INSTITUT FÜR INFORMATIK
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Algorithmische Farbanalyse zur Untersuchung von Auswirkungen der Einführung neuer Farbpigmente auf die Kunst des 19. Jahrhunderts

Stephanie Schwaben

Bachelorarbeit

Aufgabensteller	Prof. Dr. François Bry
Betreuer	Prof. Dr. François Bry, Martin Bogner, M. Sc. Inform.
Abgabe am	31. Oktober 2018

Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst habe und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe.

München, den 31. Oktober 2018 Stephanie Schwaben

Danksagung

Ich danke Prof. Bry und Martin Bogner für ihre kontinuierliche Inspiration und Unterstützung. Großer Dank auch an Fr. Reinkowski für einen tieferen Einblick in kunsthistorische Sachverhalte.

Abstract

This thesis is offering an algorithmic analysis of paintings of the Long 19th Century. Point of interest was to find out, which impact the inventions of new colour pigments had on paintings, in these times. The focus is on the colour intensity and the frequency of appearance of colours in paintings. Therefore ten datasets were selected by art style, genre, date of creation and colour, based on the ARTigo image collection. These get examined for change in colouring, with algorithmic data analysis methods. The results are presented by graphical visualizations. For showing the average colour saturation of paintings, a plotting tool is used, which shows the results descriptively, by integrating the analyzed paintings directly in the plot.
To analyze the use of colour, the colours are first assigned to colour groups. For each colour group, their average appearing per picture is evaluated and shown graphical. There are cases made for the use of colour and colour saturation, based on relevant sources regarding the history of art and the evolving of colour pigments. Conclusions are drawn for the change of use of colour over time, by comparing the theses and results of this thesis. For the analyzed datsets, an overall rise of colourfulness is seen and furthermore an above-averaged grade of use of the colours brown, grey and yellow over the whole time. Mixing the colours causes the reduction of colour saturation, which makes it harder to distinctly assign colours to their colour groups. The fading of colours and the yellowing of paper also have negative impact on colour saturation. The detected above-averaged high use of the colours brown, grey and yellow is showing the boundaries of the used methodology: only mixed colours can be anlyzed, no pure colour pigments. Thus the analysis of use of the other colours is done after excluding the colors brown an grey.
Also it is analyzed, in which time period a colour group was used most and least. The results turned out like expected, mostly the maxima of use of colour can be found around the end of the 19. century and the minimum in the beginning.

Zusammenfassung

Diese Arbeit stellt eine alogorithmische Analyse der Farbverwendung an, für Gemälde des Langen 19. Jahrhunderts. Ausgangspunkt war das Interesse daran, welche Auswirkungen die Entwicklung neuer Farbpigmente während dieser Zeit auf die Gemälde hatte. Im Fokus liegen die Farbintensität und die Häufigkeit des Vorkommens von Farben in Bildern. Hierzu werden auf Basis des ARTigo-Bildbestandes zehn Datensets nach Kriterien wie Kunststil, Genre, Entstehungszeitraum und Farbtönen selektiert. Diese werden in Bezug auf die Veränderung der Farbgebung mit algorithmischen Datenanlysemethoden untersucht. Mittels graphischer Visualisierungen werden die Ergebnisse aufbereitet. Für die Darstellung der durchschnittlichen Farbsättigung von Bildern wird ein Plotting-Tool verwendet, welches die Ergebnisse besonders anschaulich macht, denn die analysierten Gemälde werden direkt in die Graphen integriert.
Um die Analyse der Farbverwendung anzustellen, erfolgt zunächst eine Einteilung der Farben in Farbgruppen. Zu jeder Farbgruppe wird das durchschnittliche Vorkommen pro Bild evaluiert und graphisch ausgewertet. Es werden Thesen zur Farbverwendung und Farbsättigung erstellt, basierend auf fachrelevanten Quellen aus den Themenbereichen Kunstgeschichte und Entwicklung von Farbpigmenten. Aus den Vergleichen von Annahmen und Ergebnissen dieser Arbeit werden Schlüsse gezogen, für die analysierten Bildbestände, in Bezug auf die Veränderung der Farbgebung über die Zeit. Für die untersuchten Datensets kann das allgemeine Ansteigen der Buntheit der Gemälde beobachtet werden und zudem ein überdurchschnittlich hoher Verwendungsgrad der Farben Braun, Grau und Gelb über den gesamten Zeitraum. Das Mischen der Farben führt zu einer Verringerung der Farbsättigung, was es schwieriger macht Farben eindeutig einer Farbgruppe zuzuordnen. Das Ausbleichen von Farben und das Vergilben von Papier hat auch negative Auswirkungen auf die Farbsättigung. Der festgestellte überdurchschnittlich hohe Verwendungsgrad der Farben Braun, Blau und Gelb zeigt die Grenzen der gewählten Methodik: Es können nur Mischfarben analysiert werden und keine reinen Farben. Daher erfolgt die Auswertung der Verwendung bunter Farben nach Ausklammerug der Farben Grau und Braun.
Außerdem wird analysiert, in welchem Zeitabschnitt eine Farbgruppe am häufigsten und am wenigsten oft verwendet wurde. Hier fiel das Ergebnis wie erwartet aus, die Maxima der Farbverwendung finden sich meist gegen Ende des 19. Jahrhunderts und die Minima am Anfang.

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung **1**

2 Forschungsstand **3**
2.1 Einblick in die Kunstgeschichte . . . 3
2.2 Geschichte der Entwicklung neuer Farbpigmente . . . 4
2.3 Farbräume . . . 5
2.3.1 RGB . . . 6
2.3.2 HSV . . . 7
2.3.3 CIEL*a*b* . . . 7

3 Methodik **11**
3.1 ARTigo . . . 11
3.1.1 Die ARTigo-Plattform . . . 11
3.1.2 Die ARTigo-Daten . . . 12
3.2 Farbsegmentierung und -analyse von ARTigo-Bildern . . . 13
3.3 Farbeinteilung . . . 16

4 Statistische Analyse **21**
4.1 Auswertung des Basisbildbestands . . . 23
4.2 Auswertung von Landschaftsbildern . . . 27
4.3 Auswertung von ausgewählten Farbtönen . . . 33
4.3.1 Blau . . . 33
4.3.2 Gelb . . . 37
4.3.3 Grün . . . 42
4.4 Veränderungen der Farbsättigung für Kunstepochen . . . 47
4.4.1 Klassizismus . . . 47
4.4.2 Romantik . . . 52
4.4.3 Realismus . . . 57
4.4.4 Impressionismus . . . 62
4.4.5 Moderne . . . 66
4.5 Diskussion der Ergebnisse . . . 71

5 Ausblick **73**

Literaturverzeichnis **75**

KAPITEL 1

Einführung

„Es sind Harmonien und Kontraste in den Farben verborgen, die ganz von selbst zusammenwirken." - Vincent van Gogh (1853 - 1890)

Dieses Zitat von Vincent van Gogh, einem der herausragendsten Künstler des 19. Jahrhunderts, macht einem bewusst wie sehr die Welt der Farben doch ihre ganz eigene ist. Um diese zu verstehen, benötigt man einen offenen und kreativen Geist. In diesem Sinne beschäftigt sich folgende Arbeit mit der Farbgebung und Farbintensität von Gemälden aus dem Langen 19. Jahrhundert. Doch hier aus einer anderen Sicht als der künstlerischen, nämlich aus informationstechnischer Sicht. Wie kann die Informatik die Kunstwissenschaften mit modernen Möglichkeiten der Technologe bei ihrer Forschung unterstützen? Informatik und Kunstgeschichte gehen Hand in Hand. Datensammlungen und informatiostechnische Analyseprojekte finden sich mittlerweile für viele Bereiche der Kunst. Wie zum Beispiel große Datenarchive für Gemälde mit dazugehörigen Metadaten. Ein Beispiel für eine Datensammlung zu der laufend Metadaten generiert werden, ist die Online-Plattform ARTigo. Hier können spielerisch Schlagworte für Gemälde vergeben werden. Die Daten die mithilfe dieser Plattform von Spielern generiert wurden und die Gemälde an sich, bilden die Basis für diese Arbeit. Ausgehend hiervon wurde für die Kunst des Langen 19. Jahrhunderts mithilfe informationstechnischer Möglichkeiten analysiert, wie die Farbgebung der Gemälde sich über die Zeit verändert hat. Für ein grundlegendes Verständnis der Kunst während diesem Zeitraum werden zunächst einige Kunststile näher erläutert. Um die Farbgebung näher untersuchen zu können, wird die Entwicklung neuer Farbpigmente näher beleuchtet. Hier konnten dank der Industrialisierung große Fortschritte in der Chemie und somit auch der Farbherstellung erzielt werden. Es gilt herauszufinden, ob diese Fortschritte anhand der zur Verfügung stehenden Bilder nachweisbar sind.
Eine solche Art der Untersuchung kann nur mithilfe der Informatik angestellt werden. Diese große Menge an Daten manuell zu analysieren, ist nicht effizient machbar. Zusätzlich bieten dynamische Programme den Vorteil der Wiederverwendbarkeit. So kann mittels Änderung der Übergabeparameter mit dem selben Programm eine Farbanalyse für alle Bilder gemacht werden, die z.B. mit dem Tag „Landschaft" versehen sind, oder nur Bilder innerhalb einer gewissen Zeitperiode untersucht werden.
Die Einteilung von Farben in messbare Systeme verhindert Diskrepanzen in den Ergebnissen durch subjektives Farbempfinden der Betrachter. In diesem Zusammenhang werden die drei Farbräume erläutert, welche für diese Arbeit essentiell sind. Hier stehen Farbsy-

steme zur Verfügung, die nahe an das menschliche Farbempfinden heranreichen.
Die über die Auswertung gewonnen Informationen werden anschaulich als Graphen visualisiert und ermöglichen so auch einem fachfremden Publikum Zugang zu kunsthistorischen Informationen. Durch informationstechnologisch basierte Auswertungsmethoden ergeben sich neue Möglichkeiten, einen Blick auf den kunsthistorischen Gesamtkontext zu werfen.

KAPITEL 2

Forschungsstand

2.1 Einblick in die europäische Kunstgeschichte des 19. Jahrhunderts

Um sich mit der Farbgebung der Kunst des 19. Jahrhunderts beschäftigen zu können, ist ein allgemeines Verständnis der Kunst dieser Zeit nötig. Ein Künstler hat die Freiheit seine Haltung zu moralischen, ethischen und gesellschaftlichen Themen über seine Werke auszudrücken, dies nicht nur über das Motiv, sondern auch mittels seiner Farbwahl. Im Folgenden wird hier ein kurzer Einblick in die Stilepochen des 19. Jahrhunderts gegeben.
Mit Hinblick auf die Kunst, wird das 19. Jahrhundert auch das „Lange 19. Jahrhundert" genannt. Es umfasst die Zeit vom Ende des Barocks (um 1770) bis zu den Anfängen der abstrakten Kunst (ab 1914) [8]. Im Folgenden wird sich stets auf das Lange 19. Jahrhundert bezogen, wenn vom 19. Jahrhundert die Rede ist. Der einstige schnelle Umbruch in den Bereichen der Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft, unter anderem begründet in der Aufklärung und der französischen Revolution, spiegelte sich auch in der Kunst des 19. Jahrhunderts wider. Eine Diversität von Kunststilen wurde in dieser schnellebigen Kunstepoche der Malerei hervorgebracht, darunter der Klassizismus, die Romantik, der Realismus, der Impressionismus und der Expressionismus. Mit Hinblick auf die zu untersuchende Farbgebung der Bilder wird im Folgenden näher auf die Kunststile Klassizismus, Romantik, Realismus und Impressionismus eingegangen.

Klassizismus Die Stilepoche des Klassizismus umfasste etwa die Zeit von 1770-1830. Klassizistische Maler wählten häufig Motive, die stark an die Antike angelehnt waren, mit dem Hintergrund das demokratische Ideal der Antike zu unterstreichen. Die Bilder zeigten eine gewisse Formstrenge, mit der man beabsichtigte, sich von der verspielten Gefühlswelt des Rokoko zu lösen. Die Farben hatten eine untergeordnete Bedeutung, so lenkte man die Aufmerksamkeit mehr auf die strengen Konturen. Es galt plastische, klare Bilder zu gestalten, die sich mit moralischen und ethischen Themen befassen, und so eine erziehende Wirkung haben sollten. [8]

Romantik Als Gegenbewegung zum Klassizismus entstand die Romantik, die sich sehr vielfältig gestaltete. Die Gefühle rückten wieder in den Vordergrund, Künstler suchten sich neue, individuelle Wege ihrer Phantasie Ausdruck zu verleihen. Farben gewannen wieder mehr an Bedeutung und hatten oft einen symbolischen Charakter.

Realismus Zur Zeit des Realismus (1850-1900) wollten Künstler die unbeschönte, wahre Realität des Alltags darstellen [8]. Hier wurden auch sozialkritische Themen aufgegriffen, wie die in der Industrialisierung begründete Ausbeutung der Arbeiter. Der Betrachter sollte zu einer tieferen Wahrnehmung der Wirklichkeit kommen. Es wurden meist Erdfarben als Symbol der Bodenständigkeit verwendet.

Impressionismus Während des Impressionismus (von etwa Mitte 19. Jahrhundert bis Anfang 20. Jahrhundert) stand die Farbgebung und die Wirkung des Lichts im Mittelpunkt. Maler zeichneten dank neuer Möglichkeiten, wie schnelltrocknender Farbe und der Farbtube, nun auch unter freiem Himmel (franz. plein air = mit einem leeren Raum, franz. Peinture en pleinair = Freiluftmalerei) und stellten die Werke dann in ihren Ateliers fertig.[9]. Die durch den Fortschritt der Chemie neu entdeckten Farbpigmente, im Speziellen die Grünpigmente, ermöglichten es den Malern die beliebten Landschaftsmotive so darzustellen, wie sie diese mit ihren Augen wahrnahmen. Das für das menschliche Auge Sichtbare wurde zu einem elementaren Stilelement.

Um deutlichere Vergleiche in der Farbanalyse anzustellen, werden auch Werke aus der Zeit des frühen 20. Jahrhunderts betrachtet.

Moderne Das Zeitalter der klassischen Moderne umfasst mehrere Stilrichtungen, wie zum Beispiel Expressionismus, Kubismus und Futurismus. Ein Kennzeichen des Expressionismus ist die kontrastreiche Farbwahl der Künstler. In dieser Zeit kamen häufiger reine Farben zum Einsatz [9]. Es wird untersucht, ob die Farbanalyse expressionistischer Bilder differenzierte Ergebnisse liefert als die Werke des 19. Jahrhunderts.

2.2 Geschichte der Entwicklung neuer Farbpigmente im 19. Jahrhundert durch die Entwicklung der Chemie

Um die Veränderung der Farbgebung während des 19. Jahrhunderts nachvollziehen zu können, ist ein genaueres Verständnis der damals zur Verfügung stehenden Farbpigmente wichtig. Der folgende Abschnitt stützt sich im Wesentlichen auf den Artikel von Andreas Burmester und Claudia Denk [12]. Weitere Quellen werden explizit angegeben.
Anfang des 19. Jahrhunderts war die Farbpalette der Künstler sehr beschränkt. Für Blau standen lediglich das 1710 erstmals hergestellte stumpfschwarze Blau des Berlinerblaus, und für Gelb das fade Gelb des Neapelgelbs und Ockertöne in vielen Facetten zur Verfügung. Reine Grünpigmente für die Ölmalerei fehlten völlig, daher wurde Grün, wie zuvor im 18. Jahrhundert üblich, aus Blau und Gelb gemischt. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde die Farbpalette dann maßgeblich erweitert, dank des technologischen Umbruchs und der damit verbundenen Entwicklung der Chemie.

Weiß Für Weiß wurde meist Bleiweiß verwendet, welches in der Herstellung giftig war. Eine der wenigen, bereits 1782 in Dijon vorgeschlagenen, Alternativen für Bleiweiß war Zinkweiß, welches allerdings erst ab 1845 Einzug in die Künstlerpalette fand. Dies als Folge der zu geringen Deckfähigkeit in Öl und des weit höheren Preises, verglichen mit Bleiweiß, welcher sich erst in den 1870er Jahren anglich. Schwerspat diente als Füllstoff oder Träger für Farblacke.

Blau 1802 erfand Thénard Kobaltblau, dieses war anfangs teuer und war ausgezeichnet geeignet für die Malerei. 1826/1828 schafften es Guimet und Gmelin erstmals, den künstlichen Ultramarin zu synthetisieren. Auch dieser war kostspielig, obwohl er vor allem anfangs auch negative Eigenschaften hatte. Er wurde als zu violett bezeichnet und war unbeständig. Der natürliche Ultramarin, welcher aus Lazurit gewonnen wird, war zeitweise schwer zu bekommen. Der Handel war unterbrochen,

aufgrund der Türkenkriege (1663-1729) und der politischen Wirrungen mit Afghanistan ab 1747. Smalte war ein wenig farbstarker Ton und wird daher auch selten in Aufzeichnung erwähnt. In den 1870er Jahren wurde Coelinblau eingeführt, welches in der Farbe Kobaltblau ähnelt.

Gelb Chromgelb wird um 1814/15 erfunden, hatte allerdings eine geringe Lichtechtheit und galt als nicht chemisch stabil. In Deutschland stand ab den 1820er Jahren und in Frankreich ab Mitte der 1840er Jahren das farbstarke Cadmiumgelb zur Verfügung. Eine Steigerung der Intensität des Farbtons brachte Strontiumgelb mit sich, welches vermutlich in den 1850er Jahren entdeckt wurde. Die bis dato bevorzugten gelben Ocker und das fadgelbe Neapelgelb wurden aufgrund der Einführung der neuen Gelbpigmente immer seltener verwendet.

Grün Um Grüntöne zu mischen, wurden meist das preiswertere Berlinerblau und Chromgelb verwendet. Grüne Erden standen als rein-grüne Farbpigmente zur Verfügung und Grünspan für Lasuren. Für Ölmalereien sind diese nicht geeignet. Ende des 18. Jahrhunderts gab es dann Scheeles Grün, welches eher einen schmutzigen Farbton hat und daher eher unbeliebt war. 1822 wurde erstmals das kräftig helle Schweinfurter Grün synthetisiert, welches etwas gelbstichig war und trotz seiner Giftigkeit großen Anklang bei den Künstlern fand. Es war das erste farbstarke Grün, das sich in der Künstlerpalette durchsetzen konnte. 1809 wurde zwar bereits Chromoxidgrün erfunden, allerdings war dieses auch gelbstichig und zusätzlich wenig farbstark und zu dunkel. Chromoxidhydratgrün wurde Anfang der 1830er Jahre von Pannetier erfunden. Dieses war chemisch stabil und wurde unter den Künstlern schnell für schöne Grüntöne bekannt. Pannetier hielt seine Rezeptur unter Verschluss, demnach war Chromoxidhydratgrün knapp vorhanden und teuer. 1859 wurde es von Guignet synthetisiert, und somit für die Masse verfügbar. Die neuen Grüntöne prägten die Farbgebung der Landschaftsmalerei der Schule von Barbizon. Die Gemälde wurden aufgrund der Verwendung intensiver Grüntöne auch als „Spinatbilder“ bezeichnet [16]. Die neuen farbstarken Grüntöne wurden für naturnahe Darstellungen oft mit dunklen Ockern oder Schwarzpigmenten versetzt. Dies erklärt, warum zu dieser Zeit auch viele Braun- und Schwarztöne erwähnt werden.

Burmester et al. beschreiben, wie sich die Farbpalette der Künstler im Verlauf des 19. Jahrhunderts geändert hat. An frühen Gemälden erkennt man die karge Farbauswahl, welche Anfang des 19. Jahrhunderts zur Verfügung stand. Die Entwicklung der Chemie und die damit einhergehende Möglichkeit Stoffe synthetisch herzustellen hatte großen Einfluss auf die Farbpalette des 19. Jahrhunderts. Neue Farbtöne standen den Künstlern zur Verfügung. Die Farben, die chemisch stabil und lichtecht waren, setzten sich mit der Zeit durch. Allerdings blieb Berlinerblau, trotz der weiteren zu Verfügung stehenden Blaupigmente, bis zum Ende des 19. Jahrhunderts das meist verwendete Blau. In der Malerei geschah ein schneller Wandel weg vom Vertrauten hin zu neuen Farben, die nun sogar teils zu intensiv waren, und deswegen für eine naturnahe Darstellung mit dunklen Tönen gemischt wurden [12].

2.3 Farbräume

Farbräume können aufgrund ihrer Spezifikationen eine unterschiedliche Bandbreite an Farben definieren. Farben erhalten Farbwerte, die als Zahlentupel in Dreier- oder Vierergruppen repräsentiert werden. Bei der Wahl des Farbraums kommt es vor allem darauf an, sich vorab Gedanken zu machen, für welchen Zweck die Farbdaten verwendet werden. Hier wird unterschieden, ob der Farbraum eher für industrielle und maschinelle Zwecke

geeignet ist (z.B. RGB), oder ob der Farbraum möglichst mit der menschlichen Wahrnehmung übereinstimmt (z.B. HSV, CIEL*a*b*). Für die Farbanalyse von Kunstwerken des 19. Jahrhunderts wird Wert darauf gelegt, dass die analysierten Beobachtungen weitgehend mit der menschlichen Wahrnehmung übereinstimmen. Daher liegen die Farbdaten zu den Bildern im CIEL*a*b*-Format vor. Für die weitere Verarbeitung der Farbdaten war jedoch ein Umwandeln der Farbwerte in andere Farbräume nötig. Daher werden im Folgenden, die für diese Arbeit relevanten Farbräume näher erläutert.

2.3.1 RGB

Farben des RGB Farbraums werden über ein Tripel (r,g,b) definiert, wobei r den Rot-Anteil, g den Grün-Anteil und b den Blau-Anteil der Farbe bestimmt. Man spricht von den drei Grundfarben, da der Mensch drei unterschiedliche Arten von Zapfen im Auge hat zur Wahrnehmung von Rot, Grün und Blau. Um die meisten der wahrnehmbaren Farben darstellen zu können, werden die drei farbigen Lichtstrahlen in unterschiedlichen Intensitäten überlappt und es ergibt sich eine Mischfarbe, man nennt das additive Farbmischung. Mischt man alle drei Grundfarben in maximaler Intensität, erhält man weiß, bei einer Intensität von 0 ergibt sich schwarz [13].
Die meisten Anzeigegeräte arbeiten mit dem Prinzip der additiven Farbmischung, daher eignet sich RGB für technische Zwecke gut. Ein Beispiel zeigt die Digital-Mikroskopaufnahme eines hochauflösenden LCD-Bildschirms in Abbildung 2.2. Da alle Grundfarben in ihrer Intensität von 0% bis 100% reguliert werden können, entspricht die dreidimensionale Darstellung des RGB-Farbraums einem Würfel, wie Abbildung 2.1 zeigt.
8 Bits reichen aus, um die Zahlen von 0 bis 255 darzustellen. Es gibt dann 256 Möglichkeiten für die Größe eines jeden Farbanteils. Mit einer Farbtiefe von 24 bit ($3 * 8bit = 24bit$) können also $256 * 256 * 256 = 16.777.216$ Farben kodiert werden.

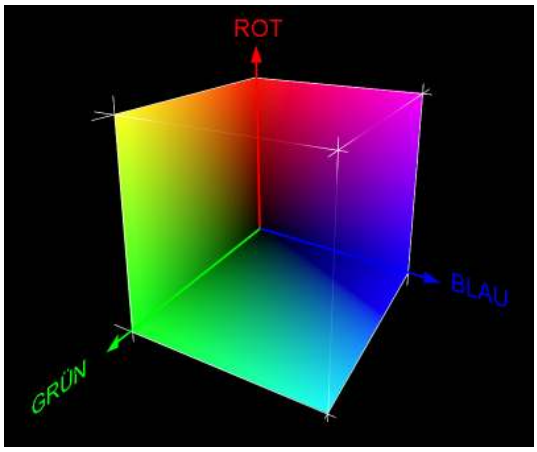

Abbildung 2.1: Der RGB-Farbwürfel. Der RGB-Farbraum lässt sich als Würfel darstellen, der von drei Achsen für Rot-, Grün- und Blauanteil aufgespannt wird. Der Ursprung (schwarz) liegt in der für den Betrachter entferntesten Ecke [10].

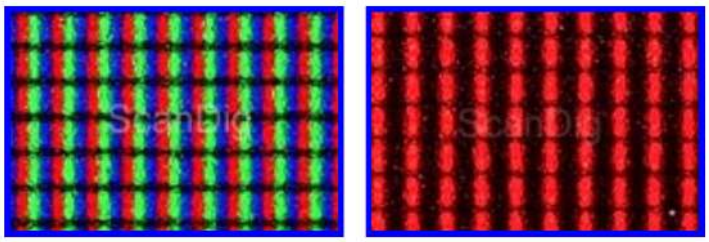

Abbildung 2.2: Starke Vergrößerung eines LCD-Bildschirms. Die einzelnen Pixel des Bildschirms werden als Subpixel in den drei Grundfarben rot, grün und blau dargestellt. Links leuchten die Subpixel in allen Farben intensiv auf, hier wird eine weiße Fläche dargestellt. Rechts leuchten nur die roten Subpixel auf, grün und blau sind schwarz, damit sieht man eine rote Fläche am Bildschirm [5].

2.3.2 HSV

Der HSV-Farbraum gehört zu den anwenderorientierten Farbräumen und kann als dreidimensionaler Kegel abgebildet werden (Abbildung 2.3). Die Festlegung einer Farbe erfolgt für den Nutzer intuitiver, als im RGB-Farbraum. Statt den Anteil dreier Grundfarben festzulegen, wird eine Farbe über die Werte von Farbton H (englisch: hue), Farbsättigung S (englisch: saturation) und Helligkeit V (englisch: value oder brightness) definiert. Im Farbkegel entspricht die vertikale Achse der Helligkeit V, der Farbton H dem Farbwinkel auf dem Farbkreis, und die Farbsättigung dem horizontalen Abstand der S-Achse zur Mitte. Die Spitze des Kegels entspricht dem Schwarzpunkt, der Weißpunkt ist der Mittelpunkt der Ebene mit dem höchsten Helligkeitswert V. Der Farbwinkel liegt zwischen 0 Grad und 360 Grad, Helligkeit und Sättigung liegen zwischen 0% und 100%. Der HSV-Raum kann auch als Zylinder dargestellt werden, da das menschliche Auge mit abnehmender Helligkeit keine Farben mehr unterscheiden kann, sondern nur noch Graustufen [13]. Die Farbsättigung wird daher in diesem Bereich vernachlässigbar, somit ist eine Darstellung als Kegel ausreichend.

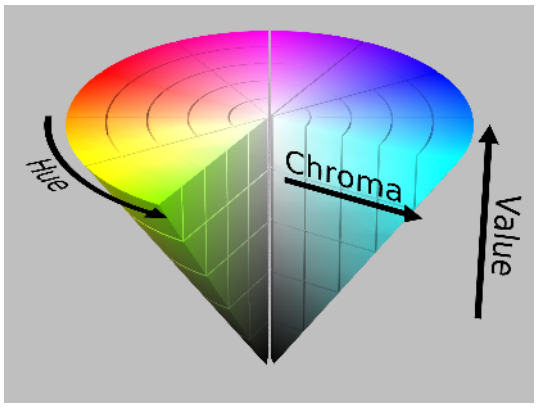

Abbildung 2.3: HSV Farbraum als Kegel in dreidimensioaler Darstellung.[6]

2.3.3 CIEL*a*b*

Die CIE (Commission Internationale de l'Èclairage oder Internationale Beleuchtungskommission, gegründet 1920 in Wien) entwickelte 1976 den CIEL*a*b* Farbraum. Der große

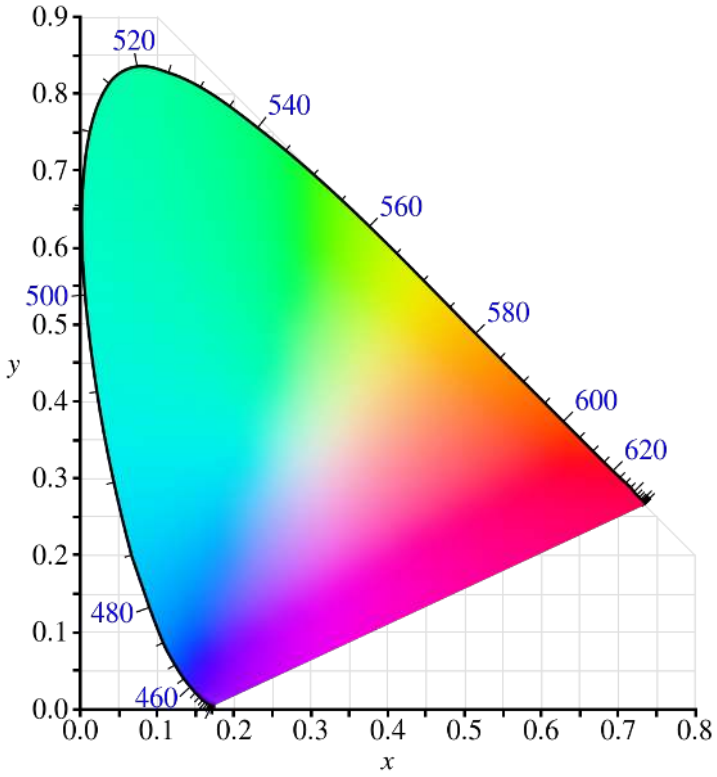

Abbildung 2.4: CIE-Normfarbtafel [1]

Vorteil hier ist die Gleichabständigkeit. Das heißt die Abstände der Farben und ihrer Helligkeiten wurden basierend auf der Wahrnehmung von Betrachtern festgelegt. Darauf basierend wurde die CIE-Normfarbtafel erstellt (Abbildung 2.4). Daher ist dieser Farbraum gut geeignet um die Farbwahrnehmung von Menschen abzubilden. Außerdem ist CIEL*a*b* ein vom Darstellungsgerät unabhängiger Farbraum. Alle Farbtöne mit gleicher Helligkeit liegen im CIEL*a*b*-Modell auf einer kreisförmigen Ebene. Die a-Achse beschreibt die Farben zwischen Grün und Rot, die b-Achse die Farben zwischen Blau und Gelb. Die Skala liegt jeweils zwischen +120 und -120, dies kann jedoch implementationsabhängig variieren. Rote Farben haben positive a-Werte, grüne Farben negative a-Werte. Negative b-Werte sind bläulich, positive sind gelblich. Der Ursprung der Achsen a und b ist der Mittelpunkt, nähert man sich diesem werden die Farben unbunt. Die Farben mit der größten Sättigung liegen auf dem Umfang des Kreises. Die Helligkeit wird von der vertikalen Achse aufgespannt und reicht von 0 (schwarz) bis 100 (weiß). Komplementärfarben finden sich auf dem Kreis gegenüber (Abbildung 2.5) [3].
Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt eine Einteilung von Farben in Farbgruppen, hierfür wurde ein Maß für den Abstand zweier Farben benötigt. Innerhalb des CIEL*a*b*-Farbraums kann eine Farbdifferenz mittels der ΔE-Formel berechnet werden. Der Wert 1 bezeichnet hier den Farbabstand, den das menschliche Auge nicht mehr wahrnehmen kann. [4] Diese Formel basiert auf der Berechnung der euklidischen Distanz:

$$\Delta E_{a,b} = (\sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}})$$

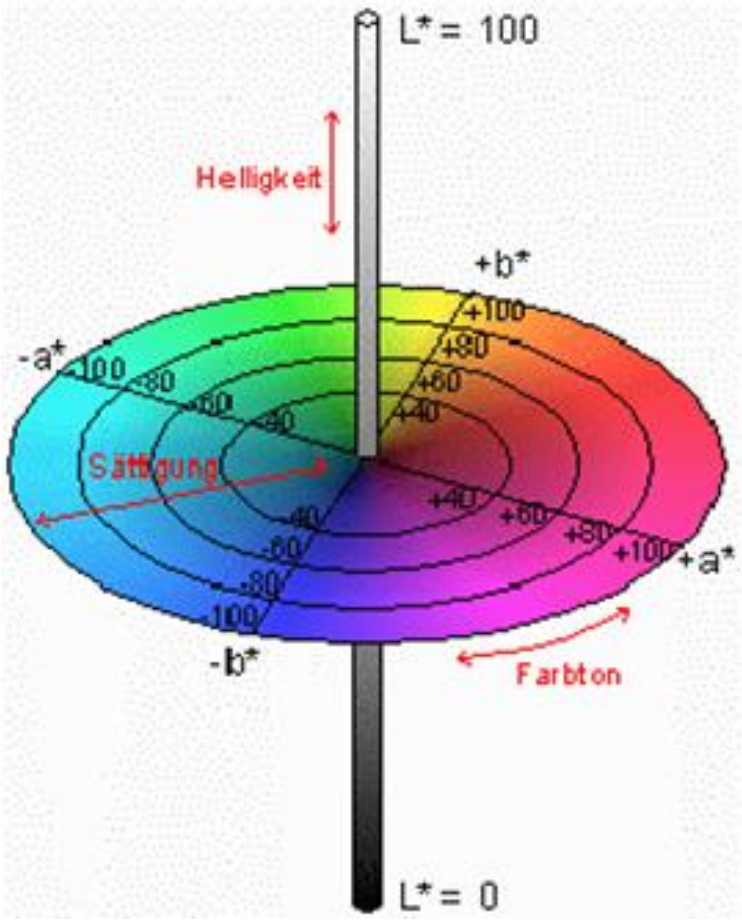

Abbildung 2.5: CIEL*a*b* Farbmodell als Kreis [2]

KAPITEL 3

Methodik

3.1 ARTigo

ARTigo [11] ist mit dem Ziel entstanden eine semantische Bildsuchmaschine für Kunstwerke zur Verfügung zu stellen. Da es bisher noch keine ausreichend gute Bilderkennungssoftware für Gemälde gibt, müssen die Daten und Beschreibungen zu den Werken von Menschen genriert werden. Da dies einen großen Aufwand bedeutet, ist das für eine Person alleine nicht machbar. Die Daten gegen Bezahlung generieren zu lassen, würde zu hohe Kosten bedeuten. Daher wurde das ARTigo Online-Spiel entwickelt, um Metadaten zu historischen Kunstwerken zu sammeln. Freiwillige können auf spielerische Weise Angaben zu den Gemälden machen. Unter anderem werden Informationen wie Künstler, Entstehungsjahr und aktueller Ausstellungsort zu den jeweiligen Werken gespeichert.
Außerdem können Schlagworte vergeben werden. Diese beschreiben genauer, was das Kunstwerk darstellt, aber auch Stilrichtung, Qualität oder Gefühle, die es wiedergibt [20].
ARTigo setzt sich aus mehreren Games With A Purpose zusammen. Die Eingaben der Spieler werden dazu verwendet, die passenden Schlagwörter für die Gemälde zu ermitteln.
Die mit ARTigo gesammelten Daten, sowie die Bilder an sich, bilden die Grundlage für die Farbanalyse in dieser Arbeit.

3.1.1 Die ARTigo-Plattform

Die ARTigo Plattform stellt derzeit acht Spiele bereit, um Metadaten zu Bildern zu sammeln. Dazu gehören Diversifikations-, Integrations-, Verbreitungs- und Beschreibungsspiele. Während eines Beschreibungsspiels vergibt der Spieler einfache Schlagworte, die das Werk beschreiben. In Diversifikationsspielen werden genauere Schlagworte generiert. In Integrationsspielen werden semantische Schlagwort-Cluster gebildet. In Verbreitungsspielen (engl. dissemination games) werden die Schlagworte überarbeitet, zum Beispiel in eine andere Sprache übersetzt.
Das ARTigo Spiel war das erste verfügbare Spiel. Es ist ein Beschreibungsspiel. Zwei Spieler, die sich nicht gegenseitig kennen, müssen zeitgleich Schlagworte zu dem gleichen Bild vergeben. Wird von beiden Spielern ein identisches Schlagwort in einer Runde vergeben, erhalten beide Spieler 25 Punkte. Findet ein Spieler ein Schlagwort, das bereits früher bei einem Spiel eingegeben wurde, erhält er fünf Punkte. Eine Runde dauert 60 Sekunden.

ARTigo Taboo und Karido sind Diversifikationsspiele. Der Spielablauf von ARTigo Tabbo entspricht dem des ARTigo Spiels, bis auf den Unterschied, dass einige Wörter angegeben sind, die von den Spielern nicht verwendet werden dürfen, also tabu sind. Diese Wörter wurden bereits mithilfe des ARTigo Spiels gesammelt und validiert. Ziel von ARTigo Taboo ist eine breiter gefächerte Schlagwortsammlung zu den Werken. Beim Spiel Karido werden den Spielern neun Bilder angezeigt. Ein Spieler übernimmt die Rolle des Erklärers und der andere Spieler muss erraten, welches der neun Bilder der Spielpartner mit Schlagworten beschreibt. Die Rollen werden nach jeder Runde getauscht.
Das Spiel Tag-A-Tag ist derzeit als Beta Version verfügbar und nur im Ein-Spieler-Modus. Der Spieler wird aufgefordert, ein Schlagwort im Hinblick auf das gezeigte Bild, mit weiteren Schlagworten zu beschreiben. Hier steht ihm eine Auswahl von Schlagworten zur Verfügung, oder er gibt selbst neue Schlagwörter ein. Tag-A-Tag ist also ein Integrationsspiel, Schlagwörter werden verknüpft, und so Verbindungen zwischen den Wörtern erkannt. Außerdem kann dieses Spiel auch als Diversifikationsspiel gesehen werden, da die Spieler mit dem vorgegebenen Schlagwort aufgefordert werden einen speziellen Bereich des Bildes näher zu beschreiben.
Das Integrationsspiels Combino bietet zwei Spielern die Möglichkeit Schlagworte zu verbinden. In fünf Runden werden zu fünf Bildern eine Reihe bereits validierter Schlagwörter angezeigt. Die Spieler versuchen Schlagwortpaare aus genau zwei Wörtern zu bilden.
ARTime ist ein Spiel, bei dem der Spieler drei Bilder in einer chronologischen Reihenfolge anordnen soll, beginnend mit dem ältesten Werk. Mit ARTime werden Daten über die Entstehungszeit der Werke gesammelt.
Die Qualität der über das ARTigo gaming ecosystem generierten Schlagworte wurde 2014 in einer Sudie untersucht [11] [21]. Den Teilnehmern wurden Schlagwörter vorgelegt, diese sollten einem Bilderset zugeordnet werden. Durch die unterschiedlichen Spielarten werden auch unterschiedliche Schlagwörter generiert. Laut der Studie werden die Schlagwörter, die über das ARTigo Spiel erzeugt wurden, von den Umfrageteilnehmern überwiegend als die wichtigsten, die treffendsten, die detailiertesten und prominentesten Tags empfunden. Die mittels den Diversifikationsspielen ARTigo Taboo und Karido gesammelten Schlagwörter, sind für die meisten Teilnehmer zusätzlich hilfreich, je nachdem wie genau bzw. detailiert die Beschreibungen sind. Meist werden diese als spezifischer als die ARTigo Spiel Tags empfunden. In einem Vergleich zwischen den Tag-A-Tag Schlagwörtern und den ARTigo Spiel Schlagwörtern stellte sich heraus, dass Beschreibungen aus mehreren Wörtern nur wenig nützlicher sind als Ein-Wort-Tags [11].

3.1.2 Die ARTigo-Daten

Um den Einfluss der zuvor angesprochenen neuen Farbtöne zu untersuchen, wurde ein speziellerer Datensatz basierend auf den ARTigo-Daten aufbereitet. Alle Bilder, die mindestens einmal mit einem der folgenden Schlagwörter versehen worden sind, wurden ignoriert: „Kupferstich“, „Zeichnung“, „schwarz weiß“, „Foto“, „Fotographie“, „Skizze“, „Aufriss“, „Skulptur“, „Bildhauerei“, „Holzschnitt“, „Papier“, „Druck“, „Drucke“ oder „Grundriss“.
Außerdem wurden nur Bilder selektiert, deren Datierung zwischen 1790 und 1914 liegt und solche, zu denen mindestens ein Schlagwort angegeben wurde. Dieser Zeitraum wurde gewählt, weil er den Großteil des Langen 19. Jahrhundert umfasst, jedoch erst nach Beginn der Französischen Revolution. Für diesen Zeitraum liegen Informationen bezüglich der Entstehung neuer Farbpigmente vor. Bilder ohne Entstehungsjahr sind hier entsprechend nicht gefiltert worden, da für eine Auswertung bezüglich eines Zeitraums auch eine Datierung nötig ist. War hier eine Zeitperiode angegeben, so wurde der Durchschnitt als Entstehungsjahr festgelegt.
Nach dem Vorfiltern wurden die Bilder über eine Zufallsauswahl stichprobenartig über-

prüft. Das Ergebnis ist ein Datenset von 5577 Bildern, welches im Folgenden als Basisbildbestand bezeichnet wird, da es als Basis für alle Analysen dieser Arbeit dient.
Der Basisbildbestand kann auf weitere Metadaten selektiert und so eingeschränkt werden. Selektierbare Daten sind: Künstler, Entstehungsjahr, Austellungsort, dominante Farben (von Moosburger generiert), Schlagwörter und die Häufigkeit der Schlagwörter pro Bild.

3.2 Farbsegmentierung und -analyse von ARTigo-Bildern

Für die Farbanlyse liegen die Farbwerte der untersuchten Gemälde als Daten im CIEL*a*b Format vor, diese bilden die notwendige Datenbasis dieser Arbeit. Die Farbdaten wurden mittles eines „color extraction Algorithmus“ (zu deutsch: Algorithmus zum Extrahieren von Farben), welchen Matthias Moosburger (Ludwig-Maximilians-Universität) im Rahmen seiner Bachelorarbeit [17] entwickelt hat, ermittelt. Dieser Algorithmus bietet die Möglichkeit, dominante Farben eines Bildes zu berechnen. Die Grundidee ist, das zu analysiernde Bild zunächst in Segmente ähnlicher Farben zu unterteilen. Pro Segment wird dann eine Durchschnittsfarbe ermittelt. Von allen gefunden Durchschnittsfarben werden dann die dominanten Farben selektiert. Dieser Prozess gliedert sich in vier Schritte. Die folgende nähere Beschreibung des Verfahren stützt sich auf die Ausführungen Moosburgers. [17]
Zuerst wird das Bild mittles Quick Shift Segmentation in farbähnliche Segmente unterteilt. Quick Shift ist mit drei Parametern anpassbar an die Vielfalt der ARTigo-Bilder und wurde daher von Moosburger experimentell als am besten geeignet identifiziert. Mit diesen Parametern können die maximale Größe eine Segments festgelegt, das Fenster für die Dichteschätzung spezifiziert und der Anteil reguliert werden, mit welcher Gewichtung zwischen Farbe und geometrischer Form eines Segments unterschieden werden soll. Erhöht man letzteren Paramter, führt das zu einer größeren Unterscheidung zwischen Farbe und Form eines Segments. Hierfür wird die zur Berechnung verwendete Distanzfunktion angepasst. Mit Anwendung der Quick Shift Segmentation ist es zudem möglich, Farbdichten im direkten Umfeld zu erkennen und somit auch kleine aber farbdichte Regionen bei der Segmentierung zu erhalten, wie Abbildung 3.1 zeigt.
Nach der Segmentierung werden die n (n=3 empfohlen) häufigsten Farbwerte eines Segments selektiert und basierend darauf der gewichtete Durchschnitt berechnet. Es ergibt sich für jedes Segment eine Durchschnittsfarbe.
Wie in Abbildung 3.1 zu sehen ist, muss die Anzahl der Segmente nochmals reduziert werden, um eine angemessene Anzahl dominanter Farben pro Bild angeben zu können. Dies wurde mit der Quantisierungsmethode K-means realisiert. K-means [19] ist einer der bekanntesten Clustering Algorithmen.
Vor dem Clustering erfolgt jedoch eine Gammakorrektur (Abbildung 3.2) der Farben, um deren Brillianz zu erhalten. Hierfür werden die HSV-Farbwerte nur auf dem S-Kanal (Sättigung) und dem V-Kanal (Leuchtkraft) angepasst, der H-Kanal (Farbton) bleibt unverändert. Nach diesem Schritt scheinen manche Farbsegmente übersättigt, das anschließende Clustering mit K-means lässt die Farben wieder natürlicher wirken.[17]
Für K-means wird K angegeben und steht für die Anzahl der Cluster. Die Durchschnittsfarbwerte der Segmente werden analysiert und einem Cluster zugeteilt. Ein Farbwert ist dann zu einem Cluster zugehörig, wenn der Farbwert zu einem Mittelpunkt eines Clusters näher ist, als zu allen anderen Cluster Mittelpunkten (im Englischen: centroid). K-means ermittelt die besten Clustermittelpunkte durch die Zuweisung der Farbwerte zu den bestehenden Mittelpunkten, oder wählt anhand der bisherigen Zuweisung aktualisierte Mittelpunkte.
Basierend auf dem Farbton-Kontrast-System nach J. Itten [15], in dem zwölf Kontrastarten

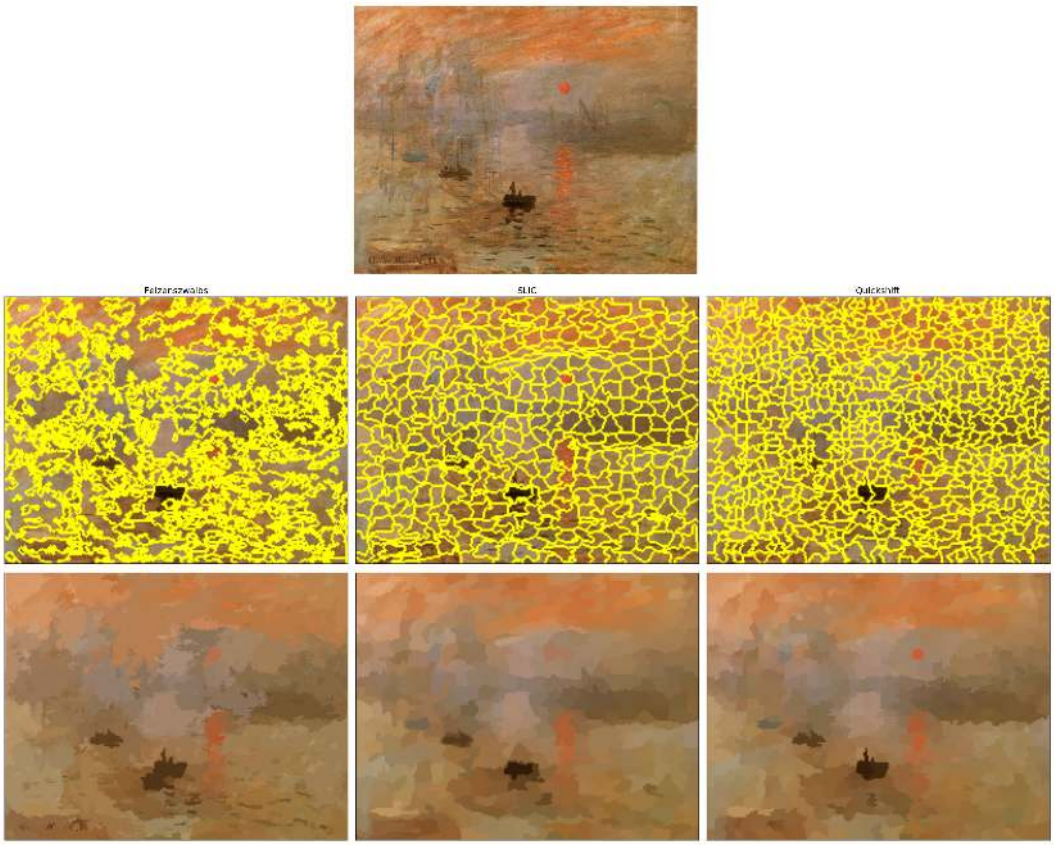

Abbildung 3.1: Vergleich von Quick Shift mit zwei weiteren Segmentierungsmethoden anhand eines Bildes mit kleinen aber wichtigen Farbdetails. Die Sonne oben rechts im Bild zeigt einen hohen Farbkontrast und eine auffallende Sättigung und sollte als eindeutiges Segment erkannt werden. Die Quick Shift Segmentierung erweist sich als die verlässlichste Methode um kontrastreiche Areale abzugrenzen. Bild: Claude Monet, „Impression. Sonnenaufgang“ („Impression. Soleil levant“), 1872 [17].

definiert werden, werden mindesten zwölf dominante Farben extrahiert. [17] Um noch ergänzende Abstufungen und den Kontrast zwischen weiß und schwarz zu berücksichtigen, wählte Moosburger ein K für K-means von 16. Es werden also zunächst 16 dominante Farben pro Bild ermittelt.
Die Verwendung von K-means bietet sich an, weil die Zuweisung der Farbwerte zu den Clustern über eine Distanzfunktion ermittelt wird. Innerhalb des CIEL*a*b Farbraums werden Farbdistanzen über die Distanzfunktion $\Delta E*_{ab}$ berechnet, diese kann in K-means integriert werden. So wird eine Einteilung der Farben erreicht, die eher auf menschlicher Wahrnehmung beruht, als auf numerischen Ähnlichkeiten der Farbwerte. [17]
Die endgültige bildspezifische Farbpalette dominater Farben entspricht der konvexen Hülle der Menge der 16 extrahierten Farben. Bildet man die 16 Farben im dreidimensionalen CIEL*a*b Farbraum ab, so liegen die Farben, welche die konvexe Hülle bilden, am weitesten voneinander entfernt und sind somit am kontrastreichsten. Das Ergebnis ist eine Palette der dominaten Farben für jedes Gemälde. Eine weitere Analyse für jeden ermittelten dominanten Farbton, wäre wenig aussagekräftig und unübersichtlich. Für weitere Zwecke werden diese Daten daher in Basisfarbgruppen eingeteilt.

Abbildung 3.2: Gammakorrekturfunktion angewandt auf ein segmentiertes Bild. Die Abbildung zeigt das Bild im Original (1), das Ergebnis nach der Segmentierung (2), das segmentierte Bild nach der Gammakorrektur (3) und die extrahierte bildspezifische Farbpalette (4) Bild: Jacques Louis David: "Das Begräbnis von Marat in der alten Kirche von Cordeliers", 1783. Diese Abbildung ist aus der Arbeit von Moosburger. [17]

3.3 Farbeinteilung

Mit Farbwerten zu arbeiten birgt die Herausforderung Millionen von Farben in greifbare und vergleichbare Werte zu übersetzen. Daher ist für die Auswertung der Farbanalyse und zur Veranschaulichung eine Einteilung der Farben in zusammengefasste Basisfarbgruppen erforderlich. Alle analysierten Farben werden einer auf menschlicher Wahrnehmung basierten Farbgruppen zugeteilt. Hier wurden drei technische Ansätze verfolgt. Diese werden im Folgenden genauer erläutert.

Farbeinteilung basierend auf RAL-Farbraum Das RAL-Farbsystem ist eine Farbeinteilung, die speziell für industrielle Zwecke etabliert wurde. Die Normierung von Farbbezeichnungen über einen vierstelligen RAL-Code ermöglicht es in unterschiedlichen Bereichen, wie zum Beispiel der Bautechnik, Farbtöne festzuhalten. RAL steht für das Deutsche Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V.. Die Abkürzung kommt vom ehemaligen Namen Reichs-Ausschuss für Lieferbedingungen. RAL wurde 1925 als unabhängige Organisation für Gütesicherung gegründet. Es ist zu bezweifeln, ob sich ein Farbeinteilungsverfahren, welches für die Normierung von Farben für Industriezwecke geschaffen wurde, eignet um menschliche Farbwahrnehmung abzubilden. Da diese Farbeinteilung jedoch bereits vorliegt, wurde der Ansatz der RAL-Farbeinteilung als erstes im Rahmen dieser Arbeit getestet.
Die Farbeinteilung der analysierten Farben basiert auf einem auf 213 Farben beschränkten RAL-Farbraum. Die zu gruppierenden Farben haben eine Farb-ID, welche jeweils einer der RAL-Farben zugeordnet ist. Die RAL-Farben sind in 10 Grundfarben eingeteilt. Da die Daten in geordneter Reihenfolge vorliegen, kann die Farbeinteilung der analysierten Farben über die abschnittsweise Gruppierung der Farb-IDs erfolgen. Abbildung 3.4 zeigt die Auswertung dieser Methode für die Farbeiteilung des Basisbildbestands.
Auffälig ist der überdurchschnittliche hohe Anteil von Farben, die als gelb oder braun klassifiziert werden. Jedoch ist bereits sichtbar, dass die allgemeine Farbigkeit der Kunstwerke im Verlauf des 19. Jahrhunderts ansteigt. Ein möglicher Grund für das häufige Vorkommen von gelb und braun ist, dass die Farben teilweise vergilbt sind, oder es sich um Papierfarbe handelt.

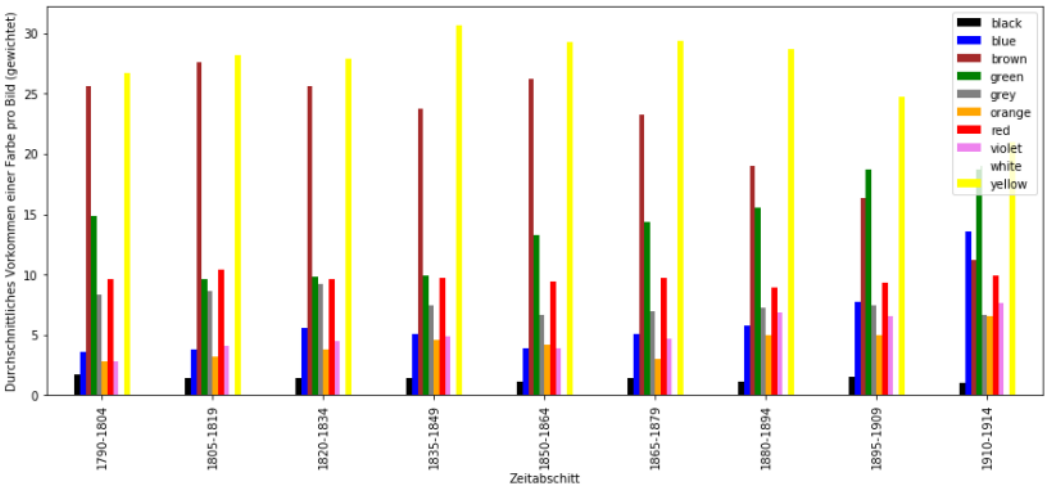

Abbildung 3.3: Aufbereiteter Basisbestand RAL Farbeinteilung.

Farbeinteilung basierend auf selbst erstellter Farbpalette über Berechnung der Farbdifferenz

Der zweite Ansatz für die Farbeinteilung basiert auf einer Farbpalette mit 28 Farben, diese wurde nach subjektivem Farbempfinden der Autorin spezifiziert und anschließend in 10 Grundfarben zusammengefasst. Die Farben wurden aus der RGB Farbpalette ausgewählt und händisch in CIEL*a*b* Farbwerte konvertiert. Die Einteilung der analysierten Farben erfolgt über die Berechnung der Farbdifferenz mittels der ΔE-Formel für den CIEL*a*b*-Farbraum (2.3.3).

Es wurden zunächst nur 10 Basisfarben nach eigenem Empfinden ausgewählt, jedoch stellte sich diese Auswahl als zu grob heraus. Die Einteilung der 28 Farben enthält daher zu jeder Basisfarbe (außer grau und schwarz) jeweils noch eine helle bzw. dunkle Farbvariante; zur Basisfarbe grün gibt es fünf Grüntöne.

Mit diesem erweiterten Referenzfarbspektrum von 28 Farben wurden folgende Ergebnisse erzielt.

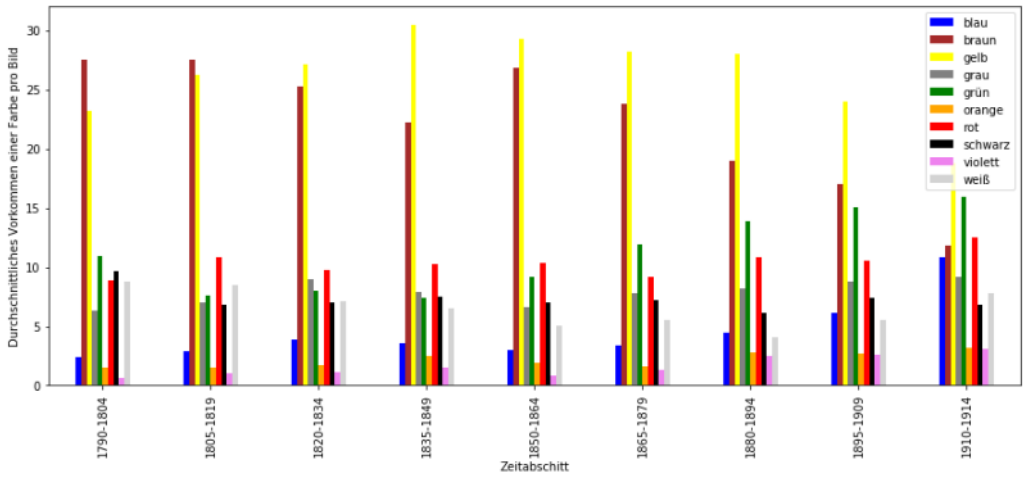

Abbildung 3.4: Aufbereiteter Basisbestand. Farbeinteilung über Berechnung des geringsten Farbabstands.

Farbeinteilung basierend auf Color Naming Model nach Jeffrey Heer und Maureen Stone

Randall Munroe, Physiker und Autor des Web Comics XKCD, hat 2010 auf der XKCD Homepage zur Teilnahme an der bisher größten Studie zur Namensgebung von Farben aufgerufen. Dabei konnten die Teilnehmer Freitext angeben. Innerhalb dieser Studie wurden von internationalen Teilnehmern während 222500 Sessions über 5 Millionen Angaben zu Farbmustern gesammelt [18]. So konnten nach dem Filtern von Spam-Angaben 132259 eindeutige Farbnamen identifiziert werden. [14] Damit ist das der größte bekannte Datensatz zum Thema Farbbenennung. [14] Jeffrey Heer und Maureen Stone von der Stanford University nehmen diesen Datensatz als Basis für die Generierung eines Color Naming Models (Modell zur Benennunug von Farben anhand von Farbwerten). Die Generierung dieses Color Naming Models wird im Folgenden zusammengefasst.

Die von Monroe erhobenen Daten werden dabei in Matrixform (color-term count matrix) betrachtet: die Farbmuster entsprechen jeweils einer Reihe, die Spalten repräsentieren die genannten Farbbezeichnungen, und die Zellen enthalten die Anzahl, wie häufig eine Farbe mit einem Farbnamen versehen wurde. Mit 132259 eindeutigen Farbnamen entsteht so eine sehr spärlich befüllte und hochdimensionale Matrix. Um besser mit dieser Matrix arbeiten zu können, wird sie modifiziert. Der erste Schritt ist,

die Matrix kompakter zu gestalten. Um die Anzahl der Farben zu reduzieren, werden die Farben innerhalb eines Farbraumes gruppiert. Hier wurde der CIE L*a*b* Farbraum gewählt, spezieller der CIEDE2000 Standard, dieser entspricht dem Farbempfinden des Menschen am ehesten [23].
Die Farben werden so zu Einheiten zusammengefasst, dass der Radius der Einheit ungefähr einer Just Noticeable Difference JND [22] (ein gerade bemerkbarer Farbunterschied) entspricht. Somit reduziert sich die Anzahl der Farben von 2,3 Millionen auf 8325. [14] Nach einer Vorfilterung der Farbbezeichnungen nach offensichtlichen Falschschreibungen wird eine zweifache Dimensionsreduktion vorgenommen. Hierfür werden die Reihen (Farbwerte) gruppiert, und nur die Farbbezeichnungen (Spalten) selektiert, welche die meiste Information tragen. Wie informativ ein Farbname ist, wird über die Frobeniusnorm bestimmt.
Die Frobeniusnorm entspricht der Gesamtinformation der Matrix. Der Informationsgehalt der Spalten wird über die Summe der Quadrate der einzelnen Spaltenelemente berechnet. Die Spalten mit dem geringsten Informationsgehalt werden von der Gesamtinformation abgezogen bis noch 95% der Gesamtinformation erhalten bleibt, so ergibt sich ein angemessenes Set von 179 Farbnamen [14].
Mit der stark reduzierten color-term count matrix T lässt sich die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Farben und Farbnamen modellieren. Im Folgenden wird hier die bedingte Wahrscheinlichkeit $p(W|c)$ relevant, wobei W der Menge der Farbnamen entspricht und c ein gegebener Farbwert ist:

$$p(w|c) = T_{c,w} / \sum_w T_{c,w}$$

Diese Verteilung entspricht der Wahrscheinlichkeit eines Farbnamens w aus W für einen gegebene Farbwert c. c und w entsprechend außerdem den Indizes der color-term count matrix T.
Ist p(W | c) gegeben, so lässt sich für jeden Farbwert die sogenannte **color saliency** (Herausragen einer Farbe) berechnen. Die color saliency enspricht dem Grad, bis zu dem eine Farbe eindeutig benannt wird, bedingt durch den Informationsgehalt von p(W | c). Das heißt, wurde einem Farbwert von allen Befragten nur ein identischer Farbname zugeteilt, so gibt es keine Zufälligkeit und p(W | c) hat einen Informationsgehalt von Null. Wurden für einen Farbwert jedoch mehrere Farbangaben gemacht, so erhöht sich der Informationsgehalt von p(W | c). Somit entspricht die color saliency dem negativen Informatinsgehalt H von p(W | c).

$$Saliency(c) = -H(p(W|c)) = \sum_w p(w|c) log p(w|c)$$

Für die Auswertung der analysierten Farben wird im Folgenden die Farbeinteilung mithilfe des Color Naming Models nach J. Heer et al. verwendet. Diese wurde gewählt, weil sie der menschlichen Wahrnehmung am ehesten entspricht und der damit einhergehenden Einteilung in Basisfarbgruppen. Abbildung 3.5 zeigt die Auswertung des durchschnittlichen Vorkommens einer Farbe pro Bild, mit der Farbeinteilung nach dem Color Naming Model nach Heer et al..

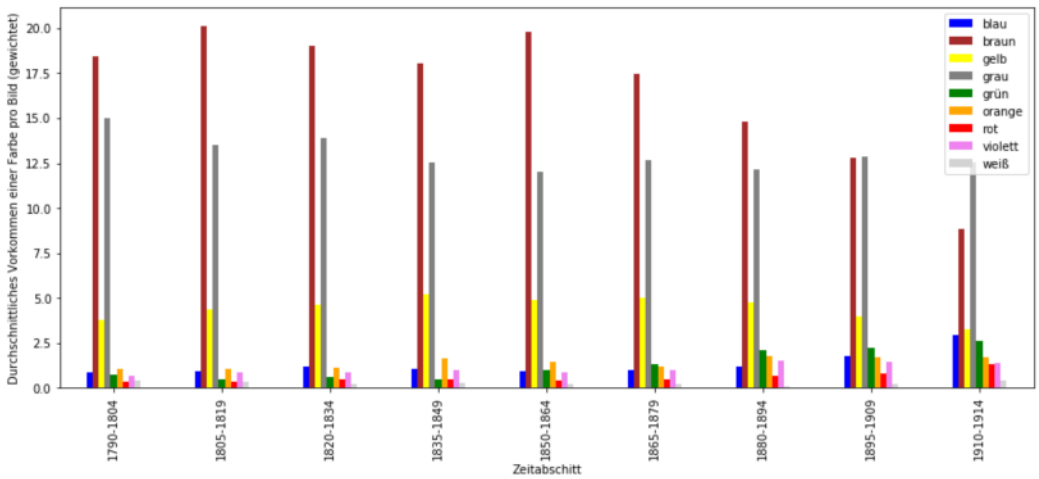

Abbildung 3.5: Tabellarische Auswertung der Farbverwendung für den Basisbildbestand unter Berücksichtigung der saliency einer Farbe.

KAPITEL 4

Statistische Analyse der Veränderung in der Farbverwendung

Der Basisbildbestand von 5577 Bildern wurde für die statistische Analyse weiter aufbereitet. Basierend auf den Informationen von Burmester et al. [12], wurden Thesen für die Entwicklung der Farbgebung während des Langen 19. Jahrhunderts aufgestellt. Diese Thesen wurden mittels einer statistischen und graphischen Analyse untersucht. Da sich zu den Farbtönen Blau, Grün und Gelb genauere Informationen über Erfindungszeiträume und die Verwendung finden ließen (siehe Kapitel 2.2), wurde deren Verwendung hier genauer betrachtet. Im Zusammenhang mit der Erfindung von reinen Grüntönen, ist es außerdem interessant, die Auswirkungen auf Landschaftsbilder zu untersuchen. Desweiteren wird die Veränderung der Farbsättigung und der Farbgebung der Bilder für die Kunstepochen Klassizismus, Romantik, Realismus, Impressionismus und Moderne ausgewertet.
Hierzu wurde die Visualisierungssoftware ImagePlot [7] verwendet. ImagePlot wurde entwickelt von der Software Studies Initiative mit Unterstützung der National Endowment for Humanities, des California Institute for Telecommunications and Information Technology und des Center for Research in Computing and the Arts. Mithilfe dieser kostenlosen Software können große Bilder-Datensätze analysiert werden. Dieses Tool ist ein gutes Beispiel dafür, wie Dataneanlysetechniken aus dem informationstechnischen Bereich auch fachfremde Wissenschaftszweige, wie die Geisteswissenschaften, hier im Besonderen die Kunstwissenschaften bereichern können. Die Bilder können auf beliebige Merkmale hin untersucht werden. Da die Auswertung in Form eines zweidimensionalen Graphen erfolgt, macht es Sinn, jeweils nur zwei Merkmale bei der Analyse zu betrachten. Die Auswertungsgraphen zeigen die betreffenden Bilder direkt als Thumbnails in beliebiger Größe, statt einfacher Graphenpunkte.
Da der Schwerpunkt dieser Arbeit die Veränderung der Farbverwendung über die Zeit ist, müssen für eine Auswertung das Entstehungsjahr der Gemälde mit der Farbigkeit der Bilder in Verbindung gebracht werden. Um die Farbigkeit eines Bildes messbar zu machen, wurde als Kennzahl hierfür die durchschnittliche Farbsättigung eines Bildes gewählt. Um diese zu berechnen, wurden die zu den Bildern jeweils bereits verfügbaren, dominanten Farben im CIEL*a*b* Farbformat mithilfe des Python Moduls colormath in das HSV-Format konvertiert. Über die Sättigungswerte (S-Werte), der dominanten Farben und die Anzahl dominanter Farben pro Bild, wurde die durchschnittliche Farbsättigung eines Gemäldes ermittelt.
Für die Untersuchug der Thesen wurden durch Filtern des Basisbildbestands ausgewählte Bilder-Datensätze generiert. Im Folgenden werden die Ergebnisse der visuellen und stati-

stischen Analyse präsentiert und erläutert. Da hier bis zu 5577 Bilder ausgewertet wurden, war es für eine übersichtliche Visualisierung nötig, die Graphen ausreichend groß zu dimensionieren. Sie wurden daher mit einer Größe von 12000px x 5000px generiert. Diese Arbeit inkludiert einen USB-Datenträger, auf diesem befinden sich die Graphen in voller Größe. Für alle ImagePlot-Graphen beschreibt die x-Achse das Entstehungsjahr und die y-Achse die durchschnittliche Farbsättigung der dominanten Farben eines Bildes.
Für die statistische Auswertung der Veränderung der durchschnittlichen Farbsättigung im Verlauf, wurde die durchschnittliche Farbsättigung pro Zeitabschnitt berechnet. Der Zeitraum des Langen 19. Jahrhunderts von 1790 bis 1914 wurde in vier gleich große Zeitperioden unterteilt. (Die genaue Einteilung findet sich in Tabelle 4.1.)

Erster Zeitabschnitt:	1790 - 1821
Zweiter Zeitabschnitt:	1822 - 1852
Dritter Zeitabschnitt:	1853 - 1883
Vierter Zeitabschnitt:	1884 - 1914

Tabelle 4.1: Einteilung des Langen 19. Hahrhunderts in vier Zeitabschnitte.

Für die Berechnung wurde die durchschnittliche Farbsättigung der Bilder pro Abschnitt aufsummiert und durch die Anzahl der Bilder innerhalb des selben Zeitraums geteilt.
Außerdem wurde die Farbgebung der selektierten Bilder näher untersucht. Für jeden selektierten Bildbestand wurden zwei Auswertungen durchgeführt. Alle Bilder wurden auf ihre dominanten Farben untersucht. Hier wurde zum einen für die **ungewichtete Auswertung** das Vorkommen einer dominanten Farbe pro Bild mit eins gewertet. Zum anderen wurde für die **gewichtete Auswertung** das Vorkommen einer Farbe mit ihrem saliency-Wert gewertet. Das heißt für die gewichtete Auswertung wurde berücksichtigt, wie eindeutig sich eine Farbe einer Farbgruppe zuteilen lässt. Je eindeutiger die Zuteilung, desto höher der saliency-Wert, dieser bewegt sich zwischen null und eins. Ein Beispiel zum Verständnis: Ein königsblauer Farbton, der von den meisten Befragten zur Farbgruppe Blau zugeteilt wird, wird demnach stärker gewichtet als ein Grünblau, das teils der Farbgruppe Grün, teils zur Farbgruppe Blau zugeordnet wird. Das heißt, fallen die Werte für die gewichtete Auswertung geringer aus, als die Werte der ungewichteten Auswertung, so waren die saliency-Werte der dominanten Farben niedrig und eine Zuteilung zu einer Farbgruppe somit weniger eindeutig. Sind die gewichteten Ergebniswerte jedoch ähnlich hoch, so konnten die untersuchten Farben eindeutiger Farbgruppen zugeordnet werden.
Für die Auswertung der Farbverwendung wurde für alle selektierten Bilder das durchschnittliche Vorkommen einer Farbe pro Bild berechnet, in Abhängigkeit von der Anzahl an Bildern im entsprechenden Zeitabschnitt. Das Einteilen der Farben in Farbgruppen erfolgte mithilfe des Color naming Models nach Heer et al. (siehe Kapitel 3.3). Es wurden, wenn nicht anders angegeben, Zeitintervalle von 15 Jahren gewählt, um den Verlauf in der Verwendung der Farben angemessen darzustellen. Für eine bessere Lesbarkeit wurde in den entsprechenden Tabellen zur Farbverwendung nur das Startjahr einer Zeitperiode angegeben. Weiter wurde die tabellarische Auswertung graphisch visualisiert, jeweils gewichtet und ungewichtet. Hier entspricht die x-Achse einem Zeitintervall wie angegeben. Die y-Achse entspricht dem durchschnittlichen Vorkommen einer Farbe pro Bild, wobei „Farbe“ hier für eine Farbgruppe steht. Für jeden selektierten Datensatz wurde das höchste durchschnittliche Vorkommen für Braun und Grau beobachtet. Daher wurden diese beiden Farben für eine zusätzliche graphische Auswertung ausgeklammert, um den Verlauf der Verwendung anderer Farben besser zu veranschaulichen.

4.1 Auswertung des Basisbildbestands

Erster Schritt war die Analyse des Basisbildbestands. Die Auswertung ergab, dass im ARTigo-Basisbildbestand 28% mehr Bilder aus der zweiten Hälfte des Langen 19. Jahrhunderts vorhanden sind, als aus der ersten Hälfte des selben Zeitraums (Tabelle 4.2). Die meisten verfügbaren Bilder für die Analyse wurden im vierten Zeitraum angefertigt, wobei der Anteil am Gesamtbestand hier knapp 35% beträgt, wie Tabelle 4.3 zeigt. Die größere Datenmenge, welche für die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts vorliegt, erhöht die Aussagekraft aller folgenden Auswertungen für diesen Zeitraum, im Vergleich zu den Auswertungen für die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts. Für letzteren Zeitabschnitt liegen nur 1997 Bilder für die Analyse vor.

	Anzahl Bilder:	Anteil am Gesamtbildbestand:
Gesamt:	5577	100%
Erste Hälfte des 19. Jahrhunderts 1790 - 1848:	1997	36%
Zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts 1848 - 1914:	3580	64%
Differenz:	1583	28%

Tabelle 4.2: Auswertung der Anzahl der Bilder im ARTigo-Bildbestand gesamt und für die erste und zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts.

	Anzahl Bilder:	Anteil am Gesamtbildbestand:
Erster Zeitraum des 19. Jahrhunderts:	840	15%
Zweiter Zeitraum des 19. Jahrhunderts:	1272	23%
Dritter Zeitraum des 19. Jahrhunderts:	1531	27%
Vierter Zeitraum des 19. Jahrhunderts:	1934	35%

Tabelle 4.3: Auswertung der Anzahl der Bilder im ARTigo-Bildbestand für den gesamten Zeitraum.

Die durchschnittliche höchste Farbsättigung mit 38,9% findet sich ebenfalls im vierten Zeitraum (Tabelle 4.4). Die durchschnittliche Farbsättigung im zweiten und dritten Zeitraum ist nahezu gleich mit 37,5% und 37,6%. Die geringste durschnittliche Farbsättigung zeigt sich im ersten Zeitraum mit 35,1%.
Über den gesamten Zeitraum ist hier also ein Anstieg der durchschnittlichen Farbsättigung um 3,8% zu beobachten. Da angenommen wurde, dass mit der Weiterentwicklung der Wissenschaft die Farben immer farbechter und langlebiger gemacht werden konnten, war hier eine Steigerung zu erwarten.

	Durchschnittliche Farbsättigung:
Erster Zeitraum des 19. Jahrhunderts:	35,1%
Zweiter Zeitraum des 19. Jahrhunderts:	37,5%
Dritter Zeitraum des 19. Jahrhunderts:	37,6%
Vierter Zeitraum des 19. Jahrhunderts:	38,9%

Tabelle 4.4: Auswertung der durchschnittlichen Farbsättigung der Bilder im ARTigo-Bildbestand für den gesamten Zeitraum.

Abbildung 4.1 zeigt die von ImagePlot generierte Visualisierung des Basisbildbestands für den gesamten analysierten Zeitraum von 1790 bis 1914. Hier ist gut zu sehen, dass die durchschnittliche Farbsättigung der einzelnen Bilder am Anfang des Jahrhunderts geringer ist, als gegen Ende. Die Aussage Burmesters et. al, dass anfangs weniger intensive Farben vorhanden waren und stattdessen eher dumpfe und fade Töne verwendet wurden, sowie Mischtöne daraus, wird durch dieses Ergebnis unterstützt. [12].
Außerdem sind ältere Bilder stärker vom Verfall betroffen. Durch den damaligen Mangel an Möglichkeiten zur Haltbarmachung von Farben, war das Ausbleichen und Vergilben von Gemälden unaufhaltbar. Früher mussten Farben teilweise angemischt werden, ein Ausbleichen solcher Mischtöne kann in Grautönen resultieren. Dies ist bei der Auswertung der Farbverwendung durchaus zu berücksichtigen, denn das größte Vorkommen wurde für die Farben Braun, Grau und Gelb verzeichnet. Die Tabellen 4.2 und 4.3 zeigen die gewichtete und und ungewichtete Auswertung der Farbverwendung für den Basisbildbestand. Die graphischen Auswertungen 4.4 und 4.5 zeigen, dass ab 1865 das Vorkommen von Braun stetig sinkt, was dafür sprechen könnte, dass durch neu entwickelte Techniken das Ausbleichen reduziert werden konnte. Ab 1880 ist auch ein Rückgang der Verwendung von Gelb zu erkennen, welcher auf eine Reduzierung von Vergilbung hindeutet. Außerdem sind die Bilder aus der späteren Zeit des 19. Jahrhunderts noch besser erhalten. Die Tabellen beschreiben zusätzlich die Minima und Maxima der Farbverwendung für jede Farbgruppe. Hier wurde erwartet, dass für alle Farben außer Braun, Grau und Gelb das Minimum zeitlich vor dem Maximum liegt, da vermutet wird, dass die Weiterentwicklung der Farbherstellungstechnik für jede Farbe eine Verbesserung erreichen konnte. Für die Farbgruppen Blau und Grün stützt sich diese Annahme auf Burmesters et al. Ausführungen [12].
Tatsächlich wird dies mithilfe der tabellarischen Auswertung weitgehend bestätigt. Die Verwendung von Weiß bildet hier eine Ausnahme, hier wurden weiße Farbtöne laut Auswertung zwischen 1880 und 1894 am wenigsten und zwischen 1790 und 1804 am häufigsten verwendet . Zu Beginn und Anfang des 19. Jahrhunderts ist das Vorkommen von Weiß nahezu gleich groß. In den Abbildungen 4.6 und 4.7 lässt sich das Vorkommen bunter Farben besser ablesen. In beiden Graphen wird veranschaulicht, dass das Vorkommen der meisten Farben über die Zeit ansteigt. Aufgrund dieser Auswertungen kann man feststellen, dass zumindest für den untersuchten Bildbestand gilt, dass für die Anfertigung von Gemälden im Verlauf des 19. Jahrhunderts mehr Farben verwendet wurden und die Bilder dementsprechend bunter wurden.
Die Bilder mit der höchsten durchschnittlichen Farbsättigung im gesamten Basisbildbestand zeigt Abbildung 4.8.

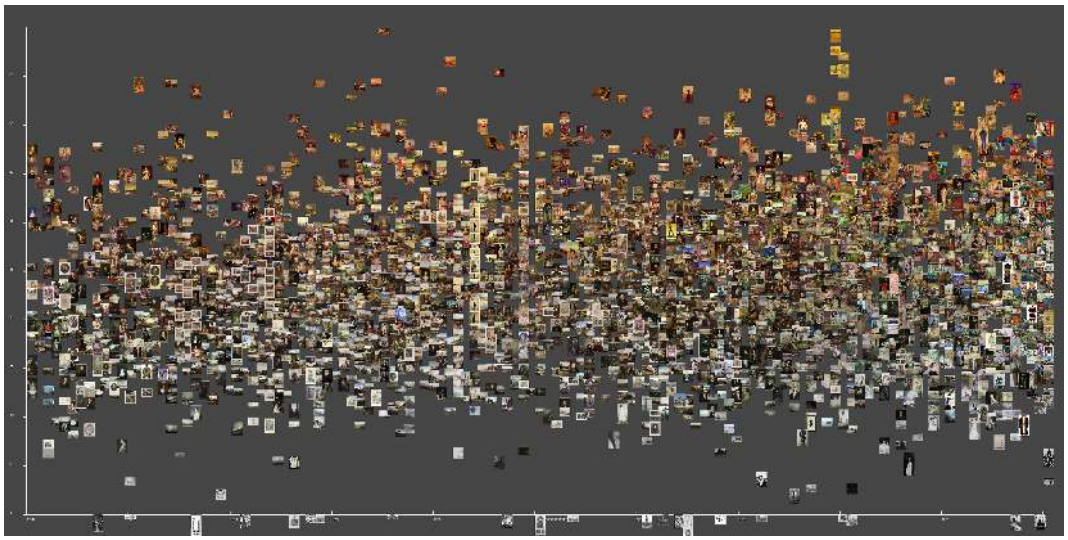

Abbildung 4.1: Aufbereiteter Basisbestand ohne weitere Einschränkungen.

	1790	1805	1820	1835	1850	1865	1880	1895	1910	Minimum in	Maximum in
blau	0.870661	0.942392	1.169271	1.045020	0.944198	1.024220	1.200460	1.777583	2.956187	1790	1910
braun	18.465157	20.137893	19.017007	18.032843	19.832874	17.480214	14.822560	12.817957	8.835397	1910	1805
gelb	3.767429	4.403323	4.605809	5.232063	4.858961	5.005936	4.787770	4.012020	3.279186	1910	1835
grau	14.992261	13.493778	13.915090	12.529697	12.034075	12.670336	12.178555	12.867694	12.532029	1850	1790
grün	0.761969	0.481845	0.583972	0.493823	1.020834	1.319428	2.090562	2.243266	2.614942	1805	1910
orange	1.039521	1.063716	1.110981	1.622438	1.429323	1.217627	1.805574	1.727552	1.721869	1790	1880
rot	0.362590	0.351704	0.465753	0.491411	0.406733	0.483230	0.694139	0.785589	1.313804	1805	1910
violett	0.677619	0.849773	0.885948	0.992518	0.881200	0.981013	1.512531	1.426978	1.379289	1790	1880
weiß	0.395750	0.332198	0.221411	0.256795	0.249697	0.202436	0.078358	0.224455	0.389663	1880	1790

Abbildung 4.2: Tabellarische Auswertung der Farbverwendung für den Basisbildbestand (gewichtet).

	1790	1805	1820	1835	1850	1865	1880	1895	1910	Minimum in	Maximum in
blau	3.886693	3.448276	4.132469	4.190445	3.836971	4.436667	4.959160	7.534611	11.807889	1805	1910
braun	35.770751	38.998888	36.760259	35.414968	38.574352	34.296681	29.900817	26.291267	19.372900	1910	1805
gelb	11.660079	13.526140	14.053276	16.093266	14.972715	15.217882	14.867756	12.539936	10.688068	1910	1835
grau	36.660079	32.814238	33.117351	30.180988	28.751705	31.045383	29.618825	31.722577	32.910290	1850	1790
grün	2.404480	1.401557	1.684665	1.500082	2.864939	3.680289	5.357837	5.937167	6.905562	1805	1910
orange	3.689065	3.781980	4.074874	5.690527	5.115962	4.481824	6.330222	6.110224	5.997263	1790	1880
rot	1.910408	1.824249	2.361411	2.527311	1.875853	2.573944	3.510307	4.166667	5.947493	1805	1910
violett	2.437418	2.892102	2.937365	3.375183	3.001364	3.454504	5.143913	4.792332	4.802787	1790	1880
weiß	1.581028	1.312570	0.878330	1.027230	1.006139	0.812825	0.311163	0.905218	1.567749	1880	1790

Abbildung 4.3: Tabellarische Auswertung der Farbverwendung für den Basisbildbestand (ungewichtet).

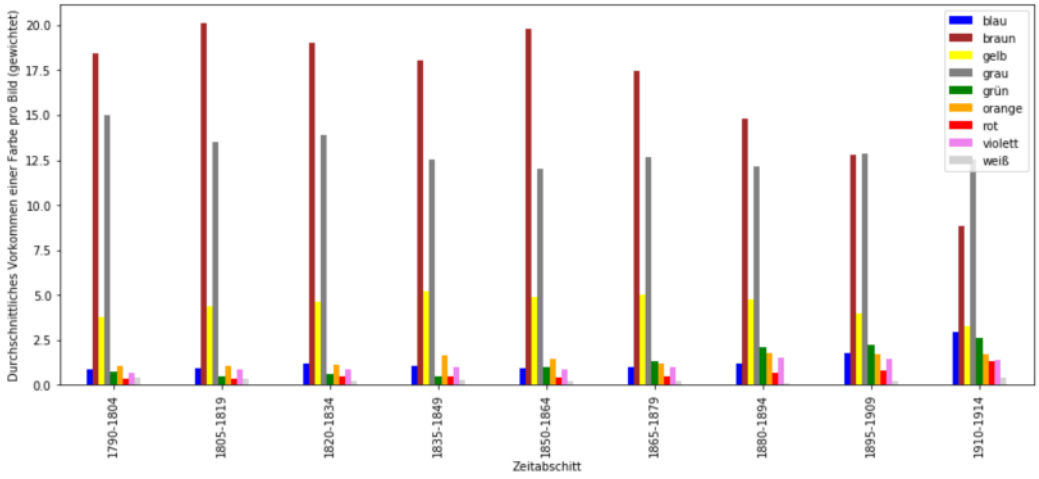

Abbildung 4.4: Graphische Auswertung der Farbverwendung für den Basisbildbestand (gewichtet).

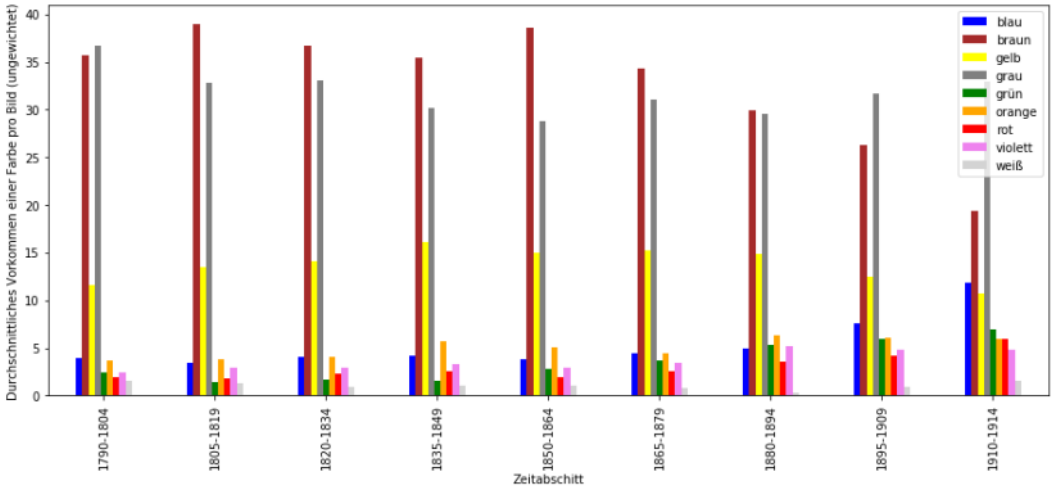

Abbildung 4.5: Graphische Auswertung der Farbverwendung für den Basisbildbestand (ungewichtet).

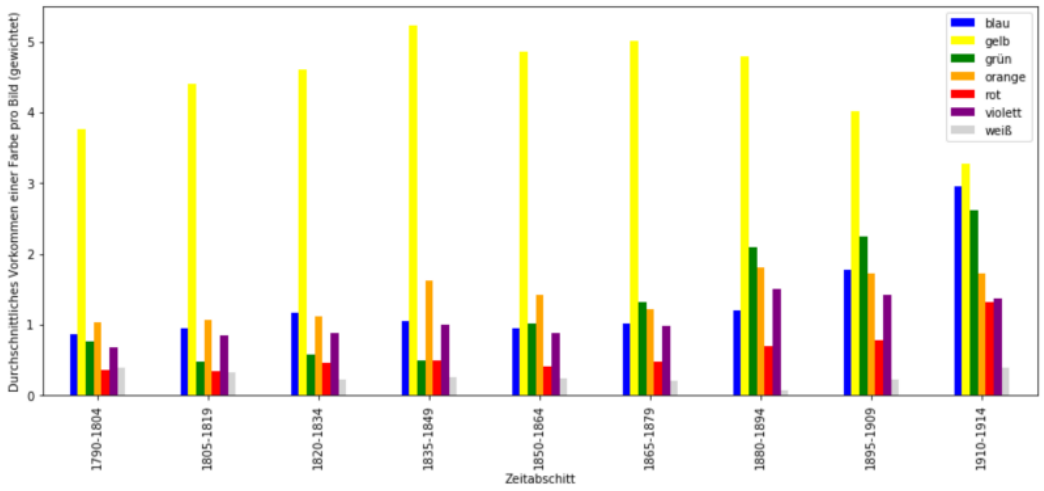

Abbildung 4.6: Graphische Auswertung der Farbverwendung für den Basisbildbestand (gewichtet und ohne Berücksichtigung der Farben Braun und Grau).

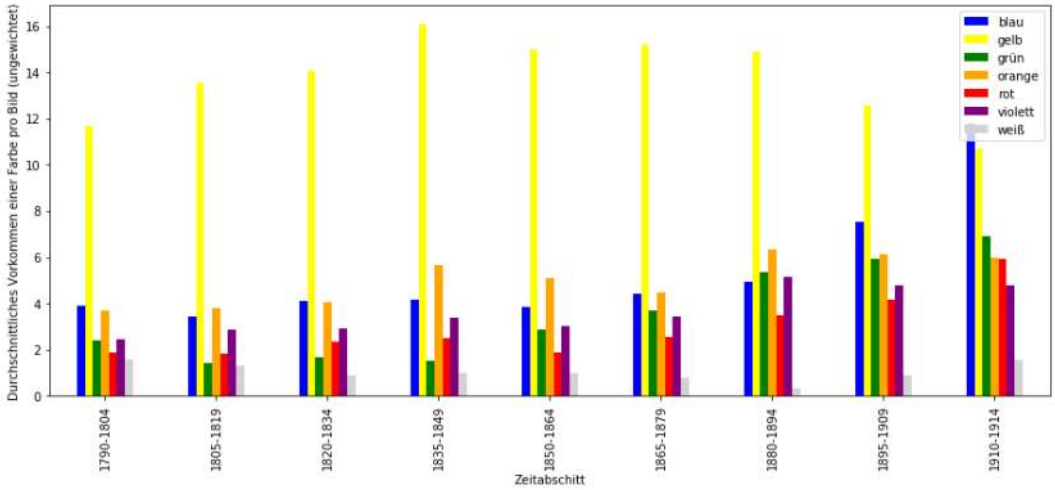

Abbildung 4.7: Graphische Auswertung der Farbverwendung für den Basisbildbestand (ungewichtet und ohne Berücksichtigung der Farben Braun und Grau).

4.2 Auswertung von Landschaftsbildern

Eine These, die sich auf die Ausführungen von Burmester et al. stützt, ist dass in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts Künstler vermehrt Landschaftsbilder malten. Hierfür müsste die Erfindung der Tube (1841) ausschlaggebend gewesen sein, so hätte man die Farbe auf praktische Weise transportieren können. Außerdem wären dank neu erfundener Herstellungstechniken schnelltrocknende Farben verfügbar. So konnten die Künstler ihre Werke sogar draußen vollenden, statt im Freien nur Entwürfe anzulegen und ihre Gemälde im Atelier fertigzustellen. [9] Besonders die vermehrte Verwendung von grünen Farben in

(a) Alexandre Gabriel Decamps, Un corps de garde turc sur la route de Smyrne à Magnésie, 1833

(b) Vincent van Gogh, Weizenfeld mit Blick auf Arles, 1888

(c) Vincent van Gogh, Stilleben mit Apfelkorb, 1888

Abbildung 4.8: Bilder mit der höchsten durchschnittlichen Farbsättigung im gesamten Basisbildbestand.

diesem Zusammenhang ist hier interessant. Analysiert wurde der Basisbildbestand eingeschränkt auf den Tag „Landschaft“.
Die Auswertung zeigt, dass im ersten und zweiten Zeitabschnitt 1457 Bilder und im dritten und vierten Zeitabschnitt 1626 Bilder entstanden sind (Tabelle 4.5). Ab dem zweiten Zeitabschnitt finden sich wesentlich mehr Landschaftsbilder im untersuchten Datenset als zuvor. Der Sprung deckt sich mit Erfindung der Tube 1841 im zweiten Zeitabschnitt. Zudem wurde 1830 die Schule von Barbizon von Théodore Rousseau gegründet, eine Gruppe von Künstlern, welche die Landschaftsmalerei maßgeblich beeinflussten. Landschaftsbilder hatten auch während des Impressionismus eine große Bedeutung. Abbildung 4.9 zeigt die Visualisierung der Landschaftsbilder für den Zeitabschnitt von 1790 bis 1914. Die Bilder mit der größten durchschnittlichen Farbsättigung finden sich hier ab ca. 1800 über den gesamten Zeitabschnitt verteilt. Die Bilder, die im letzten Zeitabschnitt entstanden sind, weisen großteils eine Sättigung von über 30% auf und wirken auf den Betrachter in der Übersicht bunt und farbintensiv. Für das erste Jahrzent des ausgewerteten Zeitraums finden sich im Verhältnis weniger Bilder mit einer durchschnittlichen Farbsättigung von über 30%. Dies bestätigt wieder die Angaben Burmesters et al. bezüglich der weniger intensiven

Farbgebung zu Beginn des 19. Jahrhunderts, wie im Auswertungskapitel 4.1 des Basisbildbestands beschrieben.
Die durschnittliche Farbsättigung ist analog zum Basisbildbestand im vierten Zeitabschnitt mit 38,0% am größten und im ersten Zeitabschnitt am geringsten mit 34,6% (Tabelle 4.6). Es lässt sich also auch hier die Erhöhung der durschschnittlichen Farbsättigung über die Zeit beobachten.

	Anzahl Bilder:	Anteil am Gesamtbildbestand:
Anzahl Bilder gesamt:	3083	100%
Erster Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	559	18%
Zweiter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	898	29%
Dritter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	793	26%
Vierter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	833	27%

Tabelle 4.5: Auswertung der Anzahl der Bilder im ARTigo-Bildbestand mit dem Schlagwort „Landschaft“ für alle Zeitabschnitte.

	Durchschnittliche Farbsättigung:
Erster Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	34,6%
Zweiter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	37,0%
Dritter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	37,1%
Vierter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	38,0%

Tabelle 4.6: Auswertung der durchschnittlichen Farbsättigung der Bilder im ARTigo-Bildbestand mit dem Schlagwort „Landschaft“ für alle Zeitabschnitte.

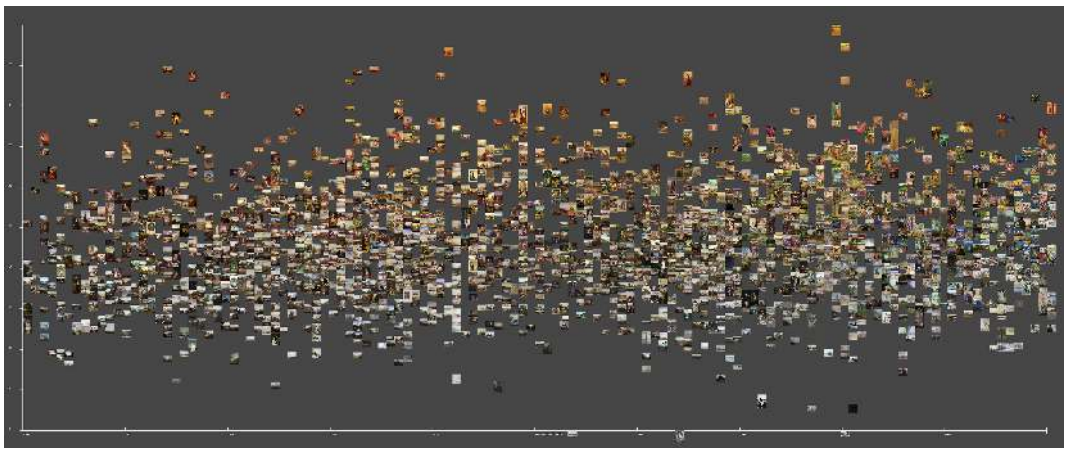

Abbildung 4.9: Aufbereiteter Basisbestand gefiltert nach dem Schlagwort „Landschaft“.

Für die Farbverwendung lässt sich feststellen, dass das Vorkommen von Braun, Grau und Gelb analog zum Basisbildbestand ist (Abbildungen 4.10, 4.11, 4.12 und 4.13). Außerdem lässt sich auch hier der Anstieg der Verwendung bunter Farben erkennen. Besonders Grün erfährt ab 1835 einen starken Aufschwung. Mit der in Mode geratenen Landschaftsmalerei war ein Anstieg der Verwendung von grünen Farbtönen zu erwarten. Zudem wurde 1822 Schweinfurter Grün erfunden, der erste farbintensive reine Grünton und bald dar-

auf folgten weitere. Auch das durchschnittliche Vorkommen von Blau steigt gegen Ende des Auswertungszeitraums stark an. Da Landschaftsbilder auch meist Wasser und Himmel abbilden, war auch die vermehrte Verwendung von Blau anzunehmen. Hier zeigt der Vergleich der ungewichteten und gewichtete Auswertung ohne die Berücksichtigung der Farben Braun und Grau (Abbildungen 4.14 und 4.15), dass besonders die Blautöne keinen besonders hohen saliency-Wert haben, was darauf schließen lässt, dass die Blautöne vor allem für Mischfarben verwendet wurden.
Unter den Bildern mit dem Schlagwort „Landschaft“ findet sich auf Platz eins der Bilder mit der höchsten durchschnittlichen Farbsättigung Vincent van Goghs Weizenfeld mit Blick auf Arles (1888) (Abbildung 4.8(b)). Abbildung 4.16 zeigt die Bilder mit der nächst höheren durchschnittlichen Farbsättigung.

	1790	1805	1820	1835	1850	1865	1880	1895	1910	Minimum in	Maximum in
blau	1.141422	0.901490	1.273455	1.064582	0.900499	1.129930	1.266422	1.971431	3.616577	1850	1910
braun	18.153818	19.552763	18.900468	18.112727	19.552000	17.698112	13.991790	11.706000	7.243039	1910	1805
gelb	3.750096	4.231025	4.816245	5.088831	4.882237	5.057531	4.771126	3.887942	3.427059	1910	1835
grau	15.642739	14.629672	14.166641	13.146324	12.839065	12.919294	12.682335	13.444140	12.245731	1910	1790
grün	0.845994	0.568513	0.575435	0.450219	1.376857	1.610303	2.582175	2.993742	3.778676	1835	1910
orange	0.878438	0.949008	0.958118	1.436373	1.236264	0.928819	1.583068	1.417220	1.484613	1790	1880
rot	0.254067	0.327877	0.424836	0.468902	0.358577	0.410645	0.611115	0.708007	1.012761	1790	1910
violett	0.685770	0.878699	0.871141	1.021612	0.693986	0.686174	1.522341	1.529997	1.536128	1790	1910
weiß	0.305307	0.283604	0.178578	0.277192	0.158521	0.185010	0.095305	0.287722	0.179843	1880	1790

Abbildung 4.10: Tabellarische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Landschaft“ (gewichtet).

	1790	1805	1820	1835	1850	1865	1880	1895	1910	Minimum in	Maximum in
blau	5.108359	3.651427	4.561201	4.518145	4.040682	5.217019	5.556616	8.189529	14.407295	1805	1910
braun	34.623323	37.833691	36.277906	35.207883	37.465640	34.274107	27.993126	23.778883	16.291793	1910	1805
gelb	11.455108	12.948757	14.588145	15.693343	15.035734	15.437246	15.065877	12.255045	11.671733	1790	1835
grau	38.183695	34.795950	33.814473	31.170392	30.538758	31.686979	30.838266	32.904358	32.036474	1850	1790
grün	2.683179	1.656950	1.635874	1.369863	3.848268	4.383152	6.549551	7.838549	9.969605	1835	1910
orange	2.941176	3.313900	3.521940	5.263158	4.535459	3.570665	5.499332	5.118456	5.227964	1790	1880
rot	1.289990	1.687634	2.001540	2.283105	1.511820	2.180885	2.902425	3.743785	4.498480	1790	1910
violett	2.476780	2.976373	2.886836	3.388609	2.391424	2.501604	5.212908	5.001462	5.167173	1850	1880
weiß	1.238390	1.135318	0.712086	1.105503	0.632216	0.748343	0.381898	1.169933	0.729483	1880	1790

Abbildung 4.11: Tabellarische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Landschaft“ (ungewichtet).

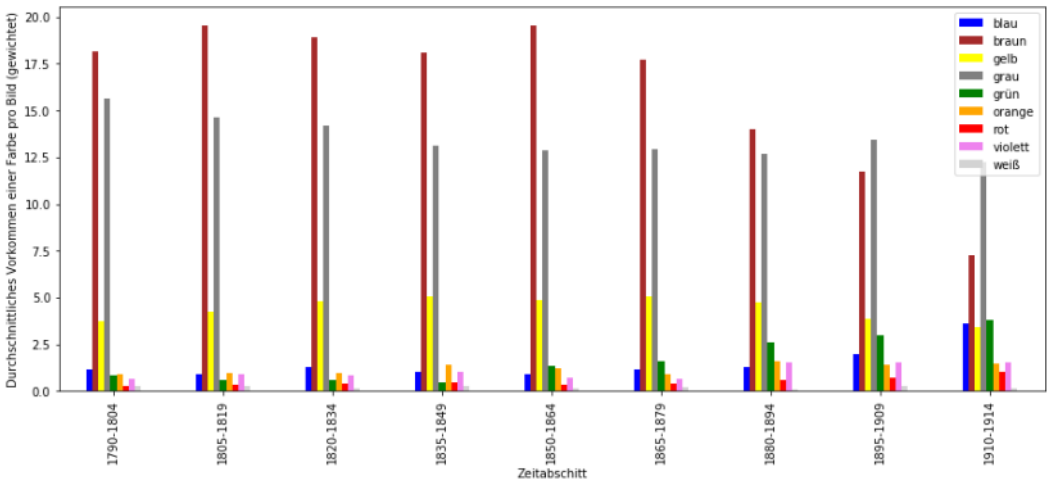

Abbildung 4.12: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Landschaft“ (gewichtet).

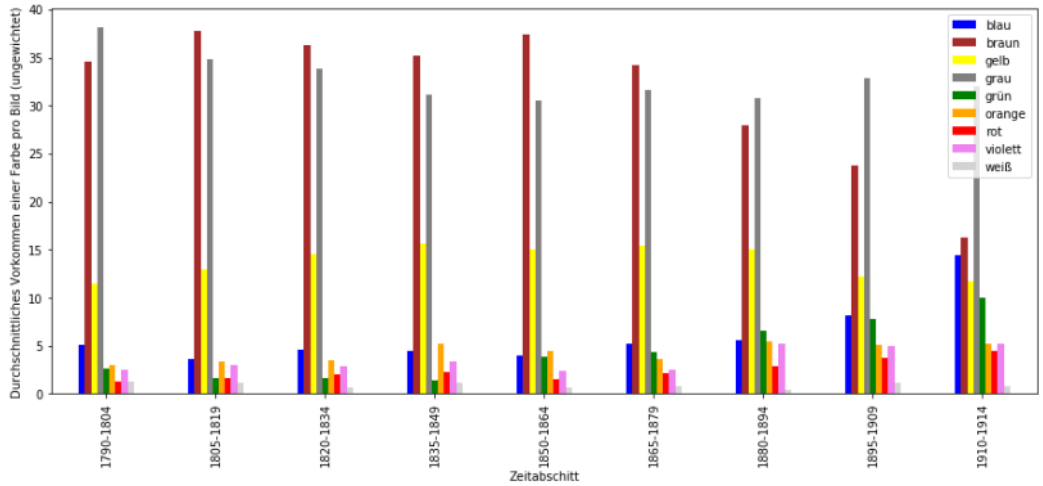

Abbildung 4.13: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Landschaft“ (ungewichtet).

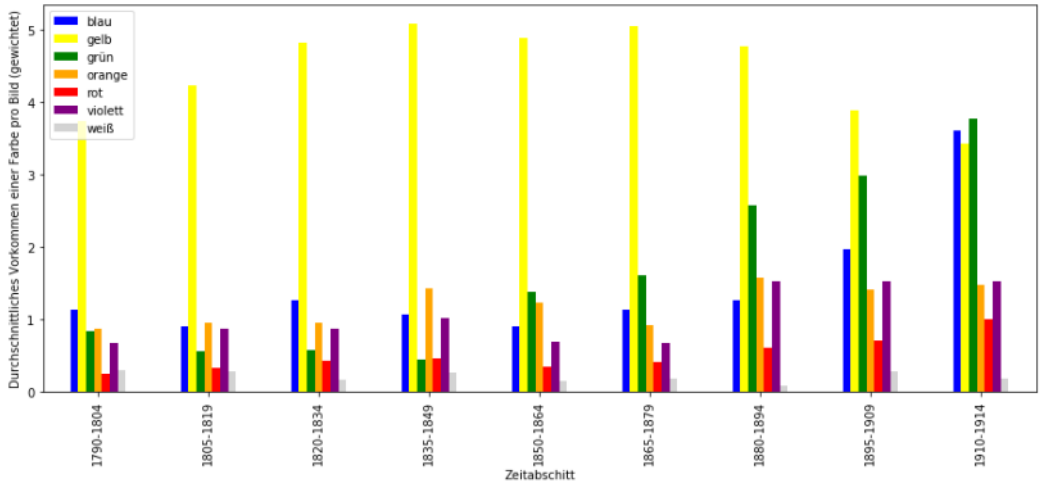

Abbildung 4.14: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Landschaft“ (gewichtet und ohne Berücksichtigung der Farben Braun und Grau).

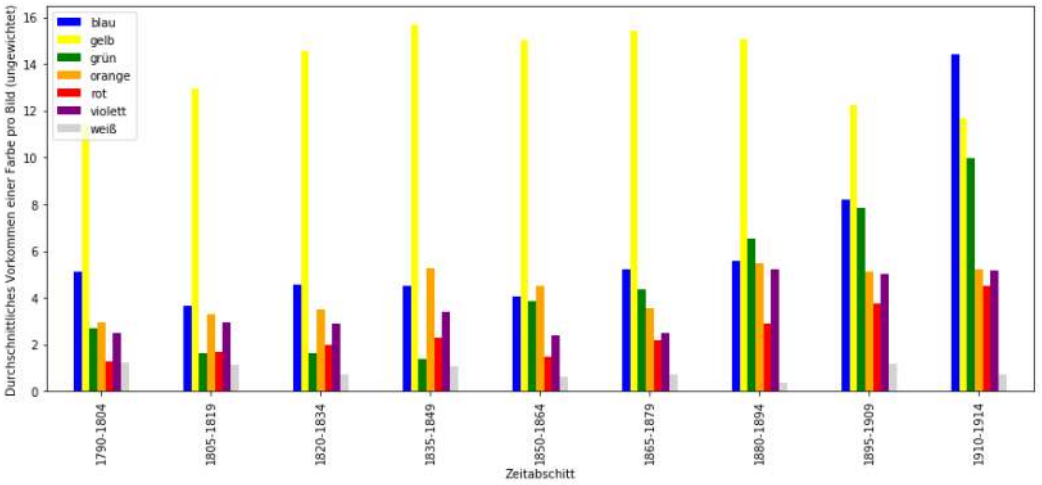

Abbildung 4.15: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Landschaft“ (ungewichtet und ohne Berücksichtigung der Farben Braun und Grau).

(a) Vincent van Gogh, Weizenfeld mit Schnitter bei aufgehender Sonne, 1889

(b) William Turner, Glaucus und Scylla, 1841

Abbildung 4.16: Landschaftsbilder mit der höchsten durchschnittlichen Farbsättigung.

4.3 Auswertung von ausgewählten Farbtönen

Basierend auf Burmesters et al. Ausführungen wird angenommen, dass mit der Erfindung neuer Farben, diese auch häufiger von den Künstlen verwendet wurden. Für die Überprüfung wurden alle Bilder aus dem Basisbildbestand selektiert, die mindestens einen blauen, bzw. grünen oder gelben Farbton unter den dominanten Farben aufweisen. Die Farbeinteilung erfolgt über den RAL-Farbraum wie in Kapitel 3.3 beschrieben. Untersucht wird stets der gesamte Zeitraum von 1790 bis 1914.

4.3.1 Blau

Analyse der Verwendung blauer Farbtöne
Blau stand den Künstlern über den gesamten Zeitraum des Langen 19. Jahrhunderts zur Verfügung. Seit 1710 gab es Berlinerblau. 1802 wurde Kobaltblau erfunden und um 1827 konnte künstlicher Ultramarin synthetisiert werden. 1870 wurde Coelinblau hergestellt [12]. Daher wurde erwartet, dass die durchschnittliche Farbsättigung über den gesamten Zeitraum relativ konstant bleibt. Tatsächlich zeigt die Auswertung, dass die durchschnittliche Farbsättigung für den ersten Zeitraum am geringsten ist mit 33,0%, bis zum vierten Zeitabschnitt steigt sie auf 38,3% (Tabelle 4.8). Dies entspricht einer Steigerung vom Anfang bis zum Ende des Langen 19. Jahrhunderts um 5,3%. Die meisten Bilder mit mindestens einem dominanten blauen Farbton finden sich im ARTigo-Bildbestand im Zeitraum des vierten Zeitabschnitts (Tabelle 4.7).
Abbildung 4.17 zeigt, dass bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts Bilder entstanden sind, mit einer relativ hohen durchschnittlichen Farbsättigung von über 42%. Die Gemälde mit der höchsten durchschnittlichen Farbsättigung finden sich in der Moderne. Abbildung 4.24 zeigt die Bilder mit der höchsten durchschnittlichen Farbsättigung, die mindestens einen dominanten blauen Farbton enthalten.

	Anzahl Bilder:	Anteil am Gesamtbildbestand:
Anzahl Bilder gesamt:	1926	100%
Erster Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	204	10,6%
Zweiter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	437	22,7%
Dritter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	421	21,9%
Vierter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	864	44,9%

Tabelle 4.7: Auswertung der Anzahl der Bilder im ARTigo-Bildbestand, die mindestens einen dominanten Blauton enthalten, für alle Zeitabschnitte.

	Durchschnittliche Farbsättigung:
Erster Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	33,0%
Zweiter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	34,7%
Dritter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	35,3%
Vierter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	38,3%

Tabelle 4.8: Auswertung der durchschnittlichen Farbsättigung der Bilder im ARTigo-Bildbestand, die mindestens einen dominanten Blauton enthalten, für alle Zeitabschnitte.

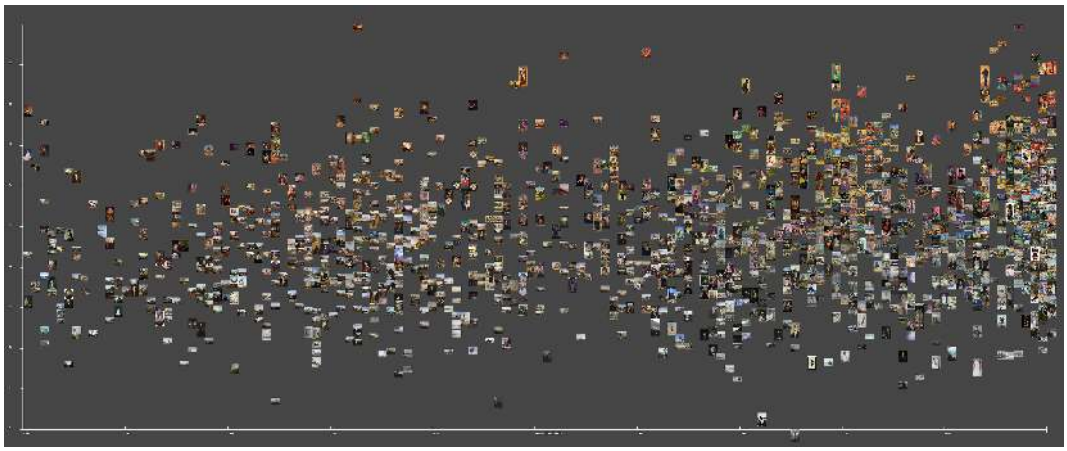

Abbildung 4.17: Aufbereiteter Basisbestand selektiert auf blaue Farbtöne.

Bei der Analyse der Farbverwendung (Abbildungen 4.18 und 4.19) lag hier Grau an der Spitze. Das Vorkommen von Gelb und Braun verhält sich analog zur Auswertung des Basisbildbestands (Abbildungen 4.20 und 4.21). In den graphischen Darstellungen 4.22 und 4.23 ohne Braun und Grau zeigt sich, dass die Verwendung von Blau über den gesamten Zeitraum relativ gleichmäßig ist. Ab 1895 steigt das durchschnittliche Vorkommen eines blauen Farbtons pro Bild jedoch an. Für den ausgewerteten Datensatz bedeutet das, dass für Bilder aus der Zeit der Moderne häufiger Blautöne verwendet wurden als früher im analysierten Zeitraum.

	1790	1805	1820	1835	1850	1865	1880	1895	1910	Minimum in	Maximum in
blau	3.087313	3.104166	3.019319	2.671571	3.083956	2.872662	2.941573	3.615207	4.300013	1835	1910
braun	14.194537	14.455174	15.146072	13.300746	14.214999	11.878443	10.474682	8.839022	6.369091	1910	1820
gelb	2.734273	3.311517	3.610852	3.986963	4.066131	4.040720	4.087840	3.309611	3.053307	1790	1880
grau	16.497128	16.337517	16.491745	15.437597	13.882618	14.303141	12.957070	13.549503	11.850741	1910	1790
grün	0.989856	0.499744	0.570605	0.619788	1.249007	1.741651	2.291670	2.231962	2.681998	1805	1910
orange	0.478019	0.879449	0.935726	1.321834	0.861283	0.835730	1.674132	1.390418	1.715887	1790	1910
rot	0.317354	0.332705	0.449846	0.424758	0.418128	0.438716	0.718307	0.949477	1.405257	1790	1910
violett	0.745998	1.058482	0.822072	1.280700	1.526788	1.421158	1.851378	1.811839	1.655743	1790	1880
weiß	0.418060	0.456948	0.210220	0.294776	0.204791	0.252272	0.058948	0.291843	0.241770	1880	1805

Abbildung 4.18: Tabellarische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, die mindestens einen dominanten Blauton enthalten (gewichtet).

	1790	1805	1820	1835	1850	1865	1880	1895	1910	Minimum in	Maximum in
blau	11.310345	10.393701	9.964692	9.794989	11.022167	11.196641	11.268330	14.143192	16.419189	1835	1910
braun	27.034483	28.661417	29.344841	26.833713	28.263547	23.407978	21.533316	18.691315	15.362650	1910	1820
gelb	8.551724	9.921260	10.788545	12.391800	12.253695	12.421274	13.043478	10.416667	10.251285	1790	1880
grau	41.793103	39.055118	38.446450	36.537585	33.805419	36.039188	31.978390	33.626761	31.838949	1910	1790
grün	3.172414	1.653543	1.726167	1.913440	3.509852	4.933520	5.865706	6.044601	7.024557	1805	1910
orange	1.655172	3.070866	3.452334	4.373576	3.078818	3.079076	5.737072	4.841549	5.796688	1790	1910
rot	1.655172	1.574803	2.275402	2.323462	1.785714	2.379286	3.447389	4.606808	6.225014	1805	1910
violett	3.172414	3.858268	3.177717	4.646925	5.480296	5.528341	6.894777	6.455399	6.110794	1790	1880
weiß	1.655172	1.811024	0.823852	1.184510	0.800493	1.014696	0.231541	1.173709	0.970874	1880	1805

Abbildung 4.19: Tabellarische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, die mindestens einen dominanten Blauton enthalten (ungewichtet).

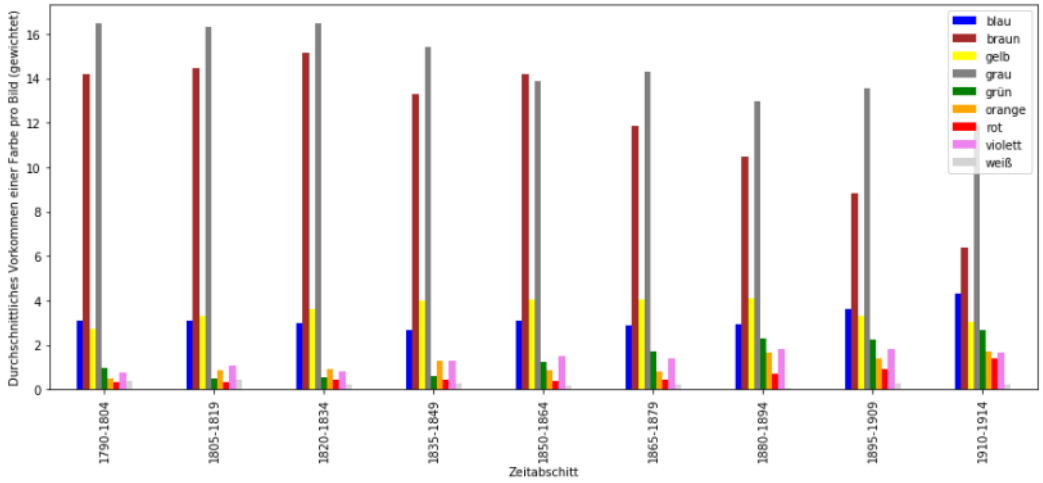

Abbildung 4.20: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, die mindestens einen dominanten Blauton enthalten (gewichtet).

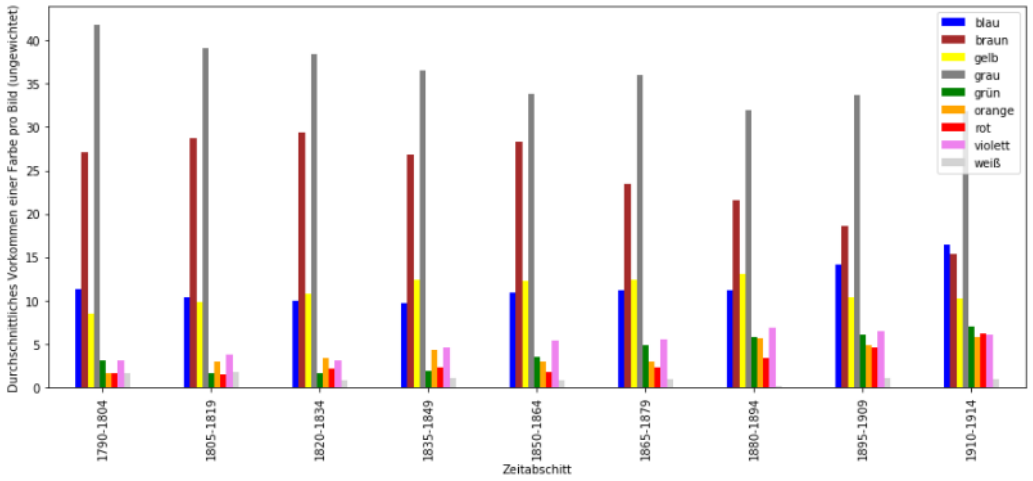

Abbildung 4.21: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, die mindestens einen dominanten Blauton enthalten (ungewichtet).

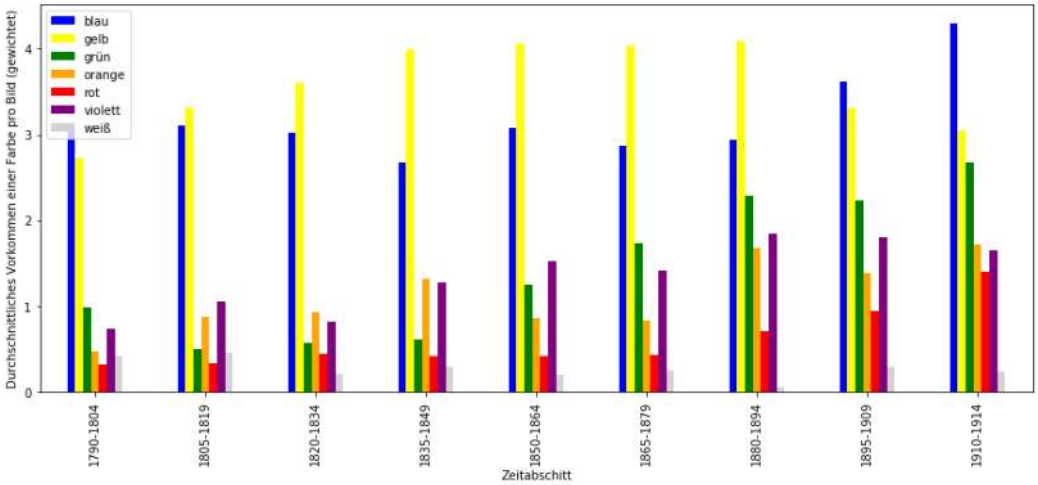

Abbildung 4.22: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, die mindestens einen dominanten Blauton enthalten (gewichtet und ohne Berücksichtigung der Farben Braun und Grau).

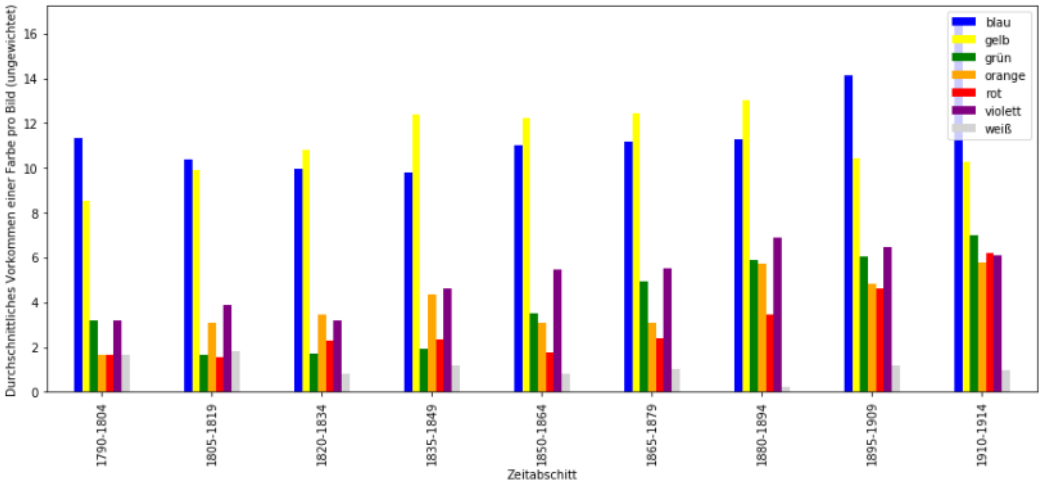

Abbildung 4.23: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, die mindestens einen dominanten Blauton enthalten (ungewichtet und ohne Berücksichtigung der Farben Braun und Grau).

(a) Franz Ludwig Catel, Gewitter in Neapel, 1830

(b) Henri Matisse, La danse (II), 1910

(c) Lovis Corinth, Versuchung des heiligen Antonius, 1908

Abbildung 4.24: Bilder mit der höchsten durchschnittlichen Farbsättigung, die mindestens einen dominanten blauen Farbton enthalten.

4.3.2 Gelb

Analyse der Verwendung gelber Farbtöne
Fast 95% aller verfügbaren Bilder enthalten einen dominanten gelben Farbton (Tabelle 4.9).

Dies ist vermutlich auf das Ausbleichen alter Farbpigmente zurückzuführen, sowie auf die Farbe von vergilbtem Papier.
Mit der Erfindung von Cadmiumgelb und Strontiumgelb (1840 und 1850) wurden vermehrt diese intensiven Farbtöne verwendet, statt das vorher verfügbare fadgelbe Neapelgelb und diverser Ockertöne [12]. Hier wurde daher ein Ansteigen der durchschnittlichen Farbsättigung über den untersuchten Zeitraum hinweg erwartet. Tabelle 4.10 zeigt den Anstieg der durchschnittlichen Farbsättigung vom ersten auf den zweiten Zeitabschnitt um 2,3%. Der vierte Zeitabschnitt liegt mit einer durchschnittlichen Farbsättigung von 39,3% an der Spitze. Auch hier kann also für den selektierten Bildbestand festgestellt werden, dass die Bilder im Verlauf bunter werden.

	Anzahl Bilder:	Anteil am Gesamtbildbestand:
Anzahl Bilder gesamt:	5292	100%
Erster Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	794	15,0%
Zweiter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	1214	22,9%
Dritter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	1454	27,5%
Vierter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	1830	34,6%

Tabelle 4.9: Auswertung der Anzahl der Bilder im ARTigo-Bildbestand, die mindestens einen dominanten Gelbton enthalten, für alle Zeitabschnitte.

	Durchschnittliche Farbsättigung:
Erster Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	35,7%
Zweiter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	38,0%
Dritter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	38,1%
Vierter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	39,3%

Tabelle 4.10: Auswertung der durchschnittlichen Farbsättigung der Bilder im ARTigo-Bildbestand, die mindestens einen dominanten Gelbton enthalten, für alle Zeitabschnitte.

Die visuelle Auswertung 4.25 zeigt die durchschnittliche Farbsättigung der Bilder mit mindestens einem gelben Farbton im Verlauf. Es finden sich über den gesamten Zeitraum vereinzelt Bilder mit einer verhältnismäßig hohen durchschnittlichen Farbsättigung. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts finden sich weniger Bilder mit einer durchschnittlichen Farbsättigung über 60%, als in der zweiten Hälfte. Ab 1850 nimmt die Farbsättigung der Bilder zu. Dieses Ergebnis korreliert mit der Einführung farbintensiver Gelbtöne ab 1840.

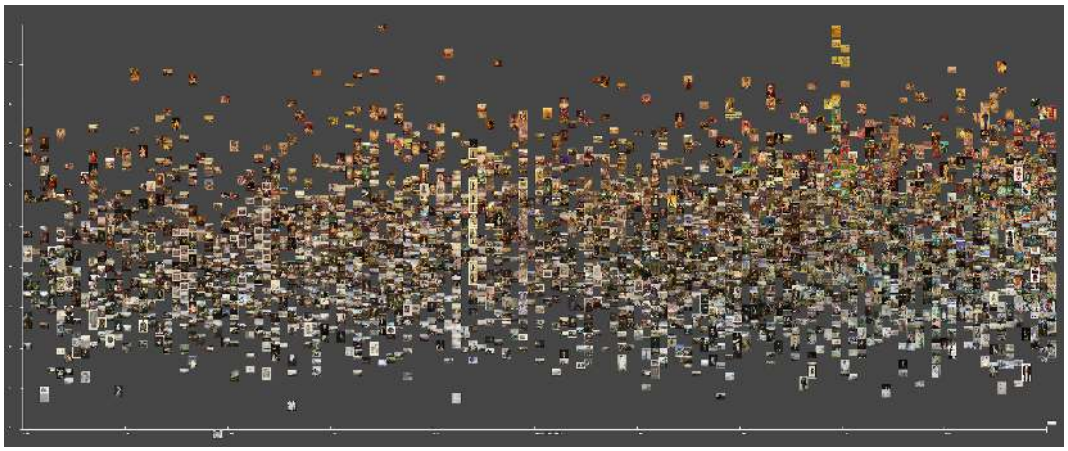

Abbildung 4.25: Aufbereiteter Basisbestand selektiert auf gelbe Farbtöne.

Die Auswertung der Farbverwendung der analysierten Bilder verhält sich ähnlich zur Auswertung des Basisbildbestands. Auch hier zeigen Brau und Grau ein besonders hohes Vorkommen (Abbildungen 4.28 und 4.29). Klammert man diese Farben aus, sieht man den Verlauf des Vorkommens gelber Farben gut (Abbildungen 4.30 und 4.31). Dieses steigt bis 1835 an und nimmt dann bis Ende des 19. Jahrhunderts ab. Das kann bedeuten, dass Gelb generell ab Mitte des 19. Jahrhunderts weniger verwendet wurde oder das Ergebnis spricht für eine Reduzierung von Ausbleichen und Vergilben der Gemälde.
Die Bilder mit der höchsten durchschnittlichen Farbsättigung, die mindestens einen dominanten gelben Farbton enthalten, sind identisch zu denen des Basisbildbestands in Abbildung 4.8.

	1790	1805	1820	1835	1850	1865	1880	1895	1910	Minimum in	Maximum in
blau	0.825355	0.920447	1.083180	1.018911	0.940415	0.949837	1.142940	1.682921	2.940005	1790	1910
braun	18.824264	20.322808	19.261693	18.129312	20.092720	17.716122	14.946342	13.087798	8.830178	1910	1805
gelb	4.076235	4.522033	4.789959	5.405701	5.038540	5.232163	4.932621	4.259830	3.488818	1910	1835
grau	14.572754	13.175797	13.659894	12.286964	11.752752	12.367591	11.994917	12.590169	11.845363	1850	1790
grün	0.623293	0.494835	0.575033	0.510212	1.030234	1.311684	2.125766	2.221566	2.660376	1805	1910
orange	1.091311	1.087165	1.141436	1.643998	1.448351	1.242736	1.832694	1.807176	1.717781	1805	1880
rot	0.300786	0.336902	0.455559	0.454837	0.369268	0.475203	0.678092	0.744645	1.330711	1790	1910
violett	0.677066	0.820590	0.857338	0.932603	0.804762	0.957183	1.484302	1.333957	1.517347	1790	1910
weiß	0.384689	0.311611	0.207028	0.256604	0.223622	0.157940	0.062592	0.227353	0.307918	1880	1790

Abbildung 4.26: Tabellarische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, die mindestens einen dominanten Gelbton enthalten (gewichtet).

	1790	1805	1820	1835	1850	1865	1880	1895	1910	Minimum in	Maximum in
blau	3.635068	3.404158	3.878407	4.110512	3.872679	4.200590	4.738529	7.067138	11.550152	1805	1910
braun	36.564505	39.342015	37.151842	35.613208	38.974359	34.702065	30.164296	26.840989	19.918946	1910	1805
gelb	12.615823	13.890793	14.615154	16.627358	15.526083	15.905605	15.317572	13.314488	11.590679	1910	1835
grau	35.816108	32.305232	32.599581	29.750674	28.258179	30.430678	29.232619	31.222615	31.388045	1850	1790
grün	1.960086	1.439342	1.662174	1.549865	2.882405	3.669617	5.419756	5.851590	6.930091	1805	1910
orange	3.848895	3.838245	4.192872	5.778302	5.163572	4.589971	6.421559	6.374558	6.058764	1805	1880
rot	1.603706	1.782042	2.261156	2.341644	1.679929	2.513274	3.406131	3.957597	6.058764	1790	1910
violett	2.423378	2.764451	2.815214	3.200809	2.740937	3.351032	5.049088	4.452297	5.268490	1790	1910
weiß	1.532431	1.233722	0.823600	1.027628	0.901857	0.637168	0.250451	0.918728	1.236069	1880	1790

Abbildung 4.27: Tabellarische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, die mindestens einen dominanten Gelbton enthalten (ungewichtet).

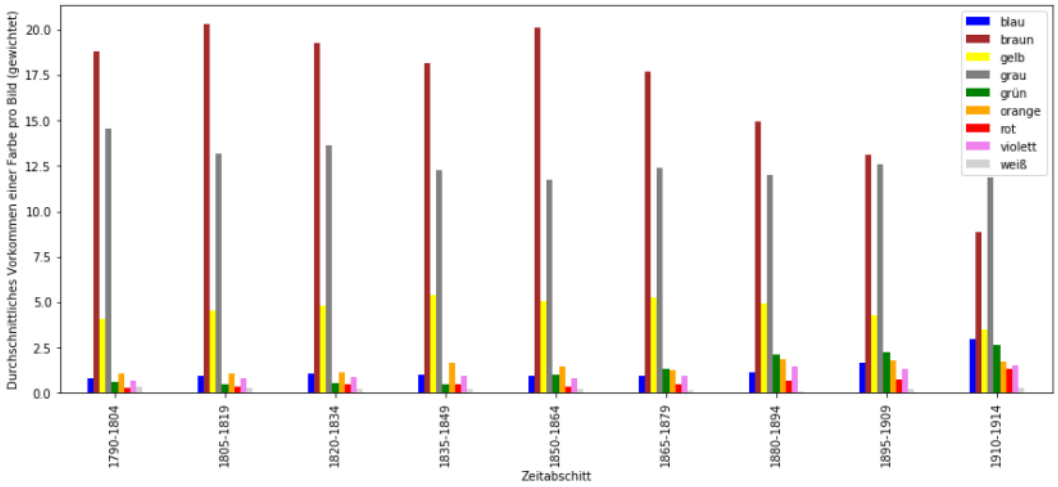

Abbildung 4.28: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, die mindestens einen dominanten Gelbton enthalten (gewichtet).

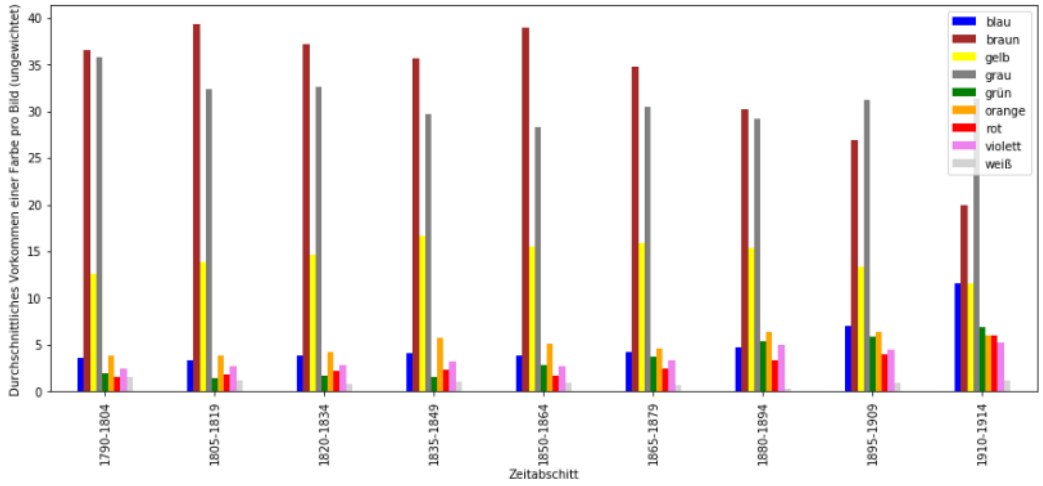

Abbildung 4.29: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, die mindestens einen dominanten Gelbton enthalten (ungewichtet).

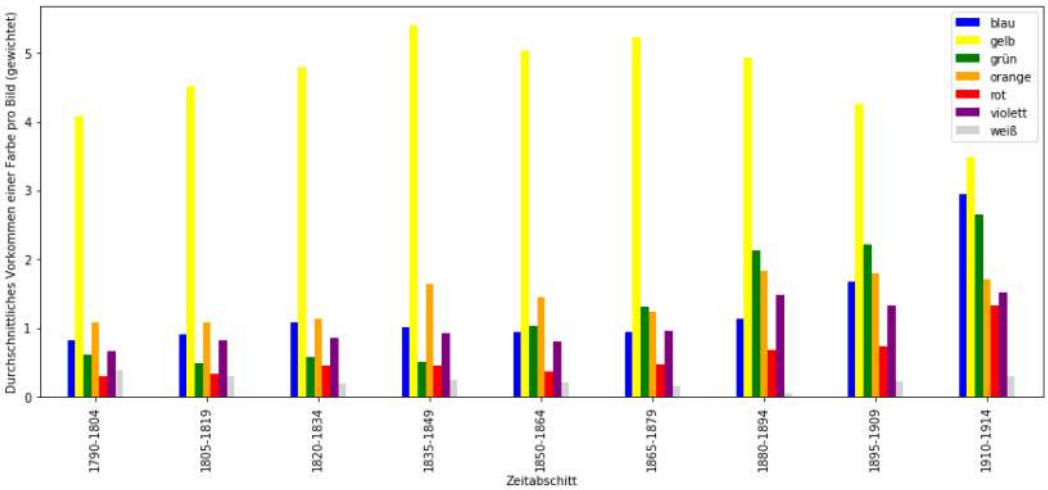

Abbildung 4.30: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, die mindestens einen dominanten Gelbton enthalten (gewichtet und ohne Berücksichtigung der Farben Braun und Grau).

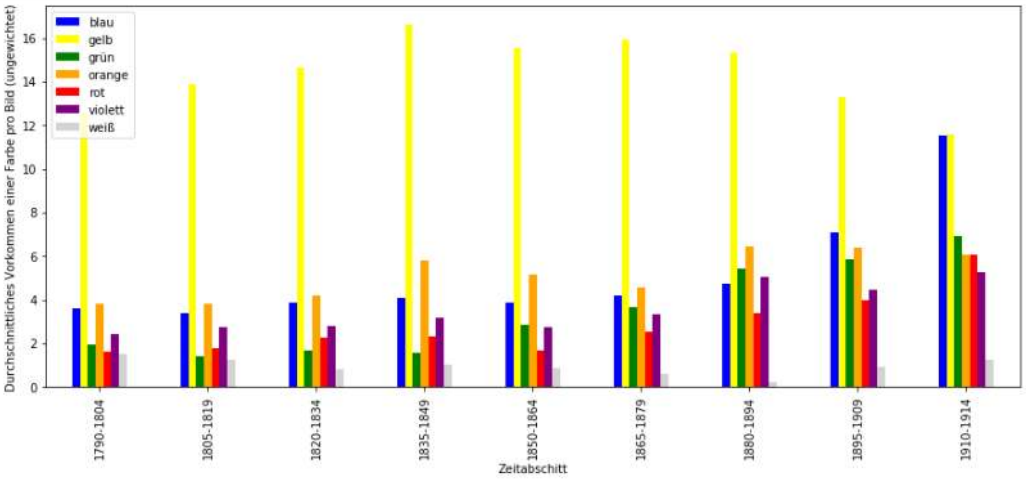

Abbildung 4.31: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, die mindestens einen dominanten Gelbton enthalten (ungewichtet und ohne Berücksichtigung der Farben Braun und Grau).

4.3.3 Grün

Analyse der Verwendung grüner Farbtöne
Da reine, grüne Farbpigmente bis zur Erfindung des Schweinfurter Grüns 1822 eher dunkel und schmutzig waren [12], liegt es nahe, dass die Künstler die intensiven neuen Grüntöne gerne annahmen. Es wird also ein Anstieg in der Verwendung von Grüntönen ab 1822 erwartet. Dieser ist in der Auswertung der Bilder im Datenset 4.11 deutlich zu sehen: vom ersten auf den zweiten Zeitraum gab es einen Anstieg in der Anzahl von Bildern, für die grün verwendet wurde, um 6,6%. Die Visualisierung 4.32 zeigt die Verwendung von Grüntönen für den Zeitraum von 1790 bis 1914. Die durchschnittliche Farbsättigung nimmt stetig zu und erreicht im vierten Zeitabschnitt das Maximum bei 38,1%.

	Anzahl Bilder:	Anteil am Gesamtbildbestand:
Anzahl Bilder gesamt:	3162	100%
Erster Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	406	12,8%
Zweiter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	613	19,4%
Dritter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	846	26,8%
Vierter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	1297	41,0%

Tabelle 4.11: Auswertung der Anzahl der Bilder im ARTigo-Bildbestand, die mindestens einen dominanten Grünton enthalten, für alle Zeitabschnitte.

	Durchschnittliche Farbsättigung:
Erster Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	31,8%
Zweiter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	34,9%
Dritter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	35,4%
Vierter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	38,1%

Tabelle 4.12: Auswertung der durchschnittlichen Farbsättigung der Bilder im ARTigo-Bildbestand, die mindestens einen dominanten Grünton enthalten, für alle Zeitabschnitte.

Die Visualisierung 4.32 zeigt, wie die durchschnittliche Farbsättigung über den gesamten Zeitraum wächst, für alle Bilder, die mindestens einen dominanten Grünton enthalten. Für den Zeitraum bis 1827 finden sich nur wenige Bilder im Datenset mit einer durchschnittlichen Farbsättigung von über 50%. Anders verhält es sich ab 1827, hier verdichten sich die Bilder im Bereich der Farbsättigung von über 50%. Die Gemälde mit der höchsten durchschnittlichen Farbsättigung finden sich gegen Ende des beobachteten Zeitraums. Diese sind Vincent van Goghs Weizenfeld mit Schnitter bei aufgehender Sonne (1889) (Abbildung 4.16(a)), Henris Matisses La danse (II) (1910) (Abbildung 4.24(b)) und Paul Gaugins Variumati (1897) (Abbildung 4.39).

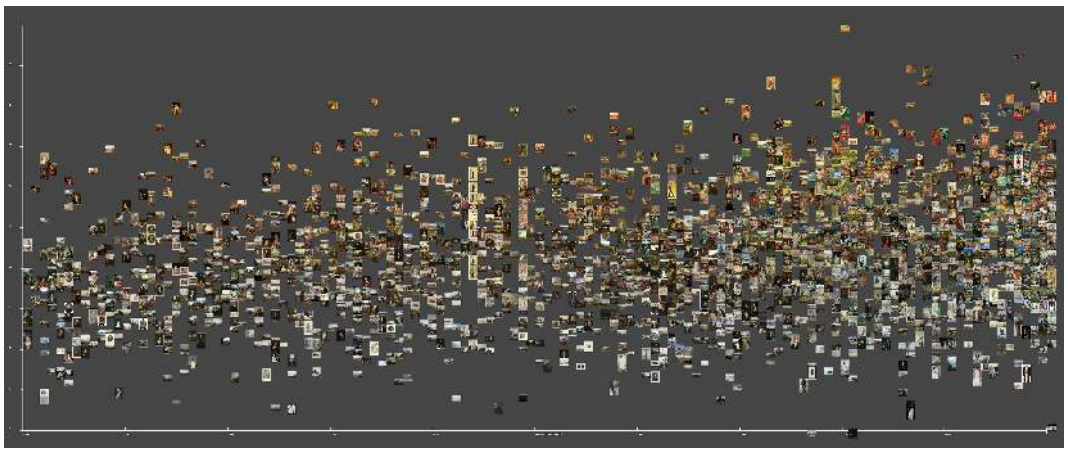

Abbildung 4.32: Aufbereiteter Basisbestand selektiert auf grüne Farbtöne.

In Bezug auf die Farbverwendung zeigen die graphischen Auswertungen der Tabellen 4.33 und 4.34 erneut das besonders hohe Vorkommen von Grau, Braun und Gelb (Abbildungen 4.35 und 4.36). Das Verhalten dieser Farben ist ähnlich zu den vorhergehenden Auswertungen. Ohne Berücksichtigung dieser Farben lässt sich an den Graphen 4.37 und 4.38 ein Anstieg der übrigen Farben besser erkennen. Das Vorkommen blauer Farbtöne ist von 1790 bis 1894 relativ konstant und steigt ab 1895 dann stark an. Bereits ab 1850 lässt sich eine stetiger Anstieg der Verwendung grüner Farbtöne beobachten. Mit der erfolgreichen Synthese von Chromoxidhydratgrün 1859 war dieses schließlich für die breite Masse verfügbar, das erklärt den erneut starken Anstieg für Grün ab 1880. Auch zur Zeit der Erfindung des Schweinfurter Grüns 1822 ist ein leichter Anstieg in der Auswertung für Grün zu sehen. Auffällig ist in Abbildung 4.37, dass die saliency-Werte für Grün höher ausfallen, als verhältnismäßig Blau und Gelb. Dies deutet auf die Verwendung intensiver Grüntöne hin, ab 1880.

	1790	1805	1820	1835	1850	1865	1880	1895	1910	Minimum in	Maximum in
blau	1.128094	1.175067	1.353578	1.450738	1.138235	1.305635	1.433493	1.995311	3.298389	1790	1910
braun	14.417439	17.056430	16.715254	15.565425	16.956743	14.512323	12.310724	11.011184	7.785782	1910	1805
gelb	3.483239	4.182290	4.155232	5.211382	4.528146	4.734499	4.662841	3.854817	3.086188	1910	1835
grau	18.071025	16.440446	16.344877	15.456543	14.787439	14.837823	12.958306	13.936597	12.341502	1910	1790
grün	1.285902	1.038797	1.179665	1.022491	1.867177	2.249326	3.295423	3.223918	3.578741	1835	1910
orange	0.516851	0.852503	0.931841	1.095773	0.987659	0.932591	1.758001	1.445521	1.443730	1790	1880
rot	0.283978	0.212668	0.242245	0.180418	0.259664	0.279094	0.545465	0.616902	1.223744	1835	1910
violett	0.553200	0.374080	0.388886	0.418691	0.449091	0.653774	1.140566	0.978375	1.103834	1805	1880
weiß	0.429527	0.351017	0.242967	0.268384	0.277964	0.206348	0.065167	0.216500	0.306217	1880	1790

Abbildung 4.33: Tabellarische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, die mindestens einen dominanten Grünton enthalten (gewichtet).

	1790	1805	1820	1835	1850	1865	1880	1895	1910	Minimum in	Maximum in
blau	5.669817	4.940048	5.322862	6.448346	5.396132	6.274057	6.407112	9.087431	13.564103	1805	1910
braun	27.737632	32.901679	32.547993	30.317353	32.688709	28.137028	24.938688	22.613354	17.538462	1910	1805
gelb	10.894942	12.613909	12.769052	15.867657	14.004991	14.434180	14.668915	12.052803	10.512821	1910	1835
grau	44.635909	39.904077	38.947062	37.069548	35.277604	36.739800	32.709994	35.144442	33.076923	1880	1790
grün	4.057810	3.021583	3.403141	3.106009	5.240175	6.274057	8.445739	8.532619	9.358974	1805	1910
orange	1.945525	2.925659	3.490401	3.612424	3.680599	3.502694	5.977928	5.184618	5.256410	1790	1880
rot	1.334074	0.959233	1.163467	0.979068	0.966937	1.501155	2.651747	3.175818	5.461538	1805	1910
violett	2.001112	1.342926	1.396161	1.519244	1.621959	2.309469	3.939301	3.328869	4.000000	1805	1910
weiß	1.723180	1.390887	0.959860	1.080351	1.122895	0.827560	0.260576	0.880046	1.230769	1880	1790

Abbildung 4.34: Tabellarische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, die mindestens einen dominanten Grünton enthalten (ungewichtet).

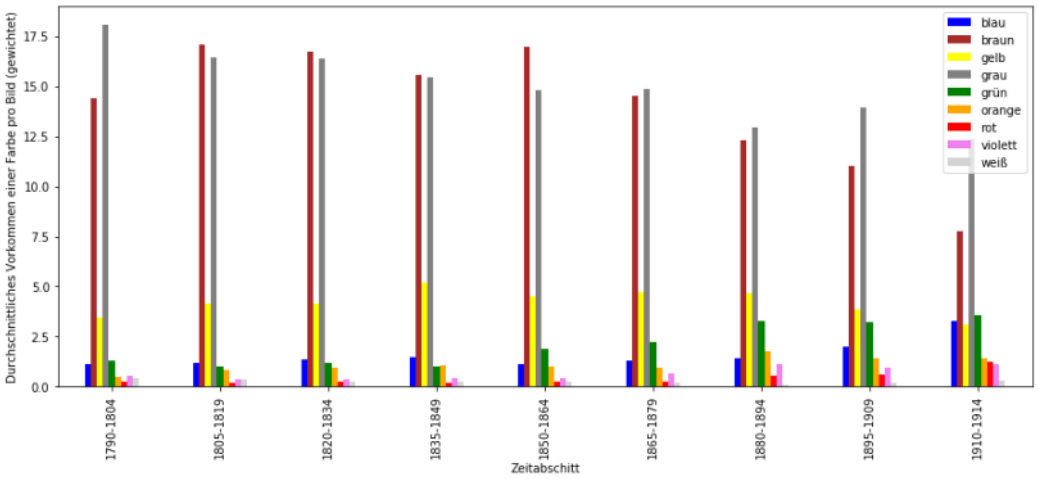

Abbildung 4.35: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, die mindestens einen dominanten Grünton enthalten (gewichtet).

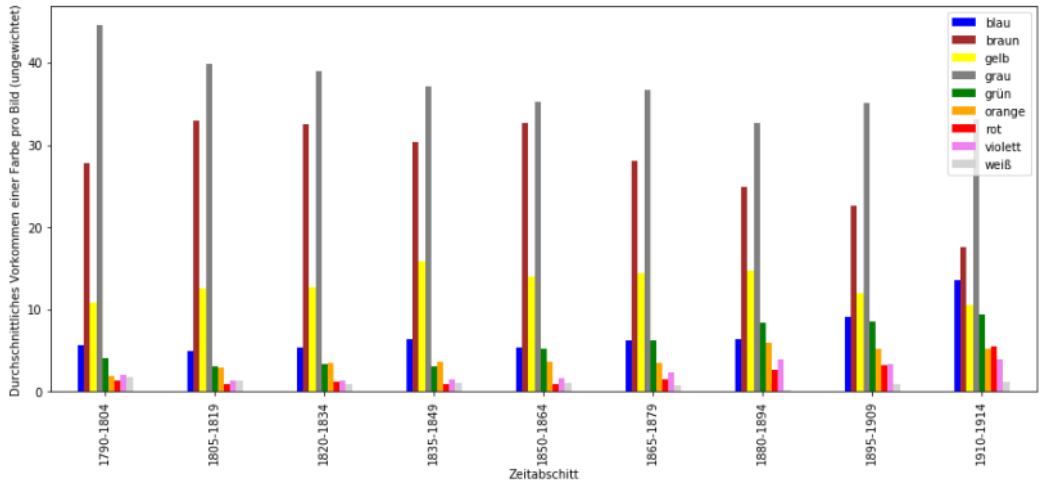

Abbildung 4.36: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, die mindestens einen dominanten Grünton enthalten (ungewichtet).

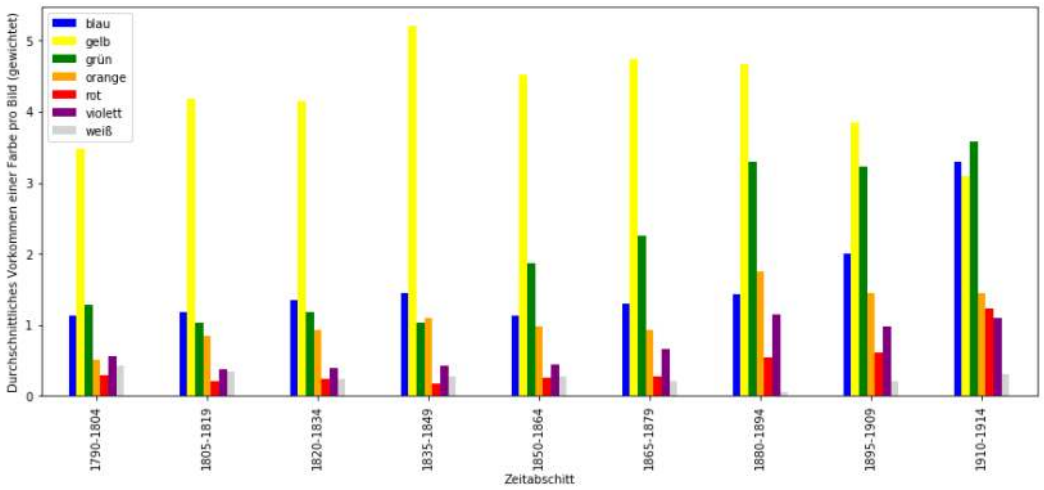

Abbildung 4.37: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, die mindestens einen dominanten Grünton enthalten (gewichtet und ohne Berücksichtigung der Farben braun und grau).

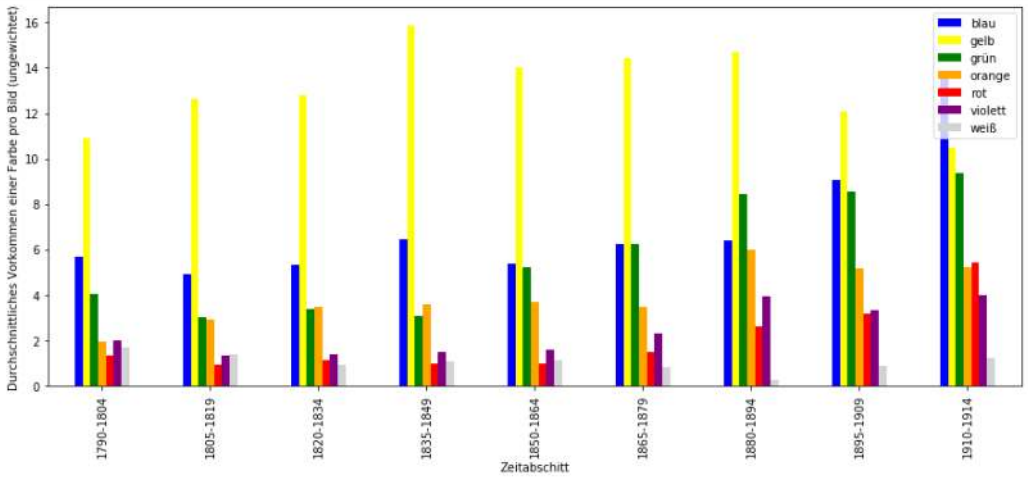

Abbildung 4.38: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, die mindestens einen dominanten Grünton enthalten (ungewichtet und ohne Berücksichtigung der Farben braun und grau).

Abbildung 4.39: Paul Gaugin, Variumati, 1897

4.4 Veränderungen der Farbsättigung für Kunstepochen

Im folgenden Abschnitt werden ausgewählte Kunstepochen im Verlauf betrachtet. Nicht für alle Epochen wurde der Zeitraum von 1790 bis 1914 gewählt. Hier war eine Einschränkung der Zeitperiode bei der Analyse teilweise sinnvoll, um Bilder auszuschließen, die fälschlicherweise mit einer Kunstepoche verschlagwortet wurden, deren Entstehungsjahr jedoch nicht in die Zeit dieser Epoche fällt. Die x-Achse beschreibt daher den jeweils selektierten Zeitraum wie angegeben.

4.4.1 Klassizismus

Analyse von Bildern aus der Zeit des Klassizismus
Der Klassizismus ist die älteste Kunstepoche, die hier analysiert wurde. Es wird daher angenommen, dass die Färbsättigung im Vergleich zum Basisbildbestand geringer ausfällt und ebenso, dass die Buntheit der Bilder niedriger ist als im weiteren Verlauf des 19. Jahrhunderts. Der Basisbildbestand wurde auf die Schlagworte „Klassik“ und „Klassizismus“ selektiert. Das Wort „Klassik“ könnte von ARTigo-Nutzern auch durchaus in einer anderen Bedeutung als die der Kunstepoche vergeben worden sein. Daher wurde für die Auswertung die Zeitperiode auf 1790 bis 1840 reduziert. So konnten Bilder ausgeschlossen werden, die später entstanden sind und somit nicht in den Zeitraum des Klassizismus fallen. Es liegen also nur Daten für den ersten und zweiten Zeitabschnitt vor. Tabelle 4.14 zeigt, dass die durchschnittlichen Farbsättigungen für diese Zeiträume mit 38,1% und 37,4% nicht weit auseinander liegen. Hier wird erstmals, entgegen der Erwartung, ein Abfall der durchschnittlichen Farbsättigung beobachtet. Der erste Zeitabschnitt fällt hier im Vergleich zum Basisbestand um 3% geringer aus. Dieses Ergebnis ist überraschend, jedoch sollte man beachten, dass für diese Auswertung nur 197 Bilder vorlagen (Tabelle 4.13).
In der Visualisierung 4.40 sieht man eindeutig, dass sich der Großteil der untersuchten Bilder im unteren Bereich der durchschnittlichen Farbsättigung (von unter 42%) wiederfindet. Man kann also für den untersuchten Bildbestand sagen, dass für die meisten Bilder weniger gesättigte Farbtöne verwendet wurden.

	Anzahl Bilder:	Anteil am Gesamtbildbestand:
Anzahl Bilder gesamt:	197	100%
Erster Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	132	67,0%
Zweiter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	65	33,0%

Tabelle 4.13: Auswertung der Anzahl der Bilder im ARTigo-Bildbestand aus der Zeit des Klassizismus.

	Durchschnittliche Farbsättigung:
Erster Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	38,1%
Zweiter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	37,3%

Tabelle 4.14: Auswertung der durchschnittlichen Farbsättigung der Bilder im ARTigo-Bildbestand,mit den Schlagworten „Klassizismus“ oder „Klassik“, von 1790 bis 1840.

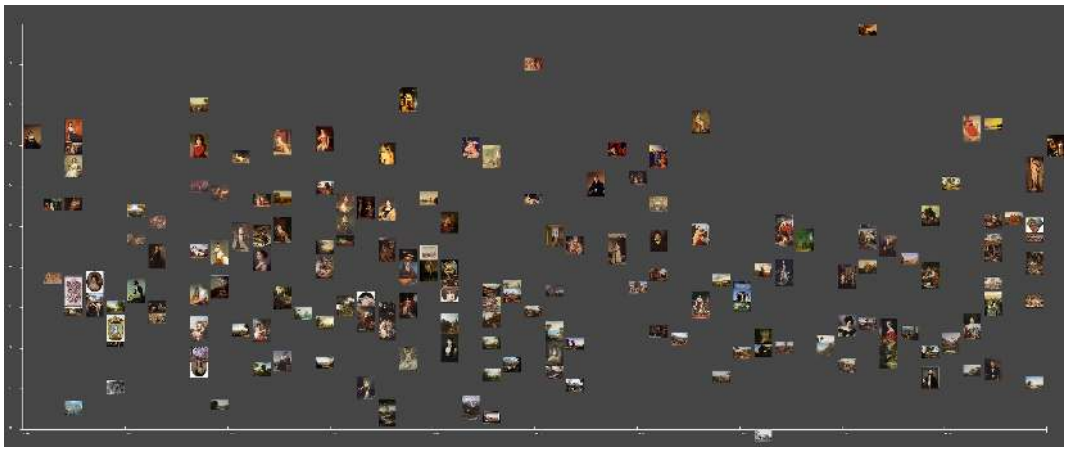

Abbildung 4.40: Aufbereiteter Basisbestand selektiert auf die Schlagworte „Klassizismus“' und „Klassik“ von 1790 bis 1840.

Die graphischen Auswertungen der Farbverwendung (Abbildungen 4.41 und 4.42) ergaben ein konstant hohes Vorkommen von Braun, Grau (Abbildungen 4.43 und 4.44). Gelb zeigt einen leichten Anstieg ab 1835. In den Abbildungen 4.45 und 4.46 wird deutlich, dass hier vermehrt warme Farben verwendet wurden. Die Verwendung von Orange setzt sich zum Beispiel im Zeitraum vom 1805 bis 1819 und ab 1835 deutlich von Grün und Blau ab. Grün wird über den gesamten Zeitraum wenig häufig verwendet, im Vergleich zu vorhergehenden Auswertungen. Dies bestätigt die Angaben Burmesters et al. bezüglich der Verwendung reiner Grünpigmente, diese waren zu Anfang des 19. Jahrhunderts wenig vorhanden. Auch hier zeigt die Auswertung einen Anstieg für den Zeitabschnitt von 1820-1834, in den die Erfindung des Schweinfurter Grüns fällt.
Die Bilder mit der höchsten durchschnittlichen Farbsättigung, mit den Schlagworten „Klassizismus“ oder „Klassik“ finden sich in Abbildung 4.47. Der Spitzenreiter war hier analog zu den Bildern mit blauen Farbtönen Franz Ludwig Catels Gewitter in Neapel (1830) (Abbildung 4.24(a)).

	1790	1805	1820	1835	Minimum in	Maximum in
blau	1.179360	1.329439	1.854635	0.923602	1835	1820
braun	18.890118	17.405908	17.256247	17.657848	1820	1790
gelb	4.286936	4.019176	3.801257	4.903116	1820	1835
grau	11.624572	13.570881	13.792672	11.925456	1790	1820
grün	0.789191	0.403953	0.952688	0.535947	1805	1820
orange	1.402984	1.880764	0.919958	2.248613	1820	1835
rot	0.271263	0.390104	0.537059	0.451226	1790	1820
violett	0.943128	1.096696	1.279832	0.791042	1835	1820
weiß	0.243082	0.257456	0.176232	0.442243	1820	1835

Abbildung 4.41: Tabellarische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit den Schlagworten „Klassizismus“ oder „Klassik“ (gewichtet).

	1790	1805	1820	1835	Minimum in	Maximum in
blau	4.428571	5.037037	5.962521	4.710145	1790	1820
braun	38.428571	34.814815	34.241908	33.333333	1835	1790
gelb	13.285714	11.703704	11.925043	14.855072	1805	1835
grau	29.714286	33.925926	33.219761	28.985507	1835	1805
grün	2.285714	1.185185	2.725724	1.449275	1805	1820
orange	5.285714	6.518519	3.577513	7.971014	1820	1835
rot	1.714286	1.925926	2.555366	3.985507	1790	1835
violett	3.857143	3.851852	5.110733	2.898551	1835	1820
weiß	1.000000	1.037037	0.681431	1.811594	1820	1835

Abbildung 4.42: Tabellarische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit den Schlagworten „Klassizismus“ oder „Klassik“ (ungewichtet).

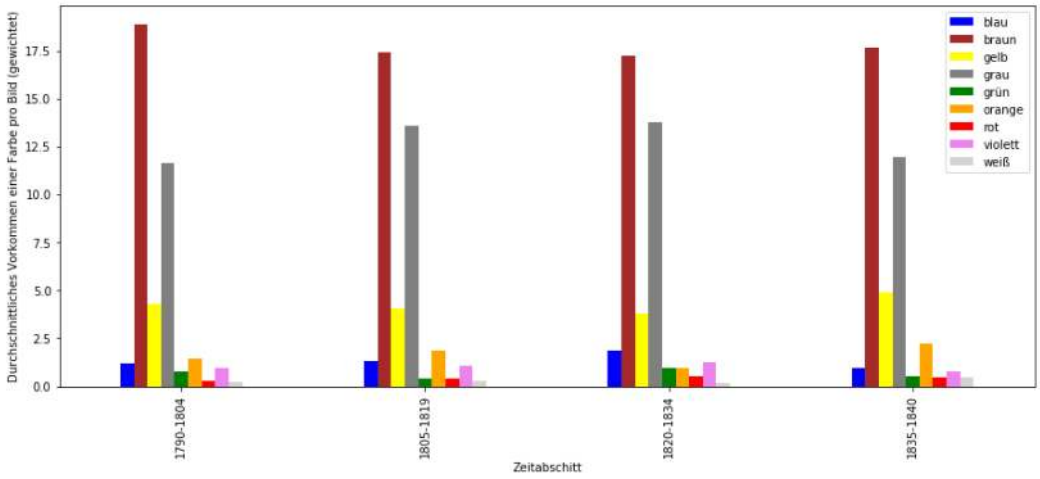

Abbildung 4.43: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit den Schlagworten „Klassizismus“ oder „Klassik“ (gewichtet).

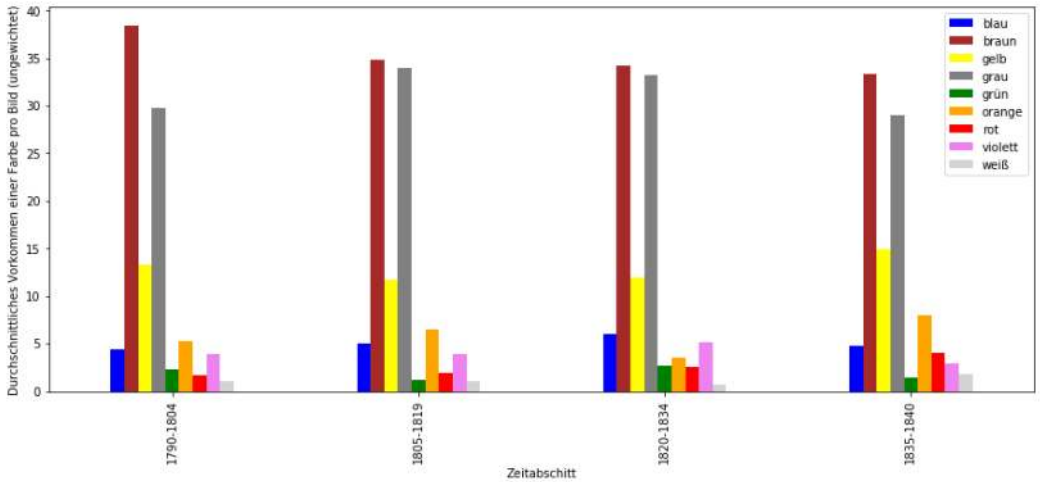

Abbildung 4.44: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit den Schlagworten „Klassizismus“ oder „Klassik“ (ungewichtet).

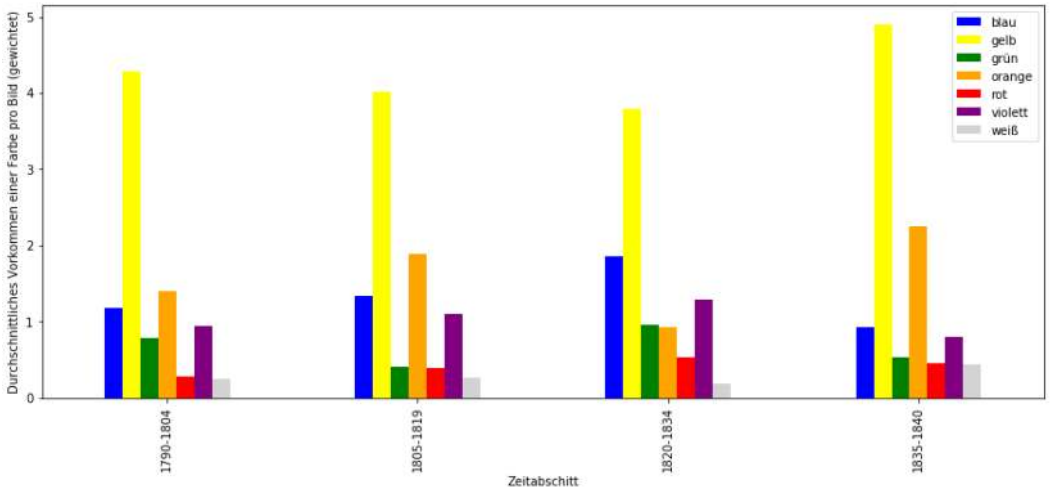

Abbildung 4.45: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit den Schlagworten „Klassizismus“ oder „Klassik“ (gewichtet und ohne Berücksichtigung der Farben Braun und Grau).

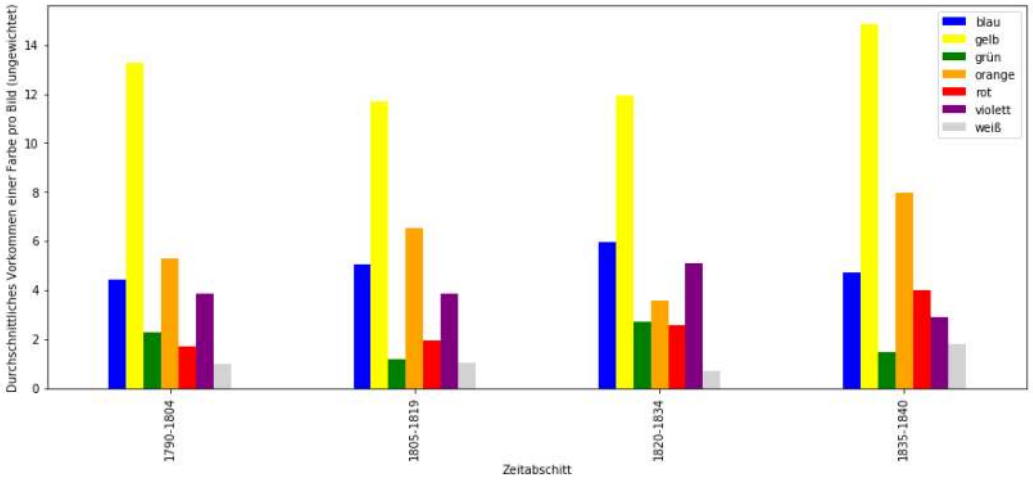

Abbildung 4.46: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit den Schlagworten „Klassizismus“ oder „Klassik“ (ungewichtet und ohne Berücksichtigung der Farben Braun und Grau).

(a) Peter Cornelius, Die Klugen und die Törichten Jungfrauen, 1814

(b) Jean Auguste Dominique Ingres, Ödipus und die Sphinx, 1808

Abbildung 4.47: Bilder mit der höchsten durchschnittlichen Farbsättigung, mit den Schlagworten „Klassizismus“ oder „Klassik“.

4.4.2 Romantik

Analyse von Bildern aus der Zeit der Romantik
Die Romantik als Gegenbewegung zum Klassizismus ist für die Auswertung interessant, da hier ein Anstieg der durchschnittlichen Farbsättigung im Vergleich zum Klassizismus erwartet wurde. Diese Annahme wird in Tabelle 4.16 nicht bestätigt. Gefiltert wurde auf das Schlagwort „Romantik“, da dieses nicht zwingend eine Kunstepoche ist, wurde hier das Zeitintervall wieder reduziert auf 1790 bis 1840, um nicht relevante Bilder auszuschließen. Die durchschnittliche Farbsättigung steigt im Verlauf um 2% an (Tabelle 4.16). Für die ersten beiden Zeitabschnitte finden sich annähernd gleich viele Bilder im ARTigo-Bildbestand. (Tabelle 4.15).
Die visuelle Auswertung 4.48 zeigt, dass über den gesamten Zeitraum nur wenige Bilder eine höherer durchschnittliche Farbsättigung als 56% haben. Die durchschnittlichen Farbsättigung der Mehrheit der Bilder liegt unter 43%.

	Anzahl Bilder:	Anteil am Gesamtbildbestand:
Anzahl Bilder gesamt:	691	100%
Erster Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	329	47,6%
Zweiter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	362	52,4%

Tabelle 4.15: Auswertung der Anzahl der Bilder im ARTigo-Bildbestand aus der Zeit der Romantik.

	Durchschnittliche Farbsättigung:
Erster Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	34,7%
Zweiter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	36,7%

Tabelle 4.16: Aufbereiteter Basisbestand selektiert auf das Schlagwort „Romantik“.

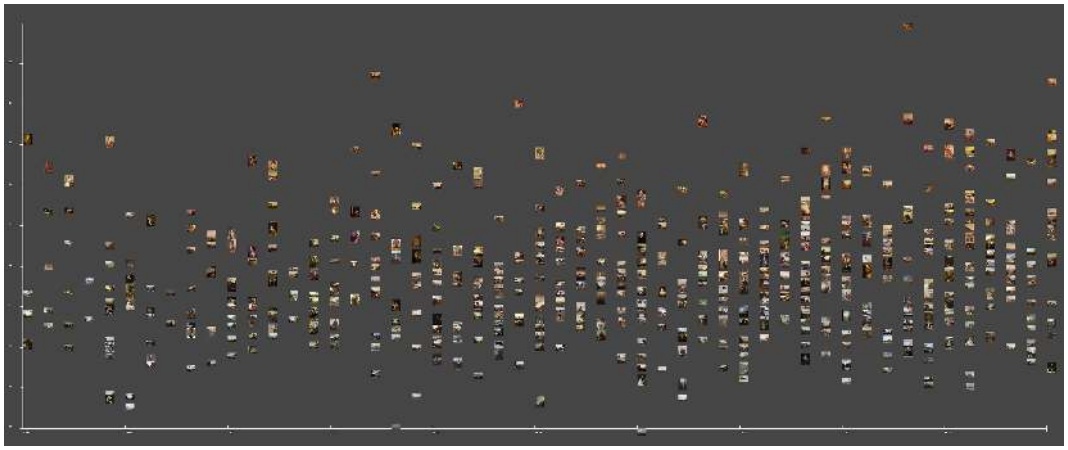

Abbildung 4.48: Aufbereiteter Basisbestand selektiert auf das Schlagwort „Romantik“ von 1790 bis 1840.

Die Analyse der Farbverwendung zeigt ein besonders hohes Vorkommen von Braun und Grau (Abbildungen 4.51 und 4.52). Die Minima und Maxima der Farbvorkommen verhalten sich für die bunten Farben wie erwartet, die Minima liegen zeitlich vor den Maxima (Abbildungen 4.49 und 4.50). Ausnahmefall ist hier Grün, da dessen Verwendung über den gesamten untersuchten Zeitraum jedoch ingesamt niedrig war (Abbildungen 4.53 und 4.54), ist dieser Auffälligkeit nicht zu viel Bedeutung zuzuschreiben. Ein besonderer Anstieg im Vorkommen ist für Orange zu verzeichnen, zwischen 1835 und 1840.
Die Bilder mit der höchsten durchschnittlichen Farbsättigung mit dem Schlagwort „Romantik“ sind Alexandre Gabriels Decamps Un corps de garde turc sur la route de Smyrne à Magnésie (1833) (Abbildung 4.8(a)), sowie zwei weitere Bilder von William Turner (Abbildung 4.55).

	1790	1805	1820	1835	Minimum in	Maximum in
blau	1.068565	0.823216	1.289776	0.977104	1805	1820
braun	19.465003	20.395572	18.690725	18.277205	1835	1805
gelb	3.882973	4.693722	4.629949	4.927214	1790	1835
grau	15.532171	14.232303	14.569307	13.006361	1835	1790
grün	0.767461	0.334740	0.441313	0.419226	1805	1790
orange	0.510311	0.939009	0.907308	1.758882	1790	1835
rot	0.195061	0.281980	0.410682	0.524795	1790	1835
violett	0.633389	0.805936	0.812728	1.232707	1790	1835
weiß	0.362987	0.324951	0.220797	0.273368	1820	1790

Abbildung 4.49: Tabellarische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Romantik“ (gewichtet).

	1790	1805	1820	1835	Minimum in	Maximum in
blau	4.864865	3.220524	4.536554	3.921569	1805	1790
braun	37.207207	38.973799	36.063969	34.937611	1835	1805
gelb	11.801802	13.864629	14.131854	15.775401	1790	1835
grau	37.297297	34.170306	34.823760	30.035651	1835	1790
grün	2.432432	1.037118	1.305483	1.247772	1805	1790
orange	1.891892	3.165939	3.394256	6.684492	1790	1835
rot	0.990991	1.473799	2.023499	2.317291	1790	1835
violett	2.072072	2.783843	2.839426	4.010695	1790	1835
weiß	1.441441	1.310044	0.881201	1.069519	1820	1790

Abbildung 4.50: Tabellarische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Romantik“ (ungewichtet).

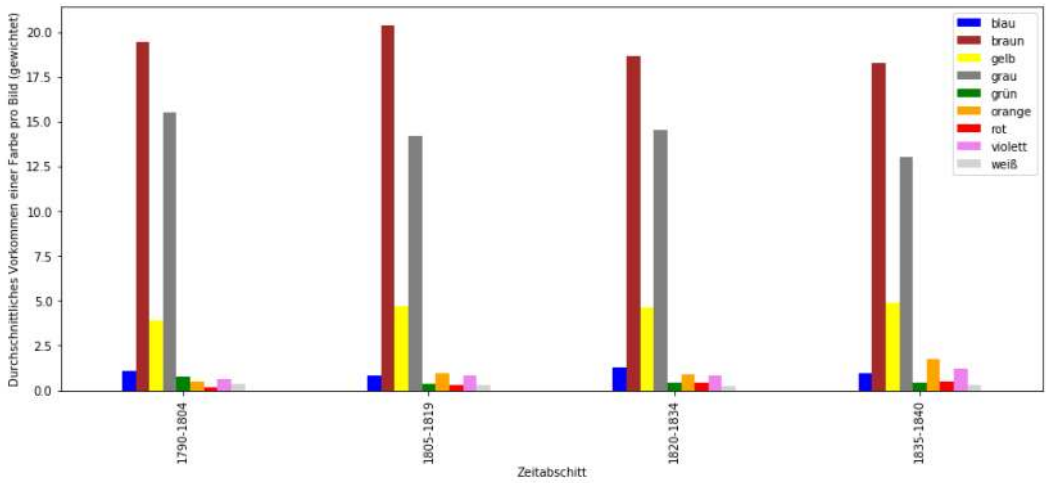

Abbildung 4.51: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Romantik“ (gewichtet).

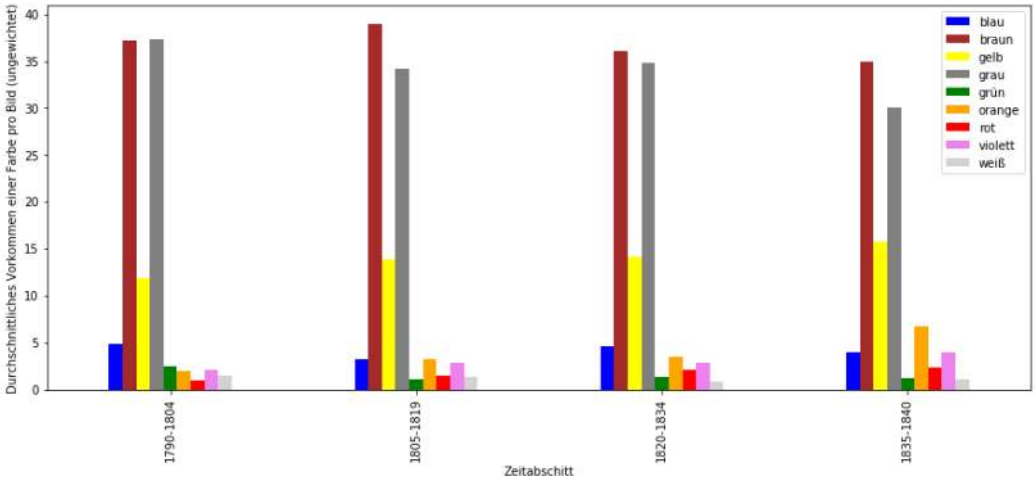

Abbildung 4.52: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Romantik“ (ungewichtet).

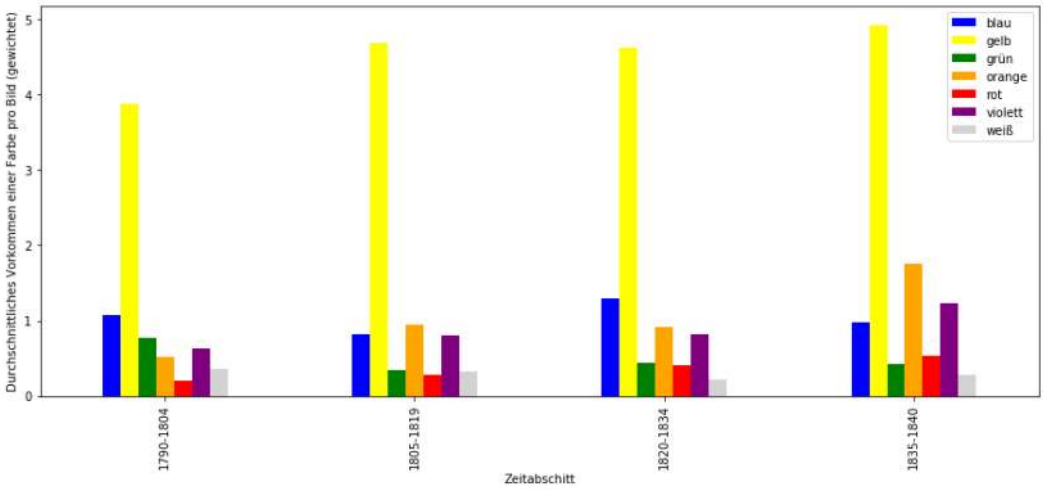

Abbildung 4.53: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, mit dem Schlagwort „Romantik“ (gewichtet und ohne Berücksichtigung der Farben Braun und Grau).

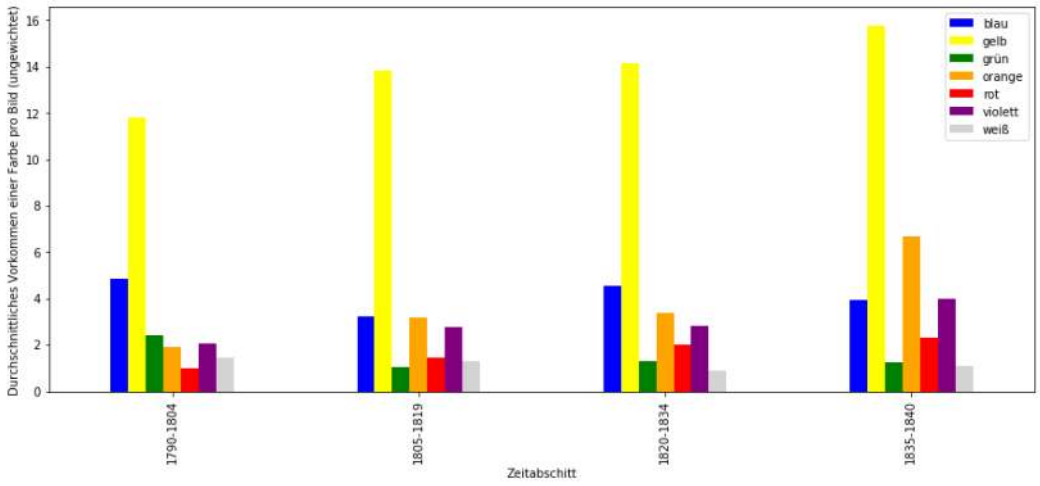

Abbildung 4.54: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, mit dem Schlagwort „Romantik“ (ungewichtet und ohne Berücksichtigung der Farben Braun und Grau).

(a) William Turner, Newark Kloster auf dem Wey, 1807

(b) William Turner, Sklavenhändler werfen die Toten und die Sterbenden über Bord. Typhon kommt herbei, 1840

Abbildung 4.55: Bilder mit der höchsten durchschnittlichen Farbsättigung, mit dem Schlagwort „Romantik“.

4.4.3 Realismus

Analyse von Bildern aus der Zeit des Realismus
Im Realismus war Sozialkritik ein großes Thema. Die Wirklichkeit wurde versucht darzustellen ohne zu beschönigen. Daher wurden in dieser Zeit vermehrt Erdfarben verwendet. Es wurde angenommen, dass hier die durchschnittliche Farbsättigung im Vergleich zum Basisbildbestand geringer ausfällt. Dies wird in Tabelle 4.18 widerlegt. Die analysierte Zeitperiode reicht von 1840 bis 1914, gefiltert wurden alle Bilder mit dem Schlagwort „Realismus“. Es zeigt sich, dass die durschnittliche Farbsättigung im zweiten Zeitabschnitt am höchsten ausfällt mit 39,7% und dann abfällt bis auf 38% (Tabelle 4.18). Über 50% der selektierten Bilder sind in der Zeit von 1853 bis 1883 entstanden (Tabelle 4.17).

	Anzahl Bilder:	Anteil am Gesamtbildbestand:
Anzahl Bilder gesamt:	578	100%
Zweiter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	66	11,4%
Dritter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	324	56,1%
Vierter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	188	32,5%

Tabelle 4.17: Auswertung der Anzahl der Bilder im ARTigo-Bildbestand aus der Zeit des Realismus.

	Durchschnittliche Farbsättigung:
Zweiter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	40,1%
Dritter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	38,1%
Vierter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	38,0%

Tabelle 4.18: Aufbereiteter Basisbestand selektiert auf das Schlagwort „Realismus“.

Vor allem zu Beginn und Anfang der analysierten Zeitperiode finden sich Bilder mit einer durchschnittlichen Farbsättigung über 55% (Abbildung 4.56). Für das untersuchte Datenset zeigt der Verlauf der durchschnittlichen Farbsättigung keine nennenswerten Auffälligkeiten.

Die graphische Auswertung der Farbverwendung (basierend auf den Abbildungen 4.57 und 4.58), zeigen ein hohes Vorkommen von braun und grau (Abbildungen 4.59 und 4.60). In Bezug auf die Annahme, dass während des Realismus vermehrt erdige Farben verwendet wurden, ist darauf hinzuweisen, dass das Vorkommen von braun seinen bisher höchsten Wert erreicht hat. Auch das durchschnittliche Vorkommen warmer Farben wie orange und rot ist im Verhältnis zum Vorkommen von grün und blau ähnlich hoch (Abbildungen 4.61 und 4.62).
Abbildung 4.63 zeigt die Bilder mit der höchsten durchschnittlichen Farbsättigung, mit dem Schlagwort „Realismus“.

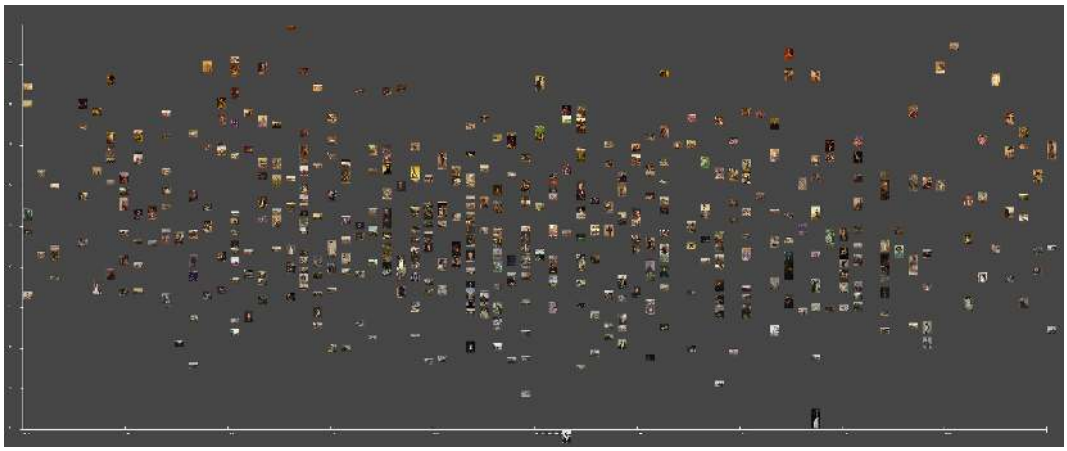

Abbildung 4.56: Aufbereiteter Basisbestand selektiert auf das Schlagwort „Realismus“ von 1840 bis 1914.

	1835	1850	1865	1880	1895	1910	Minimum in	Maximum in
blau	1.368707	0.655538	0.955972	0.583937	0.881044	0.940844	1880	1835
braun	23.031191	21.096256	19.051025	18.239368	17.505351	17.012631	1910	1835
gelb	4.943144	5.339881	4.835928	4.919977	4.273075	5.769528	1895	1910
grau	10.121262	11.782290	13.820206	12.865962	13.059263	10.431557	1835	1865
grün	0.088963	0.630128	0.945513	1.443197	1.198408	0.943282	1835	1880
orange	1.880601	1.711181	1.000040	1.254635	1.554200	1.845843	1865	1835
rot	0.324104	0.306612	0.392262	0.446119	0.709096	0.416566	1850	1895
violett	0.946196	0.924662	0.656972	1.299328	0.783890	1.217119	1865	1880
weiß	0.116759	0.035525	0.152514	0.016859	0.138812	0.461822	1880	1910

Abbildung 4.57: Tabellarische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Realismus“ (gewichtet).

	1835	1850	1865	1880	1895	1910	Minimum in	Maximum in
blau	4.740406	2.541209	4.123173	1.971190	4.040404	5.357143	1880	1910
braun	44.018059	41.483516	37.265136	36.163760	34.487734	32.142857	1910	1835
gelb	14.672686	15.728022	14.665971	15.087187	13.131313	17.261905	1895	1910
grau	24.153499	27.884615	32.515658	31.084155	32.467532	26.785714	1835	1865
grün	0.451467	1.854396	2.557411	3.866566	3.607504	2.380952	1835	1880
orange	6.320542	5.906593	4.018789	4.776346	5.339105	7.738095	1865	1910
rot	2.257336	1.373626	1.826722	2.577710	3.896104	2.976190	1850	1895
violett	2.934537	3.090659	2.400835	4.397271	2.453102	3.571429	1865	1880
weiß	0.451467	0.137363	0.626305	0.075815	0.577201	1.785714	1880	1910

Abbildung 4.58: Tabellarische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Realismus“ (ungewichtet).

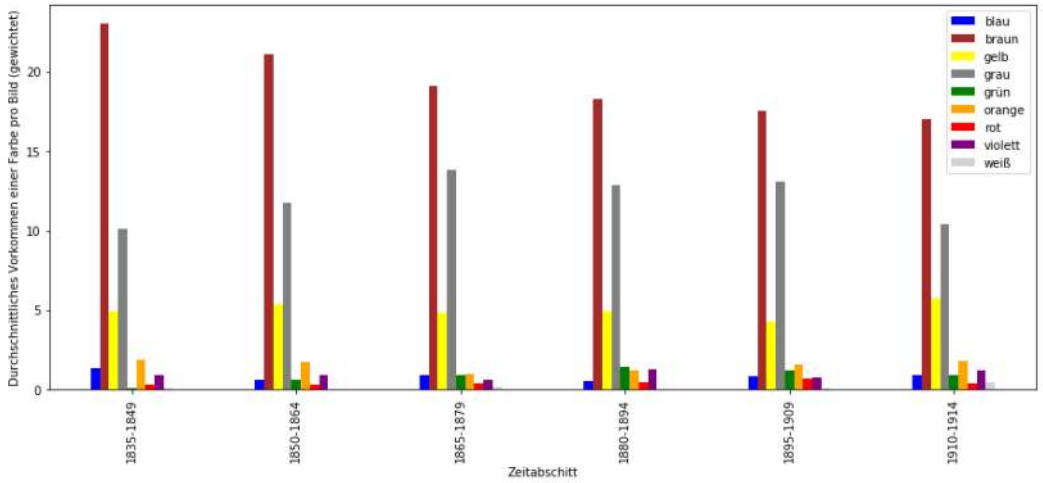

Abbildung 4.59: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Realismus“ (gewichtet).

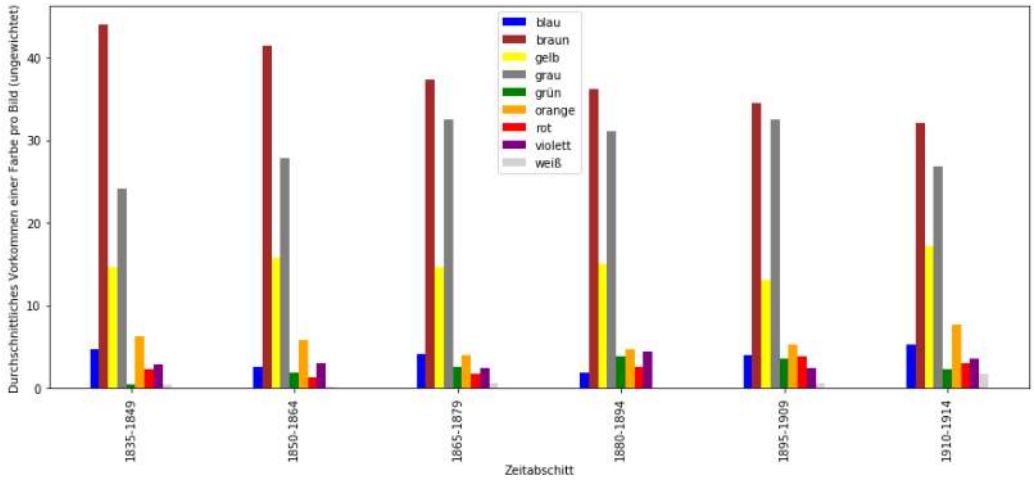

Abbildung 4.60: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Realismus“ (ungewichtet).

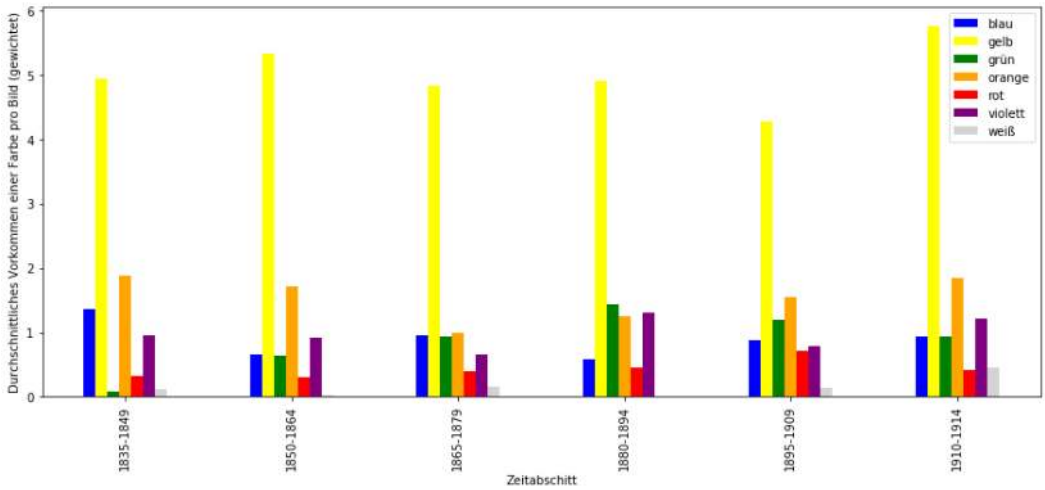

Abbildung 4.61: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, mit dem Schlagwort „Realismus“ (gewichtet und ohne Berücksichtigung der Farben Braun und Grau).

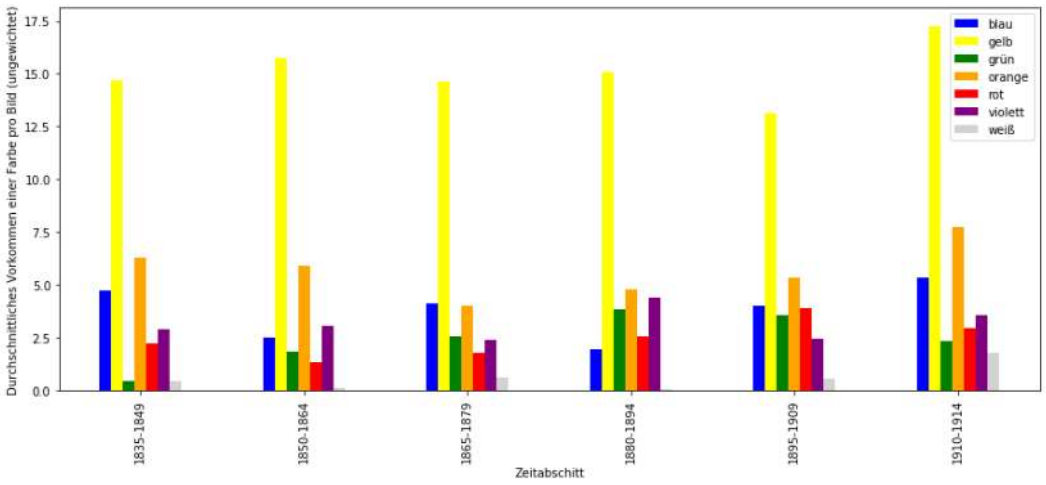

Abbildung 4.62: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, mit dem Schlagwort „Realismus“ (ungewichtet und ohne Berücksichtigung der Farben Braun und Grau).

(a) Adolph Menzel, Bauerntheater in Tirol, 1859

(b) Lovis Corinth, Liegender weiblicher Akt, 1907

(c) Emil Brack, Sohn des Künstlers als Harlekin, 1895

Abbildung 4.63: Bilder mit der höchsten durchschnittlichen Farbsättigung mit dem Schlagwort „Realismus“.

4.4.4 Impressionismus

Analyse von Bildern aus der Zeit des Impressionismus
Der Impressionismus profitierte stark von den technischen und chemischen Neuerungen im Bereich der Farbherstellung. So sind beispielsweise innerhalb des Impressionismus viele Landschaftsbilder entstanden. Ziel des Künstlers war es seine Impression in seinem Werk widerzugeben. Hier wurde erwartet, dass die durchschnittliche Farbsättigung ansteigt. Der Basisbildbestand wurde auf das Schlagwort „Impressionismus“ selektiert, ohne zeitliche Einschränkung. Der tatsächliche Zeitraum ging von etwa Mitte des 19. Jahrhunderts bis Anfang des 20. Jahrhunderts. Daher wurden der dritte und vierte Zeitabschnitt als relevant für die Auswertung angesehen. Ab 1850 lassen sich viele Bilder mit einer durchschnittlichen Farbsättigung größer als 56% finden. Dies zeigt die visuelle Auswertung 4.64. Tabelle 4.20 zeigt, dass die durchschnittliche Farbsättigung ansteigt und ihr Maximum im vierten Zeitabschnitt erreicht, mit 39,6%. Für diesen Zeitraum liegen mit 824 auch die meisten

selektierten Bilder vor (Tabelle 4.19).

	Anzahl Bilder:	Anteil am Gesamtbildbestand:
Anzahl Bilder gesamt:	1640	100%
Erster Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	75	4,6%
Zweiter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	182	11,1%
Dritter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	559	34,1%
Vierter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	824	50,2%

Tabelle 4.19: Auswertung der Anzahl der Bilder im ARTigo-Bildbestand mit dem Schlagwort „Impressionismus“.

	Durchschnittliche Farbsättigung:
Erster Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	34,0%
Zweiter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	37,8%
Dritter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	38,6%
Vierter Zeitabschnitt des 19. Jahrhunderts:	39,6%

Tabelle 4.20: Aufbereiteter Basisbestand selektiert auf das Schlagwort „Impressionismus“.

Die Farbverwendung wird erst ab 1850 genauer analysiert. Auch hier ist ein relativ hohes Vorkommen von braun und grau zu verzeichnen (Abbildungen 4.67 und 4.67 basierend auf tabellarischer Auswertung 4.65 und 4.65). In der modifizierten Veranschaulichung ohne Braun und Grau zeigt sich erneut, dass das Vorkommen bunter Farben über die Zeit meist ansteigt. Für Orange und Violett wird gegen Ende des Zeitraums ein kleiner Abfall beobachtet (Abbildungen 4.67 und 4.67).
Die drei Bilder mit der höchsten durchschnittlichen Farbsättigung für den Datensatz mit dem Schlagwort „Impressionismus“ stammen allesamt von Vincent van Gogh (Abbildungen 4.8(b), 4.16(a) und 4.8(c)). Seine berühmten Vierzehn Sonnenblumen in einer Vase belegen Platz fünf im Vergleich der höchsten durchschnittlichen Farbsättigung (Abbildung 4.71).

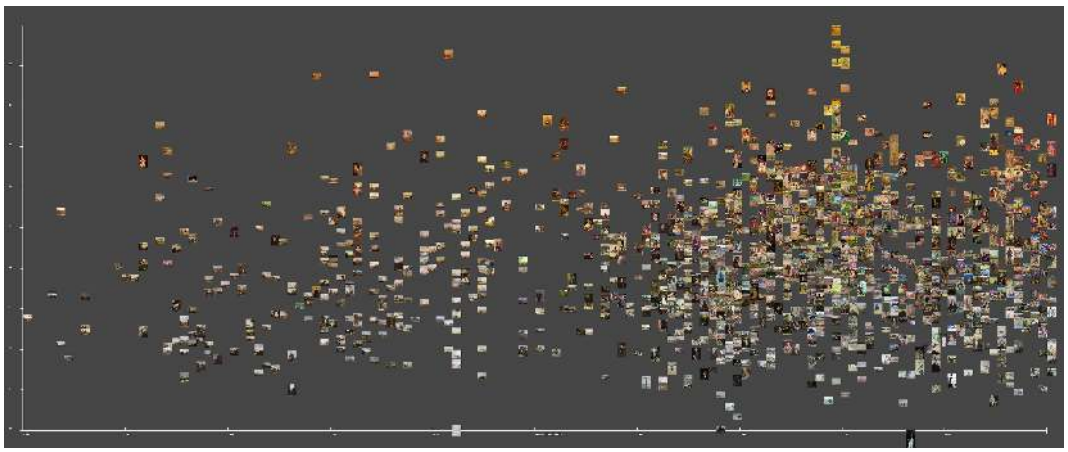

Abbildung 4.64: Aufbereiteter Basisbestand gefiltert nach dem Schlagwort „Impressionismus“.

	1790	1805	1820	1835	1850	1865	1880	1895	1910	Minimum in	Maximum in
blau	0.919749	0.424740	0.736534	0.745445	0.859494	1.314544	1.275261	1.733031	2.426218	1805	1910
braun	21.561423	22.667956	20.415558	15.616908	22.232649	14.642584	13.357446	12.099570	10.004889	1910	1805
gelb	2.826938	3.617215	4.986747	6.942946	5.173336	5.405165	4.988750	4.168481	3.550418	1790	1835
grau	16.390046	16.670927	14.953333	11.551030	11.438265	12.246136	11.460139	12.653903	12.542908	1850	1805
grün	0.963310	0.547504	0.344936	0.155608	1.019319	1.863355	2.420476	2.176514	2.701534	1835	1910
orange	0.982760	0.378734	1.280874	1.639842	1.805601	1.414286	2.113976	1.841047	1.616761	1805	1880
rot	0.264141	0.291350	0.443188	0.905913	0.315296	0.600489	0.763606	0.830219	1.059164	1790	1910
violett	0.205856	0.723431	0.794196	1.071521	0.611958	1.199956	1.712377	1.740618	1.505204	1790	1895
weiß	0.310313	NaN	0.091422	0.140098	0.029389	0.107181	0.053069	0.300190	0.131757	1850	1790

Abbildung 4.65: Tabellarische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Impressionismus“ (gewichtet).

	1790	1805	1820	1835	1850	1865	1880	1895	1910	Minimum in	Maximum in
blau	4.516129	1.518027	2.719407	2.925244	3.522727	5.817728	5.351763	7.278383	10.334789	1805	1910
braun	37.419355	42.884250	38.318912	31.419285	41.136364	29.463171	27.485380	25.194401	21.688501	1910	1805
gelb	10.322581	11.574953	14.709518	21.235103	15.681818	16.579276	15.807195	12.939347	12.081514	1790	1835
grau	38.064516	37.760911	34.116193	29.577465	27.159091	30.362047	27.946128	30.793157	31.732169	1850	1790
grün	3.225806	1.518027	0.988875	0.541712	2.840909	4.918851	5.954280	5.692068	7.205240	1835	1910
orange	3.225806	1.518027	4.326329	6.392199	5.909091	4.993758	7.531455	6.531882	5.749636	1805	1880
rot	1.290323	1.138520	1.977750	4.008667	1.363636	3.196005	3.916357	4.510109	5.458515	1805	1910
violett	0.645161	2.087287	2.472188	3.358613	2.272727	4.219725	5.794790	5.847589	5.240175	1790	1895
weiß	1.290323	NaN	0.370828	0.541712	0.113636	0.449438	0.212653	1.213064	0.509461	1850	1790

Abbildung 4.66: Tabellarische Auswertung der Farbverwendung für Bilder, mit dem Schlagwort „Impressionismus“ (ungewichtet).

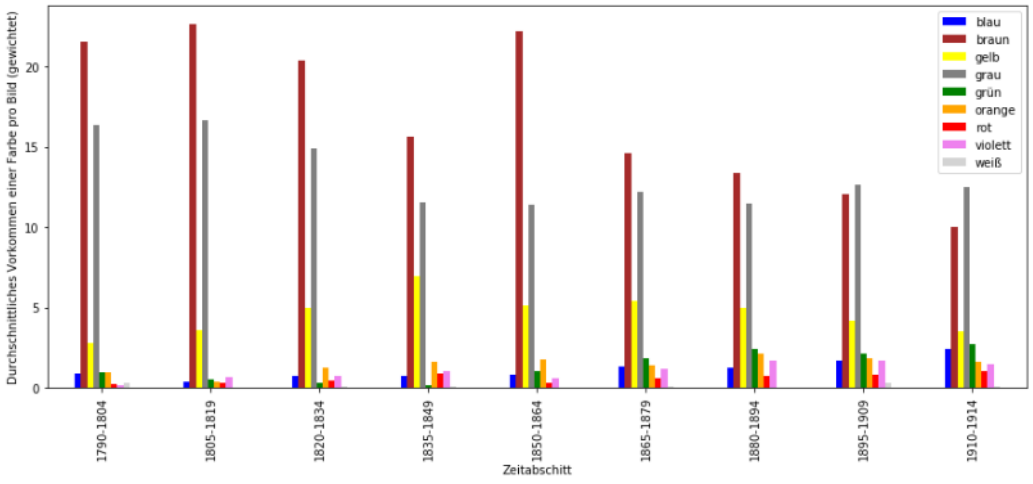

Abbildung 4.67: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Impressionismus“ (gewichtet).

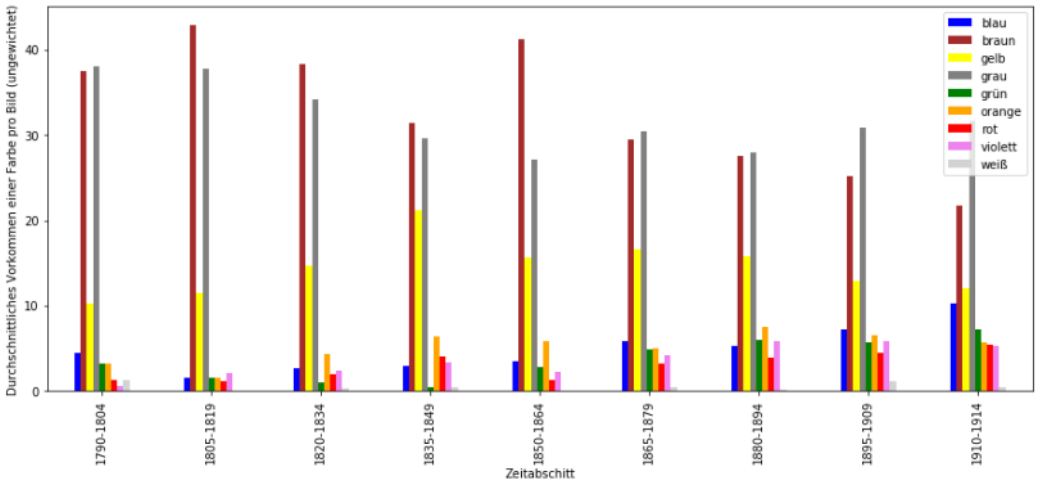

Abbildung 4.68: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Impressionismus“ (ungewichtet).

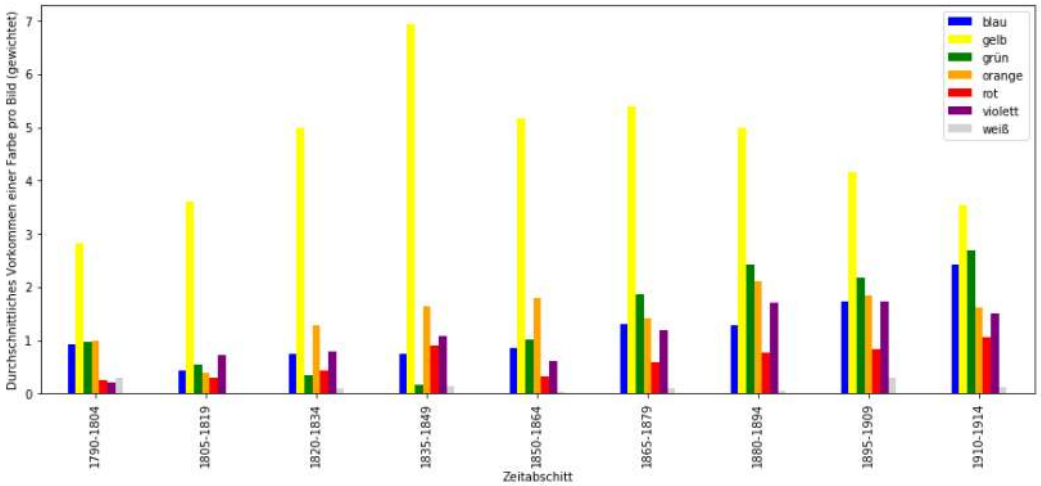

Abbildung 4.69: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Impressionismus“ (gewichtet und ohne Berücksichtigung der Farben Braun und Grau).

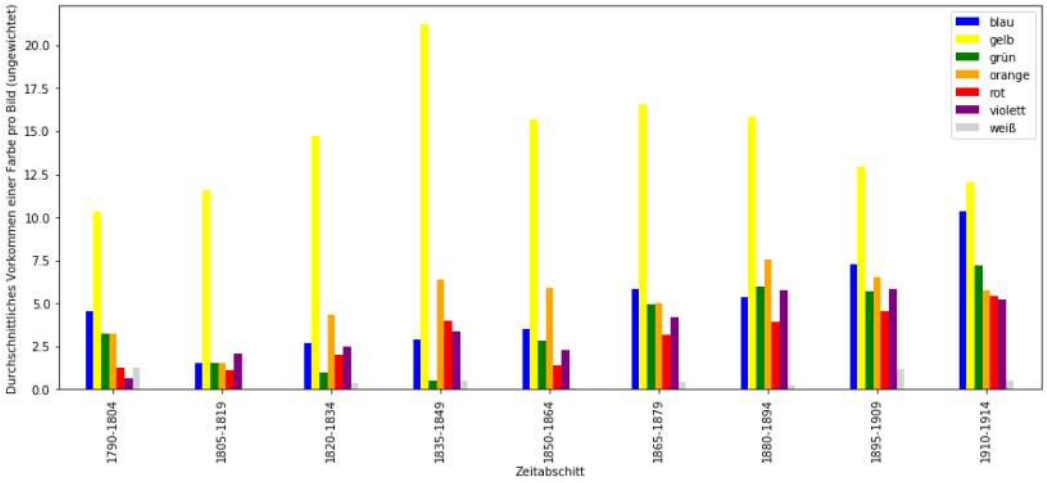

Abbildung 4.70: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Impressionismus“ (ungewichtet und ohne Berücksichtigung der Farben Braun und Grau).

Abbildung 4.71: Vincent van Gogh, Vierzehn Sonnenblumen in einer Vase, 1889

4.4.5 Moderne

Analyse von Bildern aus der Moderne
Als Vertreter für die Moderne wurde der Expressionismus genauer analysiert. Die Selektion auf das Schlagwort „Expressionismus“ ergab ein Datenset von 399 Bilder (Abbildung 4.21).

Durch das Verwenden reiner Farben, wird angenommen, dass die Bilder eine durchschnittlich höhere Farbsättigung aufzeigen, im Vergleich zum gesamten Bildbestand. Für letzteren konnte eine maximale durchschnittliche Farbsättigung von 38,9% verzeichnet werden, für den Expressionismus wurde eine durchschnittliche Farbsättigung von 40,2% festgestellt (Tabelle 4.22). Die Wirkungszeit des Expressionismus begann Anfang des 20. Jahrhunderts und endete nach dem Ersten Weltkrieg gegen 1918. In der Visuslisierung 4.72 beschreibt die x-Achse daher den Zeitraum von 1900 bis 1920, die y-Achse beschreibt weiterhin die durchschnittliche Farbsättigung der Bilder.

Anzahl Bilder gesamt:	399

Tabelle 4.21: Auswertung der Anzahl der Bilder im ARTigo-Bildbestand mit dem Schlagwort „Expressionismus“.

Durchschnittliche Farbsättigung 1900 -1920:	40,2%

Tabelle 4.22: Aufbereiteter Basisbestand selektiert auf das Schlagwort „Expressionismus“.

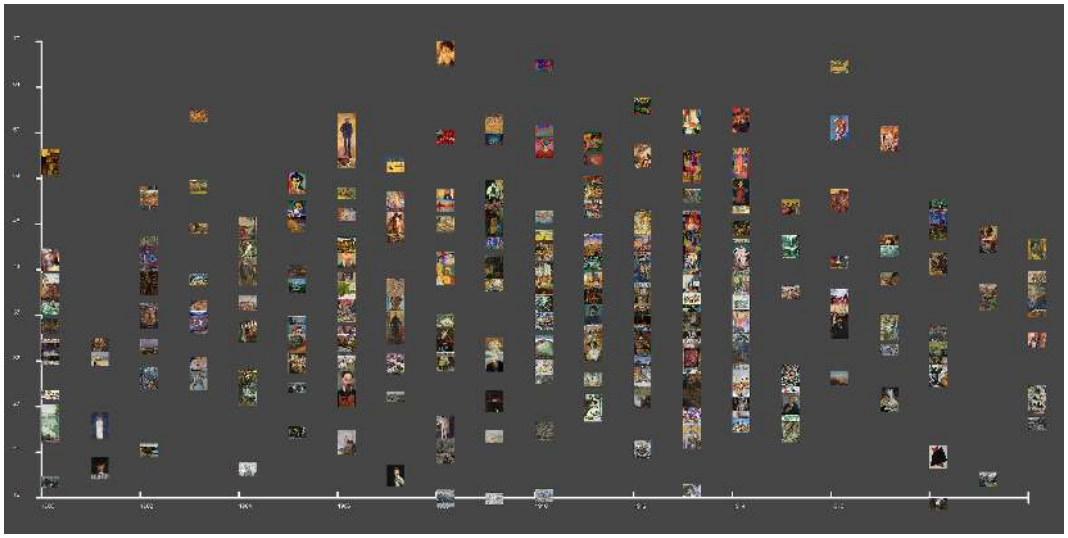

Abbildung 4.72: Aufbereiteter Basisbestand gefiltert nach dem Schlagwort „Expressionismus“ von 1900 bis 1920.

Die Auswertung der Farbverwendung ergab ein höheres Vorkommen der bunten Farben und ein niedrigeres Vorkommen der Farben Braun, Grau und Gelb (Abbildungen 4.73 und 4.74) im Vergleich zur durchschnittlichen Farbverwendung des Basisbildbestands. Für das Expressionismus-Datenset kann also festgestellt werden, dass die Bilder besonders bunt sind. Dies ist auch in der Visualisierung 4.72 sichtbar. Jedoch zeigen die graphischen Auswertungen 4.75 und 4.76 weiterhin ein besonders hohes Vorkommen brauner und grauer Farbtöne. Klammert man diese in der Beobachtung aus (Abbildungen 4.77 und 4.78), sieht man, dass innerhalb des Expressionismus insgesamt warme Farben (Orange, Rot, Violett) weniger häufig verwendet wurden als kalte Farben (Grün und Blau). Betrachtet man die gewichtete Auswertung 4.77 fällt auf, dass die saliency-Werte für Gelb, Grün und Blau von 1910 ähnlich 1920 hoch sind. Daraus kann man folgern, dass die untersuchten Farbtöne sich leicht einer Farbgruppe zuordnen lassen, und damit intensivere Farben sein

müssen. Dies spricht für die Verwendung reiner Farben während des Expressionismus. Für den Expressionismus sind die stärksten Vertreter der durchschnittlichen Farbsättigung Henri Matisses La danse (II) (1910) (Abbildung 4.24(b)), ein weiteres Werk von Lovis Corinth und ein Gemälde von Giacomo Balla (Abbildung 4.79).

	1900	1910	Minimum in	Maximum in
blau	2.361344	3.369057	1900	1910
braun	11.115613	7.848827	1910	1900
gelb	3.838410	3.312598	1910	1900
grau	11.520668	11.156025	1910	1900
grün	2.810426	3.199764	1900	1910
orange	2.026784	1.599360	1910	1900
rot	0.885452	1.474932	1900	1910
violett	1.640883	1.686206	1900	1910
weiß	0.325679	0.206786	1910	1900

Abbildung 4.73: Tabellarische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Expressionismus“ (gewichtet).

	1900	1910	Minimum in	Maximum in
blau	10.013441	13.359658	1900	1910
braun	23.588710	18.328397	1910	1900
gelb	12.701613	11.056269	1910	1900
grau	28.225806	29.680816	1900	1910
grün	6.989247	8.358013	1900	1910
orange	6.854839	5.725568	1910	1900
rot	4.771505	6.778546	1900	1910
violett	5.510753	5.890095	1900	1910
weiß	1.344086	0.822639	1910	1900

Abbildung 4.74: Tabellarische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Expressionismus“ (ungewichtet).

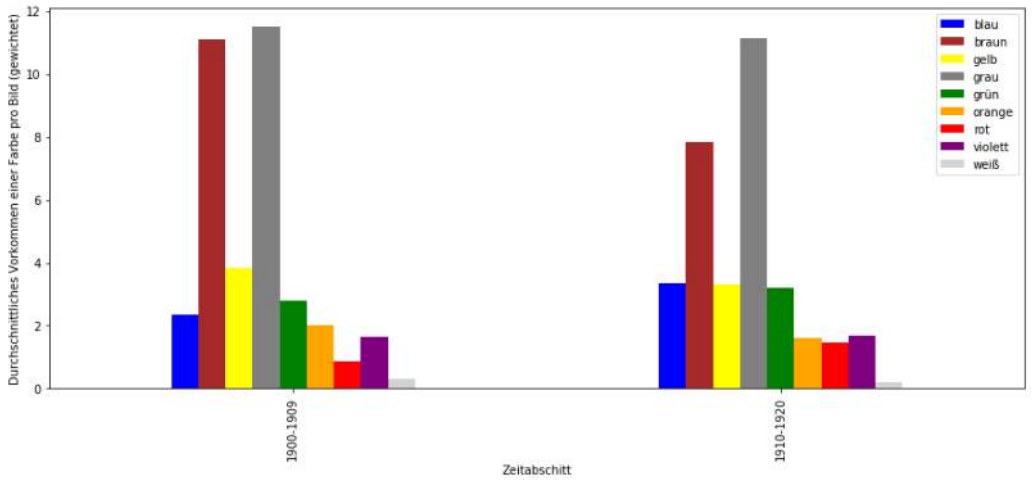

Abbildung 4.75: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Expressionismus“ (gewichtet).

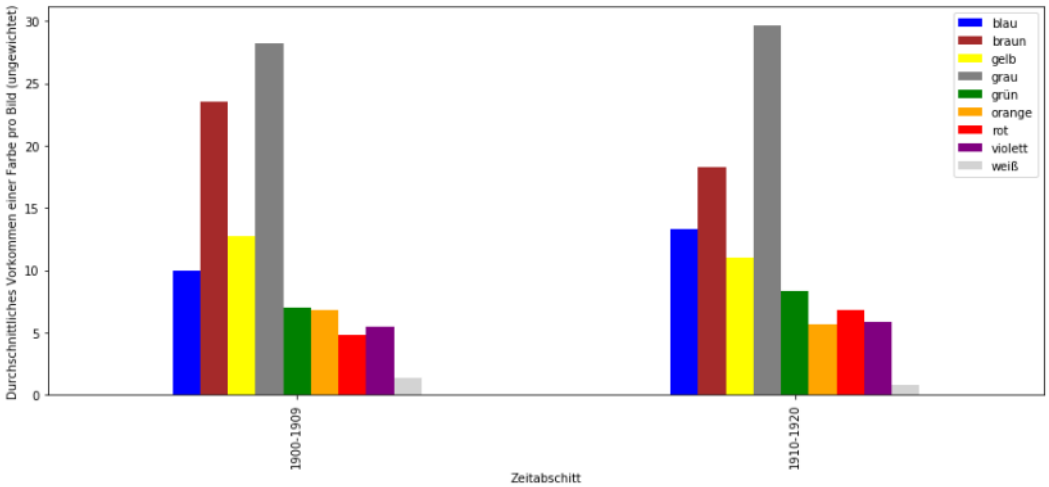

Abbildung 4.76: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Expressionismus“ (ungewichtet).

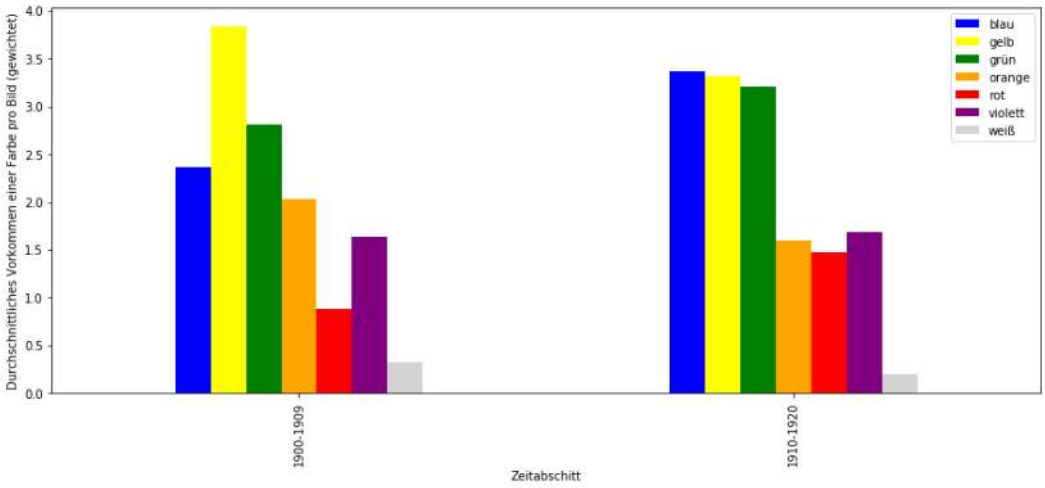

Abbildung 4.77: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Expressionismus“ (gewichtet und ohne Berücksichtigung der Farben Braun und Grau).

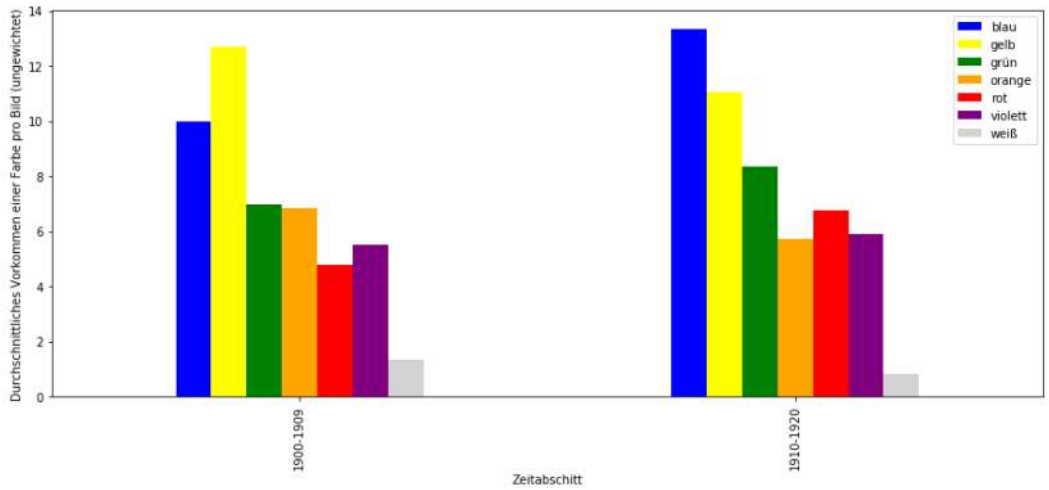

Abbildung 4.78: Graphische Auswertung der Farbverwendung für Bilder mit dem Schlagwort „Expressionismus“ (ungewichtet und ohne Berücksichtigung der Farben Braun und Grau).

(a) Lovis Corinth, Dame mit Weinglas, 1908

(b) Giacomo Balla Paesaggio, 1916

Abbildung 4.79: Bilder mit der höchsten durchschnittlichen Farbsättigung mit dem Schlagwort „Expressionismus“.

4.5 Diskussion der Ergebnisse

Einige der Annahmen in Bezug auf die Veränderung der Farbverwendung konnten mithilfe der durchgeführten Auswertungen bestätigt werden. Das Datenset von 5577 Bildern ist jedoch nicht groß genug, um hier valide Aussagen für die tatsächliche Farbverwendung treffen zu können. Dies gilt daher auch für die selektierten, kleineren Bildbestände.
Die Grundeinschränkung der hier verwendeten Methodik ist, dass keine Analyse der reinen, einzelnen Farbpigmente erfolgen kann. Hierzu müsste eine chemische Untersuchung der Farbpigmente jedes einzelnen Gemäldes vorliegen. Der Aufbau solch einer Datebank wäre aufwendig und ressourcenintensiv. Die Metadaten halten diese Informationen daher nicht bereit. Es gilt also zu beachten, dass für diese Auswertung Mischfarben analysiert wurden, keine reinen Farbpigmente. Beispielsweise ein Grün, das durch Mischen von Gelb und Blau entstanden ist, wird als Vorkommen von Grün verzeichnet, wenn es ausgeblichen ist, eventuell sogar als Braun oder Grau. Die eigentlichen Farbpigmente, die verwendet wurden (Blau und Gelb), gehen bei der Auswertung also unter. Farben verlieren durch Mischen ihre Farbsättigung und können deshalb auch schlechter einer Farbgruppe zugeordnet werden. Daher rührt vermutlich auch das in allen Auswertungen besonders hohe Vorkommen von Braun und Grau. Eine verlässliche Aussage zur Verwendung einzelner Farbpigmente ist auf Basis des zugrundeliegenden Datensatzes also nicht möglich. Die Auswertung ist dennoch sinnvoll und interessant. Sie bietet einen Überblick über die Farbgebung von ausgewählten Bildern im Allgemeinen und für Farbgruppen.
Insgesamt wurde ein Anstieg in der Verwendung von bunten Farben über die Zeit festegestellt. Dies wird besonders bei der Analyse des Basisbildbestands sichtbar. Auch ein stetiges Ansteigen der durchschnittlichen Farbsättigung kann hier wie erwartet beobachtet werden. Dies gilt auch für die Analyse der Bilder mit dem Schlagwort „Landschaft“, sowie für die Auswertungen von Bildern mit mindestens einem dominanten blauen, gelben oder grünen Farbton. Die Werke der Künstler Lovis Corinth, Vincent van Gogh und William

Turner stechen bei der Analyse der Bilder mit der höchsten durchschnittlich Farbsättigung hervor.
Die Analyse der diveren Kunststile lieferte teilweise überraschende Ergebnisse. Für die Bilder mit den Schlagworten „Klassizismus“ oder „Klassik“ fiel die Auswertung der durchschnittlichen Farbsättigung unerwartet hoch aus. Ein Grund hierfür könnte sein, dass den Künstlern durchaus Farben mit hohen Sättigungen zur Verfügung standen, allerdings vermutlich im Bereich der Erd- und Rottöne.
Die Auswertung der Bilder mit dem Schlagwort „Romantik“ beziehungsweise „Impressionismus“ verhielt sich wie erwartet. Hier war ein Anstieg der durchschnittlichen Farbsättigung und der durchschnittlichen Verwendung von Farben erkennbar.
Die durchschnittliche Farbsättigung der Bilder mit dem Schlagwort „Realismus“, verzeichnete einen Abfall während des untersuchten Zeitraums. Das Maximum lag zwischen 1822 und 1852 bei 40,1%. Hier ist allerdings zu beachten, dass für diesen Abschnitt nur 66 Bilder für die Auswertung vorliegen.
Eine höhere durchschnittliche Farbsättigung wird nur für den Zeitabschnitt von 1900 bis 1920 erreicht. Die Analyse der Bilder mit dem Schlagwort „Expressionismus“ ergab die höchste durchschnittliche Farbsättigung mit 40,2%.
Ein möglicher Grund warum die Auswertungen für die Bilder mit den Schlagwörtern „Klassizismus“, „Klassik“ oder „Realismus“ anders als erwartet ausfallen, ist die geringe Anzahl der zur Verfügung stehenden selektierten Bilder. Zudem wurde hier nur ein beschränkter Zeitraum betrachtet. Die Auswertungen, welche sich auf den gesamten Zeitraum des Langen 19. Jahrhunderts beziehen, lieferten stets das erwartete Ergebnis in Bezug auf den Anstieg von durchschnittlicher Farbsättigung und Vorkommen einer Farbe.

KAPITEL 5

Ausblick

Das Beobachten, wie sich die Farbverwendung im Verlauf des Langen 19. Jahrhunderts verändert hat, kann mit einer größeren Fülle an zu Verfügung stehenden Metadaten noch vielversprechend ergänzt werden. Würde man den ARTigo-Datensatz um den Entstehungsort eines Gemäldes erweitern, ließen sich hierauf basierend geographische Auswertungen zur Verbreitung einer Farbe in einem bestimmten Raum analysieren. So könnten Landkarten mit der Verwendung von Farbtönen in Verbindung gebracht werden. In Form von Animationen könnte man so eventuell den Ursprung und die Verbreitung einzelner Farbpigmente darstellen und auch den Erfindungsort einer Farbe mit den Arealen in Verbindung bringen, in denen sie verwendet wurden. Beispielsweise wäre die Verbreitung des Schweinfurter Grüns interessant zu beobachten. Vielleicht könnte man in der Umgebung von Schweinfurt ab 1822 einen Anstieg in der Verwendung von Grüntönen beobachten und dann die Verbreitungswege nachvollziehen.
Wenn die Nationalität des Künstlers zu einem Bild gespeichert werden würde, könnten sich eventuell kulturelle Vorlieben in der Farbgebung wiederfinden oder auch anderen kulturelle Abhängigkeiten. Kunst ist eines der höchsten Kulturgüter, hier würden sich sicherlich Gemeinsamkeiten und Widerspruche zu anderen Kulturen wiederfinden.
Bringt man Ort und Gesellschaft (Nationalität) in Verbindung, lassen sich vielleicht sogar weitere sozioökonomische Phänomene in der Kunst wiederfinden. Wie eventuell eine zeitweise starke Veränderung der Farbgebung, in Form von dunklen Farben aufgrund einer gesellschaftlichen Depression durch zum Beispiel Hungersnöte.
Eine weitere Auswertung, für die keine Erweiterung des Datensatzes nötig wäre und die auch ohne chemische Analyse der reinen Farbpigmente machbar wäre, ist das gezielte Untersuchen einzelner Farbwerte für spezielle Farbpigmente. Hätte man zu den interessanten Farbpigmenten wie zum Beispiel Strontiumgelb den CIEL*a*b*-Farbwert, könnte man die Bildbestände auf genau deren Vorkommen filtern. Hierzu wäre es von Vorteil eine gewisse Abweichung zum originalen Farbwert zuzulassen, um unter den dominanten Farben pro Bild fündig zu werden.
Für eine exakte Suche einzelner Farbwerte, müsste man theoretisch den Farbwert von jedem Pixel eines Bildes speichern. Das Erstellen und Durchsuchen dieser Datenmenge wäre sehr rechenintensiv und aufwendig. Jedoch würden so durch Bildsegmentierung keine Farbinformationen verloren gehen. Dieser Ansatz würde allerdings das Problem der Mischfarbenanalyse auch nicht lösen.
Auch interessant wäre die Auswertung der Farbverwendung über das gesamte zeitliche

Spektrum des ARTigo-Bildbestands. Vielleicht ließe sich hier auch außerhalb des 19. Jahrhunderts ein genereller Anstieg in der Farbverwendung erkennen.

Literaturverzeichnis

[1] *CIE-Normfarbtafel*, https://wisotop.de/xyz-zur-cie-farbtafel.php (abgerufen am 10.09.2018).

[2] *CIELab*, http://www.gm.fh-koeln.de/hstl/Dokumente/Projekt-Wolter-2003/CIELab/Theorie/CIELab.html (abgerufen am 10.09.2018).

[3] *CIELab-Farbraum*, https://wisotop.de/lab-farbmodell.php (abgerufen am 30.10.2018).

[4] *Farbabstand*, https://https://wisotop.de/farbabstand-farben-vergleichen.php (abgerufen am 30.10.2018).

[5] *Farbmodelle*, https://www.filmscanner.info/Farbmodelle.html (abgerufen am 01.09.2018).

[6] *HSV color solid cone chroma gray*, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HSV_color_solid_cone_chroma_gray.png (abgerufen am 20.09.2018).

[7] *ImagePlot*, http://lab.softwarestudies.com/p/imageplot.html (abgerufen am 28.06.2018).

[8] *Kunst des 19. Jahrhunderts*, https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/kunst/artikel/kunst-des-19-jahrhunderts-19-jahrhundert (abgerufen am 15.05.2018).

[9] *Persönliche Kommunikation bezüglich Kunstgeschichte mit Fr. Reinkowski am 12. Dezember 2017*.

[10] *RGB-Würfel*, https://designforschung.files.wordpress.com/2014/04/rgb-wc3bcrfel-blick-auf-schwarz-eigenbau.png (abgerufen am 01.09.2018).

[11] François Bry and Clemens Schefels, *An Analysis of the ARTigo Gaming Ecosystem With a Purpose*, Research Report PMS-FB-2016-6, Institute for Informatics, Ludwig-Maximilian University of Munich, 2016.

[12] Andreas Burmester and Claudia Denk, *Comment ils inventaient ces verts chatoyants?– Blau, Gelb, Grün und die Landschaftsmalerei von Barbizon*, na, 1999.

[13] Markus Dahm, *Grundlagen der Mensch-computer-interaktion*, Pearson Studium München, 2006.

[14] Jeffrey Heer and Maureen Stone, *Color naming models for color selection, image editing and palette design*, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 2012, pp. 1007–1016.

[15] Johannes Itten, *The Art of Color: The Subjective Experience and Objective Rationale of Color. A VNR book.*, Wiley, 1974.

[16] Andrea Meyer, *Spinatbilder und Fliegenschmutz oder Barbizon vor Barbizon*, Deutscher Kunstverlag, 2010.

[17] Matthias Mossburger, *Colour Labelling of Art Images Using Colour Palette Recognition*, Bachelorarbeit/bachelor thesis, 2017.

[18] Randall Munroe, *Color survey results*, Website, 2010.

[19] Chris Piech, *K-means - handout*, Website, 2012.

[20] Play4Science-Projekt, *Play4Science-Projekt ARTigo Description*, Website, 2018.

[21] Corina Schemainda, *Qualitative Analysis of the ARTigo Gaming Ecosystem*, Bachelorarbeit/bachelor thesis, 2014.

[22] Gaurav Sharma and Raja Bala, *Digital color imaging handbook*, CRC press, 2002.

[23] Gaurav Sharma, Wencheng Wu, and Edul N Dalal, *The CIEDE2000 color-difference formula: Implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations*, Color Research & Application **30** (2005), no. 1, 21–30.