

CBIR gestütztes Gemälde-Browsing

Marc Büngener

Institut für Informatik
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Universitätsstraße 1
40225 Düsseldorf
marc.buengener@uni-duesseldorf.de

Abstract: Zur Beantwortung der Frage, warum Bildersuchen auf Schlüsselwörtern basieren, statt auf den bildimmanenten Informationen, werden Repräsentationsmöglichkeiten für Bildinformationen vorgestellt, die Personen in die Lage versetzen, Anfragen in Form von Bildinformationen statt Schlüsselwörtern zu formulieren. Die Bildinformationen sollen in einer Weise interpretiert werden, die dem subjektiven Empfinden menschlicher Betrachter entsprechen. Als Bildinformationen werden Farben, Texturen und die Darstellung einfacher Formen ausgewertet.

1 Motivation

Gegenwärtig populäre Bildersuchen bestimmen Ergebnisse oft textbasiert, aufgrund personell zugeordneter Schlüsselwörter.¹ Typische Schlüsselwörter für Gemälde sind der Titel, die Stilrichtung oder der Künstler eines Gemäldes. Doch wie kann beispielsweise in einem Online-Postershop nach Gemälden oder allgemein nach Bildern gesucht werden, wenn diese Attribute unbekannt sind oder die anfragestellte Person nur eine ungenaue Vorstellung von den Eigenschaften eines gesuchten Bildes hat? Individuelle Eindrücke, wie Stimmungen und Gefühle, die ein Gemälde vermittelt, sind schwierig durch Schlagwörter formulierbar. Deshalb wird eine Bildersuche durch textbasierte Annotationen nicht untersucht. Aus exakt messbaren Bildinformationen sollen weniger exakte oder nur subjektiv empfundene Informationen abgeleitet werden. Durch die Beschreibung der Farblichkeit von Bildern soll die von ihnen vermittelte Stimmung indirekt anfragbar werden. Die Beschreibung von Texturen soll die Suche nach Gemälden eines bestimmten Malstils ermöglichen. Durch die Detektion einfacher Formen, die auf einem Gemälde abgebildet sind, soll nach Gemälden mit ähnlichen Motiven gesucht werden können. Es wird davon ausgegangen, dass diese Verknüpfung von bildimmanenten Eigenschaften und Wirkungen auf einen menschlichen Betrachter naheliegen.

Warum basieren Bildersuchen auf Schlüsselwörtern, statt auf bildimmanenten Eigenschaften

¹<http://www.guggenheim.org>, <http://sammlung-online.museum-folkwang.de>, <http://www.nrw-museum.de>, <http://www.kunstsammlung.de>, <http://www.wga.hu>, <http://www.kunstkopie.de>, <http://www.artcyclopedia.com>, <http://www.google.de>, <http://images.google.de>, <http://de.fotolia.com/>, <https://www.flickr.com/explore>, weitere Beispiele: <http://www.at-web.de/bildsuche>

ten? Ausgehend von Dattas Artikel *Image Retrieval: Ideas, Influences, and Trends of the New Age* [DJLW08] wurden eigene Lösungsansätze für diese zentrale Frage entwickelt und untersucht.² Während Schmitt [Sch04] in seiner Habilitationsschrift CBIR umfassend beschreibt, beschreibt Kästers [Käs05] Dissertation inhaltsbasierte Anfragemöglichkeiten und maschinelles Lernen durch Benutzerfeedback besonders genau. Mit der Kenntnis bestehender Methoden wurden eine Suche nach Bildern von Kunstgemälden von Neuem unternommen, von denen die anfragestellte Person nur eine vage Vorstellung hat.

2 Gemälde-Browsing

Analyse Ein Mensch, dem ein Bild beschrieben wird, bezieht die Beschreibung auf seine eigene Erlebniswelt oder diejenige, welche er mit der beschreibenden Person verbindet. Eine Beschreibung wird in einem Kontext verstanden. Ein automatisches System ist grundsätzlich nicht in der Lage, eine kontextabhängige Interpretation der Beschreibung zu leisten. Wie kann die Vorstellung einer Person von einem Bild einem automatischen System als Anfrage gestellt werden? Wie kann eine Person ihre subjektive und zudem lückenhafte oder ungenaue Vorstellung in exakt qualifizierten und quantifizierten Bildeigenschaften ausdrücken? Welches sind die bedeutenden exakt formulierbaren Eigenschaften, welche die Vorstellung der anfragestellten Person auszeichnen?

Im Alltag beschreiben Menschen untereinander Bilder, indem sie die auf einem Bild dargestellten Objekte und charakteristischen Farben nennen. Für eine detaillierte Bildbeschreibung werden die Anordnung der Objekte auf der Bildfläche beschrieben.

Ablauf der Anwendung Um die Eignung und Qualität der verwendeten bildimmanenten Merkmale direkt in der Anwendung sichtbar zu machen, wird ein einfaches Design gewählt, welches die formulierten Anfragekriterien möglichst wenig interpretiert. Die Gemäldesuche wird dazu in Schritte gegliedert. Abbildung 1 stellt den groben Ablauf der Gemäldesuche schematisch dar. Der erste Schritt ist die Auswahl von Farben, welche für die Beschreibung der gesuchten Gemälde bedeutungsvoll sind. Dem Benutzer wird daraufhin eine initiale Bildermenge angezeigt, die seiner Farbauswahl entspricht. Auf dieser Bildermenge werden durch den Benutzer in einem zweiten Schritt beispielhaft Gemälde ausgewählt, welche den Vorstellungen der anfragestellten Person nahe kommen. Dieser zweite Schritt ist eine vereinfachte Form von Relevance Feedback und kann beliebig häufig wiederholt werden. Die Bewertung durch den Benutzer beschränkt sich auf die Auswahl als passend empfundener Gemälde. Eine Gewichtung oder Interpretation nicht ausgewählter Gemälde findet nicht statt. Zur Berechnung von Gemälden als Ergebnis einer Anfrage werden feste Parameterwerte verwendet; deren Optimierung ist ein gesondert zu untersuchendes Problem.

²vgl. das vom Hermitage Museum St. Petersburg eingesetzte Verfahren *Query By Image Content (QBIC)* der Firma IBM. [FSN⁺95]

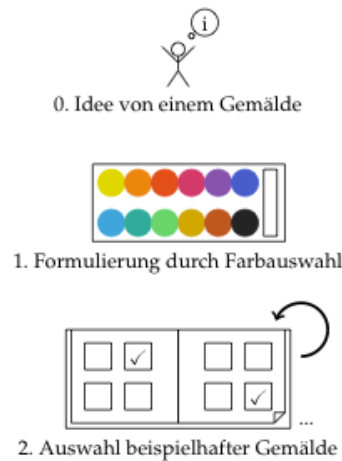


Abbildung 1: Ablauf der Gemäldesuche

2.1 Initiale Bildermenge

Farben können in der implementierten Anwendung durch die Auswahl von Wertebereichen für einzelne Dimensionen des HSV- und des RGB-Farbraumes formuliert werden. Zusätzlich wird eine selbst definierte Farbtafel angeboten, deren Farben feste Wertebereichskombinationen der Dimensionen des HSV-Farbraumes repräsentieren. Die Auswahlmöglichkeiten werden durch Abbildungen der Mittelwerte ihrer Wertebereiche dargestellt. Durch diese bereits inhaltsbasierte Formulierung der Anfrage wird die Notwendigkeit exakter Angaben für vage Vorstellungen vermieden.

Die initiale Bildermenge ist der gesamte Datenbestand, absteigend sortiert anhand der normalisierten Häufigkeitswerte ausgewählter Farbattribute. Eine Farbe wird in einem Gemälde als um so bedeutungsvoller interpretiert, je mehr Bildfläche sie einnimmt. Der Zusammenhang gleichfarbiger Bildflächen oder eine Mindestgröße gleichfarbiger Flächen wird nicht erfasst. Wählt der Benutzer mehr als einen der vorgegebenen Wertebereiche der Farbmodelle oder mehr als eine Farbe der Farbtafel aus, so werden deren normalisierten Häufigkeitswerte addiert. Dadurch werden Gemälde, die mehrere ausgewählte Farbattribute enthalten, potentiell vorrangig sortiert. Zur Übersichtlichkeit werden nicht alle Gemälde gleichzeitig angezeigt, sondern seitenweise in Gruppen zu je 20 Gemälden. Durch eine Änderung der Farbauswahl wird eine neue Suche begonnen. Zur Beschleunigung der Suche werden die normalisierten Häufigkeitswerte der verwendeten Farbmodelle beim Import der Gemälde in die Datenbank vorausberechnet und gespeichert, sodaß sie zur Laufzeit der Anwendung schnell angefragt werden können.

2.2 Ähnliche Gemälde

In den Ergebnismengen der Anfrageschritte kann der Benutzer blättern und Gemälde markieren, die er als seinen Vorstellungen entsprechend *empfindet*. Als nächste Ergebnisse werden daraufhin Gemälde präsentiert, die den ausgewählten Gemälden im Datenbestand am ähnlichsten sind. Wurden mehrere Gemälde ausgewählt, werden zu jedem ausgewählten Gemälde ähnliche Gemälde bestimmt. Die Menge aller ähnlichen Gemälde aller ausgewählten Gemälde wird anhand ihres Ähnlichkeitsmaßes sortiert. Die Ähnlichkeit kann aufgrund der Farbe, Textur oder absoluten Häufigkeiten dargestellter einfacher Formen bestimmt werden.

Für die Ähnlichkeitsbestimmung aufgrund der Farbe wird der Vergleich von Gemälden anhand ihrer Histogrammschnitte bezüglich ihrer Farbhistogramme im HSV- und RGB-Farbmodell und bezüglich der vorgeschlagenen Farbtafel zur Auswahl angeboten.

Für die Ähnlichkeitsbestimmung aufgrund der Gemälde-Textur kann die Dichte interessanter Bildpunkte verwendet werden. Sie wird durch die Anzahl der Keypoints im Verhältnis zur Bildgröße beschrieben. Andererseits kann die Ähnlichkeit der Gemälde-Textur aufgrund des Histogrammschnitts der in Histogrammen erfassten visuellen Wörter berechnet werden. Als interessante Bildpunkte können die für die Keypoint-Dichte mit dem Harris-Laplace-Operator [Lin98] detektierten Keypoints für den Bag of Visual Words-Ansatz wiederverwendet werden.

Für die Ähnlichkeitsbestimmung aufgrund einfacher Formen werden die absoluten Anzahlen in den Gemälden identifizierbarer Vielecke verglichen. Eine Normalisierung ist nicht sinnvoll, weil die Formen als Annäherung an die dargestellten Motive verwendet werden. Ein Bezug der Motive zur Bildgröße ist nicht beabsichtigt.

Zur Beschleunigung der Suche ähnlicher Gemälde werden zu allen Gemälden des Datenbestandes eine feste Anzahl nächstähnlicher Gemälde vorausberechnet und in der Datenbank gespeichert.

2.3 Historienfunktion

Durch eine Historienfunktion wird dem Benutzer ermöglicht, seine Vorstellungen nicht nur zu konkretisieren, sondern sie auch während des Vor- und Zurückblätterns durch die bisher gezeigten Gemälde zu ändern. Durch eine geänderte Auswahl zuvor präsentierter Gemälde, wird die Suche absichtlich *nicht verzweigt* dargestellt. Die Seiten ähnlicher Gemälde einer veränderten Gemäldeauswahl werden an die bisher präsentierten Gemälde angefügt. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen schematische Darstellungen beispielhafter Seitenabfolgen. Sie zeigen, welche Navigationsmöglichkeiten bestehen und wie eine Verzweigung durch das Einfügen ähnlicher Gemälde vermieden wird.

Durch die Auswahl von Farben und ähnlichen Gemälden, kann die Anfrage zwar subtil, aber nur grob formuliert werden. Mit dem Ziel, die semantische Lücke zu verkleinern, wird die Formulierbarkeit durch das Browsing in einer Historie ergänzt. Die Historie ist -

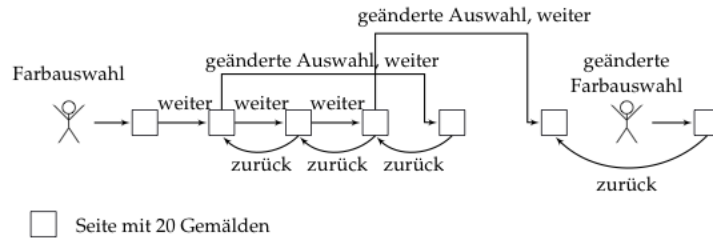


Abbildung 2: Navigationsmöglichkeiten durch Historienfunktion

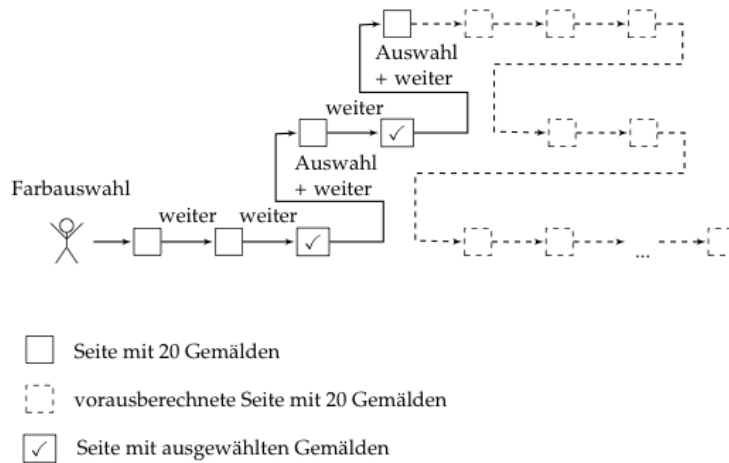


Abbildung 3: Einfügen ähnlicher Gemälde

bewusst vereinfachend - linear aufgebaut, um den Anfragekomfort nicht einzuschränken. Ihre chronologische Anordnung ist ein Aspekt von Relevance Feedback; Relevance Feedback birgt die Gefahr, durch häufige Rückfragen und die Erfordernis von Bewertungen, den Anfragekomfort einzuschränken.

Alternativ zur Historienfunktion wäre ein Clustering ähnlicher Gemälde und ihre Darstellung in einer Weise, die einer vieldimensionalen Mindmap vergleichbar ist. Problematisch sind hierbei die vielfältigen Entscheidungsmöglichkeiten des Benutzers bei der Navigation. Durch die Entscheidung für die Sichtung eines Clusters werden eventuell individuell gesuchte Ergebnisse nicht angezeigt. In einer Anwendung könnten Gemälde in unterschiedlichen Clustern mehrfach dargestellt werden (vgl. Fuzzy-Clustering). Es wird unterstellt, dass eine derart aufwendige Darstellung eine anfragestellende Person überfordert.

3 Bewertung

3.1 Datenmenge

Die Gemäldesuche wird auf der Datenmenge der in der *Web Gallery of Art*³ enthaltenen Bilddaten durchgeführt. Zum verwendeten Stand Mai 2014 sind dies 24.915 Dateien. Es sind die Dateien, die im Katalog der Galerie als Bilder von Gemälden erfasst sind. Die Gemälde stammen von 2.896 Künstlern aus den Jahren 1001 bis 1900, vorwiegend aus der Epoche der Renaissance. Je Künstler enthält der Datenbestand zwischen 1 und 560 Bilder von Gemälden. Die meisten Gemälde stammen von Giotto di Bondone (560), Vincent van Gogh (330) und Peter Paul Rubens (289).

3.2 Versuchsaufbau, Versuchsstrategie

Die Anforderung einer Bildersuche anhand ungenauer Vorstellungen bedeutet, dass kein eindeutiges Ziel der Suche existiert. Die Erfüllung subjektiver vager Vorstellungen ist nicht objektiv messbar. Es ist lediglich möglich, viele Stichproben subjektiv auszuwerten, ob die berechneten Gemälde den ungenauen Vorstellungen entsprechen, die einer Anfrage zugrunde liegen. Die Eignung eines Algorithmus ist unter zwei Gesichtspunkten feststellbar: *Enthält die berechnete Ergebnismenge ein für Versuchszwecke vorgegebenes Ziel-Gemälde? Enthält die berechnete Ergebnismenge Gemälde, die als unpassend empfunden werden?* Messbare Werte für diese Fragestellungen sind der Rang, auf dem ein vorgegebenes Gemälde in der Ergebnisliste positioniert ist und die Anzahl der im Hinblick auf die Anfragekriterien als unpassend empfundenen Gemälde. Unter der Voraussetzung, dass für alle Messreihen die gleiche Datenmenge verwendet wird, können diese Werte verwendet werden, um die implementierten Methoden zur Bestimmung von Ergebnis-Gemälden zueinander in Beziehung zu setzen. Dadurch können die unterschiedlichen Methoden zumindest vergleichend bewertet werden. Ein absolutes Qualitätsmaß kann nicht abgeleitet werden, weil sowohl der Rang, als auch die Anzahl der als unpassend empfundenen Gemälde, von der Größe der Datenmenge abhängig sind.

Weil die Gemäldesuche in Teilprobleme zerlegt wurde, werden auch die Lösungen der Teilprobleme experimentell getrennt voneinander untersucht.

In den folgenden zwei Unterkapiteln werden die Suche vorgegebener Gemälde und die als unpassend empfundenen Ergebnismalge getrennt voneinander beschrieben. Sie gliedern sich jeweils in die Durchführung und Bewertung der Farbauswahl und die Durchführung und Bewertung der Suche ähnlicher Gemälde.

³<http://www.wga.hu>

3.3 Suche vorgegebene Gemälde

3.3.1 Farbauswahl

Zum Test der Farbauswahlmöglichkeiten wurden alle Gemälde des Datenbestandes personell gesichtet. Es wurden Gemälde ausgewählt, nach denen durch die Auswahl einer Farbe gesucht werden können soll. Es wird erwartet, dass die vorgegebenen Gemälde unter den ersten 100 Gemälden einer entsprechenden Farbauswahl präsentiert werden.

Es wurden Anfragen zu allen Farbwinkel-Wertebereichen des HSV-Farbmodells und der selbst definierten Farbtafel durchgeführt. Die Sättigungs- und Helligkeits-Wertebereiche wurden zunächst nicht berücksichtigt. Die Anfrage von Farben über die Auswahlmöglichkeit von RGB-Wertebereichen wurde nicht untersucht, weil diese Art der Formulierung von Farben für den menschlichen Benutzer nicht intuitiv ist.

Bereits bei den ersten Versuchen fiel auf, dass die alleinige Auswahl von Farbwinkel-Wertebereichen zur Anzeige vieler sehr dunkler Gemälde auf den vorderen Ergebnispositionen führt. Deshalb wurden zusätzlich zum untersuchten Farbwinkelbereich die Helligkeitsbereiche eingeschränkt. Es wird unterstellt, dass der Benutzer keine Gemälde minimaler Helligkeit sucht. Die Farbsättigung wurde nicht spezifiziert.

Die Formulierung von Farbe durch Farbmodelle, wie HSV und ganz besonders RGB, sind für einen menschlichen Anwender problematisch. Einerseits kann er nicht alle interessanten Farben - wie beispielsweise Schwarz, Weiß, Grau, Braun oder Fleischfarbe - formulieren, andererseits muss er Farben exakt formulieren, die schwierig unterscheidbar sind - wie Cobalt, Blau und Cyan. Darüberhinaus muss der Anwender die Dimensionen der Farbmodelle in seiner Auswahl geeignet kombinierten. Die Verwendung einer fest vorgegebenen Kombination von Wertebereichen aller Dimensionen eines Farbraum zum Vorschlag einer Farbtafel interessanter Farben löst dieses Problem.

3.3.2 Ähnliche Gemälde

Um die Suche nach ähnlichen Gemälden überprüfen zu können, wurden Stichproben von Gemäldepaaren bestimmt, die subjektiv als ähnlich eingeschätzt werden. Die Einschätzung kann durch eine ähnliche Stimmung, ähnliche Malstile oder ähnliche Motive der Gemälde begründet sein.

Mangels eines objektiven Ähnlichkeitsmaßes für diese subjektiven Eigenschaften wurden die verwendeten Algorithmen zur Bestimmung der Farblichkeit, der Textur und der einfachen Formen eines Bildes relativ zueinander betrachtet. Als Hinweis auf die Eignung eines Vergleichskriteriums wird die Trefferposition in der jeweiligen vorausberechneten Datenbanktabelle nächstähnlicher Gemälde ausgewertet.

Die Gemälde wurden in den Experimenten jeweils gegenseitig gesucht. Im ersten Schritt wurde anhand der Auswahl eines Gemäldes 1, das Gemälde 2 erwartet. Im zweiten Schritt wurde anhand der Auswahl des Gemäldes 2 das Gemälde 1 erwartet. Die Suchrichtung für die paarweise als ähnlich eingeschätzten Gemälde stellte sich in vielen Beispielen als sehr bedeutungsvoll heraus. Dies zeigt die Verletzung der Symmetrieeigenschaft von Distanz-

funktionen durch die verwendeten Ähnlichkeitsmaße.

Die Suche ähnlicher Gemälden anhand der Vergleiche von Keypoint-Dichten und den Anzahlen detektierter einfacher Formen war unbefriedigend. Nur in wenigen Fällen waren diese Methoden überhaupt Trefferpositionen unter 1.000 ermittelbar.

Die Gemäldepaare der Stichproben, bei denen nur die Farbvergleiche gute Ergebnisse erzielten, zeigen zwar ähnliche Motive, aber die Ähnlichkeit der vermittelten Stimmungen überwiegt subjektiv. Die Gemäldepaare der Stichproben, bei denen nur die Texturvergleiche gute Ergebnisse erzielten, sind einander so ähnlich, dass sie tatsächlich die gleichen Motive darstellen. Schlechte Ergebnisse bei Farbvergleichen von Gemälden werden häufig durch Farbverschiebungen infolge unterschiedlicher Belichtungen bei der photographischen Reproduktion der Gemälde bewirkt. Einige Bilder derselben Gemälde zeigen im Vergleich zueinander beispielsweise eher gelbe oder graue Farbtöne.

Die Ähnlichkeit von Gemälden, bei denen ein Gemälde nur einen Ausschnitt eines anderen Gemäldes zeigt, wird durch einen Vergleich der Farbverteilungen nur unzureichend erfasst. Es zeigt sich jedoch, dass die Ähnlichkeitsbestimmung über die Häufigkeiten von SIFT-Deskriptoren (Scale Invariant Feature Transform [Low04]) im verwendeten Bag of Visual Words-Ansatz in diesen Fällen relativ gut funktioniert. Dies könnte durch die Skalierungsunabhängigkeit der SIFT-Deskriptoren hervorgerufen werden.

Eine Möglichkeit zur Verallgemeinerung, dass ähnliche Gemälde entweder anhand ihrer Farbgestaltung oder ihrer Textur oder erst durch Kombination beider Vergleichsmethoden bestimmt werden können, ist nicht ersichtlich. Beispiele subjektiv ähnlich empfundener Gemälde, die nur als wenig ähnlich berechnet wurden, zeigen bestehende Schwächen des Vergleichs bildimmanenter Eigenschaften. Dies ist ein Hinweis darauf, dass menschliche Betrachter einerseits ein größeres Maß Unähnlichkeitstoleranz erwarten, andererseits objektiv ähnlichere Gemälde subjektiv als weniger ähnlich betrachten. Die Einschätzung von Ähnlichkeit durch einen menschlichen Betrachter wird stark durch eine selektive Wahrnehmung einzelner Gemäldeigenschaften beeinflusst.

3.4 Als unpassend empfundene Gemälde

3.4.1 Farbauswahl

Um zu prüfen, wie gut die objektive Bilderauswahl anhand der Farbverteilung mit dem subjektiven Empfinden übereinstimmen, wurden für verschiedene Farbauswahlmöglichkeiten jeweils die ersten 100 Gemälde betrachtet.

Für die Farbauswahl durch *Farbwinkel* des HSV-Farbmodells stellte sich deren große Abhängigkeit der Farbwirkung von der Helligkeit heraus. Durch die Auswahl eines Farbwinkelwertebereichs alleine wird ein Farbeindruck nur unzureichend beschrieben. Die Einteilung der Farbwinkel-Wertebereiche ist für einen menschlichen Betrachter zu detailliert. Dies zeigen Ergebnismengen, denen nur im direkten Vergleich ein Farbwinkel zugeordnet werden kann. Diese feine Differenzierung ist für einen Menschen zur Beschreibung von Gemälden aus der Erinnerung oder einer ungenauen Vorstellung heraus nicht möglich.

Die Ergebnismengen aufgrund der Auswahl von Farben der selbst definierten *Farbtafel* sind leichter nachvollziehbar. So zeigt die Ergebnismenge für die Auswahl des roten Wertebereichs keine Schwarz-Weiß-Gemälde, wie bei der Auswahl des roten Wertebereichs für die Farbwinkel des HSV-Farbmodells. Die den Ergebnismengen zugrunde liegenden Farbauswahlen sind leichter unterscheidbar, die Farben sind klarer differenziert. Es fallen nur wenige Gemälde mit unerwarteten Farbfeldern auf.

Das Konzept, Farben aus festen Kombinationen von Wertebereichen der Dimensionen des HSV-Farbmodells zu beschreiben, überzeugt durch die Ergebnisqualität und die leichte Formulierbarkeit von Farben, die nicht alleine durch einen Farbwinkel qualifiziert werden können. Die Farbtafel ist darüberhinaus beliebig spezifizier- und erweiterbar.

3.4.2 Ähnliche Gemälde

Für die Bewertung der Ähnlichkeitsbestimmung von Gemälden zu einem ausgewählten Referenzgemälde wurden für jede implementierte Vergleichsmethode ebenfalls die 100 nächstähnlichen Gemälde betrachtet. Eine Identifikation, warum die berechneten 100 Gemälde die ähnlichsten Gemälde sind, ist wegen der unüberschaubaren Größe des Datenbestandes personell nicht möglich.

Die Ähnlichkeitsbestimmungen anhand der *Farblichkeit* erscheint für alle verwendeten Farbmodelle passend. Aufgrund der unterschiedlichen Genauigkeiten, in denen die Farbwerte der Farbmodelle in Histogrammen erfasst wurden, erscheinen die Ergebnismengen abhängig vom vergleichenden Farbmodell ebenfalls unterschiedlich genau.

Für die Ähnlichkeitsbestimmung anhand der *Textur* zeigt sich der alleinige Vergleich der Keypoint-Dichten als ungeeignet. Die Ähnlichkeit der berechneten ähnlichen Gemälde ist nicht nachvollziehbar. Der Vergleich der Gemäldetexturen über den Bag of Visual Words-Ansatz zeigt jedoch gute Ergebnisse. Zwar ist es auch hier schwierig, einen personellen Vergleich der Textur mit dem Referenzgemälde durchzuführen, die Texturen aller 101 Gemälde erscheinen jedoch sehr ähnlich.

Die Auswertung dargestellter einfacher *Formen* eines Gemäldes, um Gemälde mit ähnlichen Motiven zu berechnen, ist in der implementierten Form nicht aussagekräftig. Die Ergebnisse sind nicht nachvollziehbar. Die Formendetektion ist sehr stark von der Anwendung von Filtern und damit von vielen Parametern und Parameterkombinationen abhängig. In der Implementierung wurde zwar in dem Bewußtsein darauf verzichtet, dass die Optimierung der Parameterwahl eine eigene Herausforderung darstellt. Das Ergebnis ist dennoch unerwartet schlecht.

4 Ausblick

Die erarbeiteten Ansätze zur Formulierung und Berücksichtigung bildimmanenter Merkmale für eine Gemäldesuche bieten viele Möglichkeiten zur Verbesserung, Erweiterung und alternativen Implementierung. Die Wertebereiche der selbst definierten Farbtafel können

genauer untersucht und angepasst werden.

Eine genauere Anfragemöglichkeit für die Farbensuche bietet eine Segmentierung der Gemälde. Dazu müssten lediglich die Farinformationen bestimmter Regionen der Gemälde gesondert erfasst und anfragbar gemacht werden. Dadurch könnten beispielsweise Gemälde angefragt werden, deren obere Hälfte der Bildfläche blau und deren untere Bildhälfte grün ist.

Für die Repräsentation der Textureigenschaften der Gemälde können alternative Keypoint-Detektoren und -Deskriptoren verwendet werden. Statt der SIFT-Deskriptoren werden für die Objekterkennung auf Bildern auch HOG-Deskriptoren (Histogram of Oriented Gradients [DT05]) vielversprechend verwendet.

Um neue ähnliche Gemälde speichern zu können, ohne die Erfordernis einer neuen Vorausberechnung aller jeweils ähnlichen Gemälde, könnte die Verwendung einer Graphdatenbank geeignet sein. Die nächstähnlichen Gemälde müssen dabei nicht in einer relationalen Datenbanktabelle gesondert gespeichert werden. Die Ähnlichkeitsattribute der Gemälde legen die Einordnung in einen Graphen fest, wenn sie in den Datenbestand importiert werden.

Die semantische Lücke kann zwar kontextabhängig verkleinert werden und der Umgang mit ihr kann in Anwendungen komfortabler gestaltet werden, als Problem bleibt sie jedoch bestehen.

Literatur

- [DJLW08] Ritendra Datta, Dhiraj Joshi, Jia Li und James Z. Wang. Image Retrieval: Ideas, Influences, and Trends of the New Age. *ACM Comput. Surv.*, 40(2):5:1–5:60, Mai 2008.
- [DT05] Navneet Dalal und Bill Triggs. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection. In *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005.*, Jgg. 1, Seiten 886–893, June 2005.
- [FSN⁺95] Myron Flickner, Harpreet Sawhney, Wayne Niblack, Jonathan Ashley, Qian Huang, Byron Dom, Monika Gorkani, Jim Hafner, Denis Lee, Dragutin Petkovic, David Steele und Peter Yanker. Query by Image and Video Content: The QBIC System. *Computer*, 28(9):23–32, September 1995.
- [Käs05] Thomas Käster. *Intelligente Bildersuche durch den Einsatz inhaltsbasierter Techniken*. Dissertation, Universität Bielefeld, 2005.
- [Lin98] Tony Lindeberg. Feature Detection with Automatic Scale Selection. *International Journal of Computer Vision*, 30(2):79–116, 1998.
- [Low04] David G. Lowe. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *Int. J. Comput. Vision*, 60(2):91–110, November 2004.
- [Sch04] Ingo Dr.-Ing. Schmitt. *Multimedia-Datenbanken: Retrieval, Suchalgorithmen und Anfragebearbeitung*. Dissertation, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, 2004.