lassen sich so Unterschiede in der Komposition, ausgetauschte Figuren und veränderte Haltungen leicht nachvollziehen und

die Qualität von Reproduktionen vergleichen. Stilkritik ist darin nur eine Perspektive gleich gut lassen sich verschiedene Erzählweisen, ikonographische Varianten und Anzeichen spezifischer Frömmigkeit an diesen Synopsen untersuchen.



Abb. 2: Die Sucheergebnisse ermöglichen einen schnellen Vergleich ähnlicher Kompositionen und verschieden farbiger Duplikate (prometheus/ Computer Vision Group Heidelberg)

Durch den hohen Freiheitsgrad der Bildsuche ist die Anwendung nicht nur für die Kunstgeschichte interessant, sondern auch beispielsweise für Historiker und interessierte Laien. So lässt sich nach mittelalterlichen Realien wie der Steinzange suchen, um ihre Darstellungen und mutmaßliche Funktionsweisen zu vergleichen (Abb. 3). Auch stilistische Merkmale wie eine markante Schraffur konnten gefunden werden, so dass eine zum Text komplementäre Suche nach zuschreibbaren Werken möglich ist.



Abb. 3: Zweite Ergebnisliste der Suche nach Steinzangen auf einem Datensatz von 258 Baustellenbildern (Computer Vision Group Heidelberg)

Daneben ist eine großflächige Suche nach Kompositionen, Seitenspiegeln und Layouts möglich, um das Material nach formellen Charakteristika zu ordnen. Besonders dankbar für die Kunstgeschichte ist die Suchmöglichkeit nach Szenen und wiederkehrenden Motiven. Dies lässt sich gut an einem Corpus von 2510 Darstellungen mit antiken Sarkophagen zeigen. Die Bildhauer kombinierten immer wieder gleiche und ähnliche Motive in unterschiedlichen Anordnungen. In Literatur und Datenbanken gibt es nur exemplarisch Gegenüberstellungen dieser wiederkehrenden Einzelszenen. Der Algorithmus findet hingegen relativ sicher die ikonographisch gleichen Szenen und auch ähnliche Szenen mit anderen Ikonographien und anderem Zusammenhang (pagan/christlich) und ordnet sie übersichtlich nach Ähnlichkeit an. Durch die Konzentrationen auf Konturen sind die Farbigkeit und technische Unterschiede (Plastik/Zeichnung) für den Algorithmus nur wenig relevant.

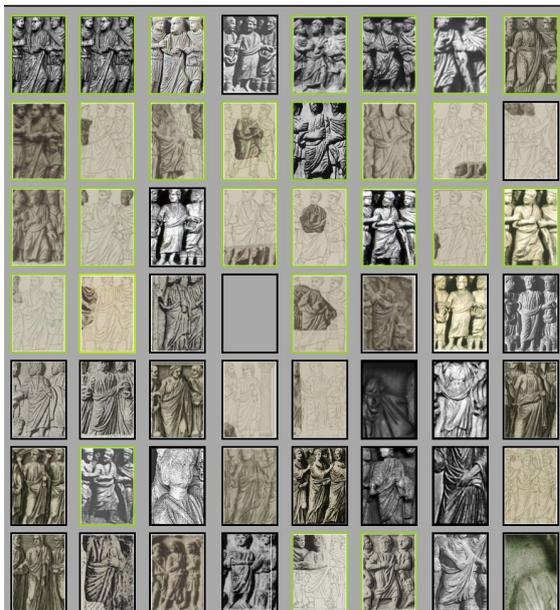


Abb. 4: Suche nach ‚Gefangennahme Petri‘ führt zu ikonographisch richtigen Treffern (grün markiert) und ähnlichen Kompositionen (prometheus/ Computer Vision Group Heidelberg)

Die freie Bildsuche lässt sich also auf sämtliche Dimensionen von Ähnlichkeit anwenden und durch den Nutzer präzisieren. Die Mensch-Maschine-Interaktion ist bei einem Algorithmus, der keine erlernte Kategorien oder anderes semantisches Hintergrundwissen besitzt, sehr hilfreich, wenngleich auch der

‚unvoreingenommene Blick‘ des Computers auf die rein visuelle Ähnlichkeit zu überraschenden Ergebnissen kommt und feste Denkmuster irritieren kann oder kennerschaftliche Annahmen quantitativ bestätigt.

Die freie Bildsuche eignet sich also besonders für Nutzer, die jenseits der herkömmlichen Verschlagwortung visuelle Bild- und Detailvergleiche vornehmen möchten. Es kann jedoch auch während der Einpflegung von Daten benutzt werden, um den Datensatz visuell zu erschließen. Für diese Arbeiten empfiehlt sich aber eher das in (e) beschriebene Verfahren, in dem der Computer nicht punktuell sucht, sondern mithilfe neuronaler Netze nach Strukturen in großen Datensätzen sucht. Nach einem Lernvorgang kann der Computer so Bilder Künstlern oder Epochen zuordnen und Kompositionen in Gruppen ordnen. Aktuell beschäftigt sich die Computer Vision Group Heidelberg auch mit Ausstellungszusammenhängen. Ziel ist es herauszufinden, ob der Computer, nachdem er die Bilder der Werkliste gesichtet hat, weitere Objekte dazu vorschlagen kann. Vor dem Hintergrund der Vielseitigkeit von kuratorischen Konzepten und der damit ganz unterschiedlich gearteten Stringenz von Ausstellungen ist hier keine effiziente Anwendung angestrebt, sondern eine eher assoziative und experimentelle Annäherung an künstlerische und kunstwissenschaftliche Zusammenhänge und ihre computergestützte Nachvollziehbarkeit.

2.1 MUSEALE ANWENDUNG

Die Anwendungsmöglichkeiten von Computer Vision in Museen sind vielseitig. Die vorgestellte freie Bildsuche eignet sich unter anderem dazu, die Werke der Dauerausstellung untereinander sowie mit Objekten aus dem Depot oder der graphischen Sammlung zu verbinden. Darüberhinaus lässt sich die eigene Dokumentation in Form von Ausstellungsansichten sowie Röntgen-, Infrarot-, und Restaurierungsbildern einbringen. Durch die meist signifikante Gestalt eines Kunstwerks, kann es mittels Computer Vision schnell in seinen unterschiedlichen Ausstellungszusammenhängen ermittelt werden (Abb. 5).

Die Verknüpfung zwischen sehr ähnlichen Objekten kann im besten Fall unüberwacht durch den Computer hergestellt werden. Im Rahmen der Vermittlungsarbeit sollten

hingegen anschauliche Beispiele von Experten aus den Ergebnissen ausgewählt werden. Es empfiehlt sich also unterschiedliche Angebote in Form von Expertensystemen und Applikationen für Besucher herzustellen, um die rohen Suchergebnisse einer Suche quer durch die Sammlungen aufzubereiten. Idealerweise entstehen aus den Ergebnissen des Expertensystems repräsentative Suchstrategien für die Vermittlungsarbeit.



Abb. 5: Drei Hängungen von de Chiricos 'Rätsel eines Tages' im MoMA (MoMA/Computer Vision Group Heidelberg)

Die Besonderheit der freien Bildsuche liegt darin, dass nicht das Kunstwerk als Element angesehen wird und so nur damit korrespondierende Werke aufgefunden werden können, sondern jedes Detail Ausgangspunkt einer Suche sein kann.

Wichtig für den Ansatz ist nicht nur, dass nach einem beliebigen Gegenstand gesucht werden kann, sondern dass dieser im Kontext eines Werkes auch beliebig groß sein kann. So lässt sich aus einer wandfüllenden Tapiserie oder einem Wimmelbild ein Detail herausgreifen und danach suchen, um ähnliche Objekte in der Sammlung oder vernetzten Datenbanken zu finden. Dadurch entsteht ein offener Zugriff auf Realien anderer Epochen und eine individuelle Suche nach Figuren und Formen, die quer zu Taxonomien und Deutungsmustern stehen können und eine komplementäre Anordnung zur kuratorischen Präsentation bieten. Spannend wird es, wenn sich durch die Bildsuche eine Antikenrezeption für eine Assistenzfigur nachweisen lässt oder der dreifüßige Schemel als beliebtes Requisit flämischer Malerei in vielen Variationen visualisiert wird. So liegt auch das Spektrum der Anwendungen zwischen Handreichungen für die Forschung und den Interessen und Steckenpferden eines breiten Publikums.

Das Museum bietet dadurch alternative Bilderreisen an und erhält als Feedback den Suchverlauf, der belegt, welche Bildpartien die Nutzer interessierten.

Der nächste Schritt ist die gefundenen Werke zu vergleichen. Wo weicht die Zeichnung vom Gemälde ab? Insgesamt entsteht ein besserer

Eindruck von den Korrespondenzen innerhalb der Sammlungen für Besucher und Mitarbeiter. Zuletzt wird jedoch auch deutlich, dass einzelne, insbesondere kleine Museen das Potential von Computer Vision nur beschränkt nutzen können. Diese Möglichkeit stellt sich erst dann, wenn die Anwendung auf größere Verbünde zurückgreifen kann, um über den engen Rahmen der eigenen Sammlung hinaus suchen zu können.

3. SCHLUSS

Im Vergleich zur akademischen Forschung in der digitalen Kunstgeschichte und eigenen Studien zur Kunst in der Computer Vision haben die Museen in den letzten Jahren die Möglichkeiten dieser Verfahren kaum wahrgenommen. Dabei ist eine Nutzung in vielen Bereichen von der Erschließung eigener Bestände, der Ausstellungsvorbereitung und Provenienzforschung bis hin zur Vermittlungsarbeit und dem Marketing möglich. In vielen Fällen werden dadurch nicht nur neue Erkenntnisse und eine bessere Durchdringung der Sammlung erreicht, sondern auch ein effizienterer Arbeitsablauf. Für große Museen lohnt es sich daher selbst Computer Vision Lösungen zu implementieren, um ihre sichtbaren Bestände mit den schwerer zugänglichen Sammlungsteilen zu vernetzen und Zusammenhänge zu visualisieren. Allerdings entfaltet die Technologie eine umfassendere Wirkung, wenn das kulturelle Erbe in großen Metadatenbanken visuell durchsucht werden kann und das Einzelwerk in seinem bildlichen Gesamtkontext erfahrbar wird. Eine enge Kooperation zwischen Bildarchiven, Museen und der Forschung zum automatischen Sehen in den Digital Humanities ist eine wichtige Voraussetzung für eine visuelle Erschließung des kulturellen Erbes.

4. DANKSAGUNG

Zu danken ist Sabine Lang, Masato Takami und Pablo Klinkisch von der Computer Vision Group Heidelberg und der Heidelberger Akademie der Wissenschaften sowie dem Prometheus Bildarchiv und dem Bildarchiv Foto Marburg für die Bereitstellung des Bildmaterials.

5. LITERATURHINWEIS

1. <http://www.staedelmuseum.de/de/angebote/staedel-app>
2. Vaughan, William: *Computergestützte Bildrecherche und Bildanalyse*, in: Hubertus Kohle (Hg.), *Kunstgeschichte digital. Eine Einführung für Praktiker und Studierende*, Berlin 1997, S. 97–105.
3. Resig, John: *Using Computer Vision to Increase the Research Potential of Photo Archives*, in: *Journal of Digital Humanities*, Vol. 3, No. 2 Summer 2014.
4. Visual Geometry Group, University of Oxford, Web demo: <http://zeus.robots.ox.ac.uk/ballads/>
5. Takami, Masato/ Bell, Peter/ Ommer, Björn: *Offline Learning of Prototypical Negatives for Efficient Online Exemplar SVM*, in: *Proceedings of the IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision*, IEEE, 2014. S. 377–384.
6. Monroy, Antonio Monroy/ Bell, Peter/ Ommer, Björn: *Morphological analysis for investigating artistic images*, *Image and Vision Computing* 32(6), 2014, pp 414–423.
7. Johnson, Richard N. et al.: *Image Processing for Artist Identification - Computerized Analysis of Vincent van Gogh's Painting Brushstrokes*, July, 2008.
8. Bell, Peter/ Schlecht, Joseph/ Ommer, Björn: *Nonverbal Communication in Medieval Illustrations Revisited by Computer Vision and Art History*, *Visual Resources: An International Journal of Documentation*, (2013) 29:1-2, 26-37.
9. Crowley, Elliot J./ Zisserman, Andrew: *The Art of Detection*, Workshop on Computer Vision for Art Analysis, ECCV, 2016.