

# Methoden zur automatisierten Farbgestaltung von Webseiten aus Bildvorlagen.

Masterprojekt

Philipp Anders

27. März 2017

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
1.1	Problemmodellierung . . . . .	3
1.2	Color Palette Estimation . . . . .	4
1.3	Einordnung und Literaturbesprechung . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Farbgestaltung von Webseiten</b>	<b>7</b>
2.1	Lesbarkeit . . . . .	7
2.2	Benutzerführung . . . . .	8
2.2.1	Farbfunktionen . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Problemlösungsansatz und Systemarchitektur</b>	<b>13</b>
3.1	Regelbasierter oder probabilistischer Ansatz . . . . .	13
3.2	Layouts . . . . .	14
3.3	Aufteilung der Suchverfahren mit Systemarchitektur . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Algorithmen zur Color Palette Estimation</b>	<b>16</b>
4.1	Überblick . . . . .	16
<b>5</b>	<b>ACoPa</b>	<b>18</b>
5.1	Konvertierung in den HSI-Raum . . . . .	19
5.2	Histogramm-Segmentierung . . . . .	20
5.3	Bildung der hierarchischen Farbpalette . . . . .	20
<b>6</b>	<b>Ausblick</b>	<b>21</b>
	<b>Literatur</b>	<b>22</b>

# 1 Einleitung

Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung von Methoden zur automatisierten Bestimmung der Farbwerte von Oberflächenelementen in Webseiten, welche sich an einer Bildvorlage orientieren. Die Beantwortung dieser Fragestellung erfolgt durch den Vorschlag und die Umsetzung eines konkreten Verfahrens. Unterabschnitt 1.1 unternimmt eine grundlegende Modellierung des Färbungsproblems in Bezug auf Webseiten und legt den Rahmen der Zielstellung fest. Unterabschnitt 1.2 stellt das Teilproblem der Ermittlung repräsentativer Farben eines Bildes vor. Unterabschnitt 1.3 ordnet die Arbeit in den aktuellen Forschungskontext ein.

## 1.1 Problemmodellierung



Abbildung 1: Beispiel der Farbgestaltung einer exemplarischen Weboberfläche für Musik-Streaming. (a) Generische Farbgestaltung ohne Anpassung an das Albumcover. (b) Separate Hervorhebung der sechs Color Groups. Elemente einer Color Groups sind jeweils rot dargestellt. (c) Beispiel einer Farbgestaltung mit Anpassung an das Album Cover.

Der CSS-Standard zur Beschreibung der Formatierung von HTML-Dokumenten definiert mehr als 10 Eigenschaften zur farblichen Gestaltung, wobei einige spezifisch für bestimmte HTML-Elemente sind [31]. In dieser Arbeit werden die Farbeigenschaften von zwei verschiedenen Arten von Oberflächenelementen  $e = (c_{\text{text}}, c_{\text{background}}) = C \times C$  betrachtet:

1. **Textelemente**  $e_{\text{Text}}$ : Elemente mit transparentem Hintergrund und definierter Vordergrundfarbe (z.B. `<h1>`, `<a>`, etc.). Diese besitzen die CSS-Eigenschaften `{ background-color: transparent, color:  $e.c_{\text{text}}$  }`.  
Dementsprechend gilt:  $\text{type}(e) = \text{Text} \implies e.c_{\text{background}} = \text{"transparent"}$ .
2. **Blockelement**  $e_{\text{Block}}$ : Elemente, die visuell als Blöcke wahrgenommen werden (z.B. `<div>`, `<button>`, etc.). Diese besitzen die CSS-Eigenschaften `{ background-color:  $e.c_{\text{background}}$ , color:  $e.c_{\text{text}}$  }`.

Es wird also die Farbbestimmung von Vorder- und Hintergrundfarben fokussiert. Rahmen, Textdekoration und andere färbare Eigenschaften werden vernachlässigt.

Üblicherweise werden mehrere Elemente eines HTML-Dokuments auf die gleiche Farbe abgebildet. Ein Beispiel ist die Darstellung aller Links ( $e.c_{\text{text}}$ ) sowie Buttons ( $e.c_{\text{background}}$ ) in Blau. Im Folgenden wird eine Liste von Elementen einer Webseite mit gleicher Farabbildung als **Color Group**  $CG = (e_1, e_2, \dots)$  bezeichnet [siehe auch 11, 20]. Die Menge aller Color Groups einer Webseite heißt **Color Groups**  $CGs = \{CG_1, \dots, CG_k\}$  mit  $|CGs| = k$ . Abbildung 1 veranschaulicht dies anhand einer exemplarischen Webseite für Musik-Streaming. (a) zeigt ein generisches Farbdesign, während (b) die sechs Color Groups separat hervorhebt.

**TODO: Abbildung updaten**

Webdesigner verkleinern den Suchraum zur Identifizierung geeigneter Farben für die Color Groups durch die Verwendung einer sogenannten **Farbpalette** [11, 12, 28]. Dabei handelt es sich um eine Farbmenge  $P = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$  mit  $n$  Farben, wobei jedes  $c \in P$  als String von RGB Werten kodiert wird. **Die Farbgestaltung einer Webseite ist die Abbildung  $f_{\text{coloration}} : CGs \rightarrow P$  mit folgender Definition:**

$$f_{\text{coloration}} : CGs \rightarrow P,$$


---


$$f_{\text{coloration}}(CG) = c \implies \forall e \in CG : \begin{cases} e.c_{\text{text}} = c, & \text{wenn } type(e) = \text{Text} \\ e.c_{\text{background}} = c, & \text{wenn } type(e) = \text{Block} \end{cases} \quad (1)$$

Entscheidendes Kriterium für die Zuordnung ist eine funktionale Gestaltung der Webseite. Im Rahmen dieser Arbeit wird hierunter eine Färbung der Oberflächenelemente verstanden, die **Textlesbarkeit** und **Benutzerführung** gewährleistet. Eine intuitiv widersinnige Färbung ist beispielsweise roter Text auf orangem Hintergrund mit grauem Button. Weder ist der Text lesbar, noch wird die Aufmerksamkeit des Nutzers auf das Interaktionselement gelenkt.

Die Farbpalette soll auf einer Bildvorlage basieren. So wird eine Harmonisierung des visuellen Eindrucks einer Weboberfläche und einer darin präsenten Grafik erreicht. Da die Farben einer Webseite wesentlich für deren vermittelte Atmosphäre sind [12], soll die Anpassung der Farbgebung an ein Motiv den Eindruck des Bildes unterstützen. Da die Farbpalette somit auf den verarbeiteten Daten basiert, ist eine Berechnung der Farbgestaltung einer Webseite zur Laufzeit möglich. Ein Anwendungsbeispiel hierfür ist die farbliche Anpassung einer Webanwendung für Musikstreaming an das gespielte Albumcover. Abbildung 1 (c) zeigt hierfür ein Beispiel. Die Ermittlung von  $P$  aus einer Grafik wird als Color Palette Estimation bezeichnet und im Folgenden besprochen.

## 1.2 Color Palette Estimation

Die Abbildung einer Bildvorlage  $I$  auf eine Farbpalette  $P$  wird von Delon et al. [6] als **Color Palette Estimation** (CPE)  $f_{CPE} : I \rightarrow P$ , bezeichnet und als die Repräsentation eines Bildes mit einer minimalen Menge von Farben beschrieben. „Minimal“ bedeutet nach Auffassung der Autoren, dass redundante Farben reduziert und die seltenen Farben der für die Wahrnehmung wichtigen Objekte erhalten bleiben. Formale Kriterien werden hierfür jedoch nicht geliefert. Abbildung 2 veranschaulicht diese intuitive Definition am Beispiel eines Bildes mit einem Marienkäfer, dessen Sichtbarkeit von der Wahl der Farbpalette abhängt.

Historisch geht die CPE aus der Farbquantisierung hervor, bei der die Farben von Grafiken aufgrund der damals zu kleinen Kapazität von Grafikpuffern vor deren Anzeige reduziert (Farbreduktion) und dann auf die reduzierte Farbpalette abgebildet wurden (Quantisierung) [33]. Aus diesem Kontext kommt das formale Kriterium der Summe des quadratischen Fehlers, welcher in diesem Anwendungsfall auch als *Recoloring Error* bezeichnet wird [19]. Da Grafikpuffer mittlerweile über ausreichend Kapazität verfügen liegt die Anwendung der CPE in anderen Bereichen, wie z.B. der farbbasierten Indizierung von Grafiken in

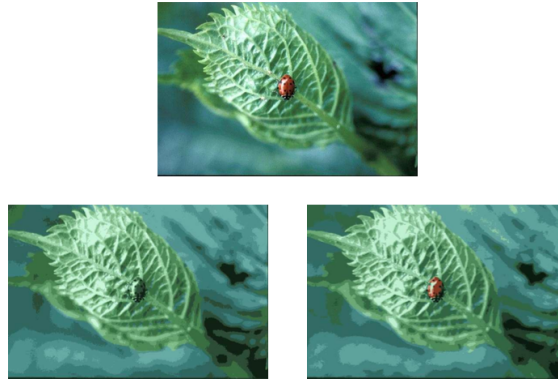


Abbildung 2: Beispiel für die Einfärbung eines Bildes mit unterschiedlichen Farbpaletten der Größe 12. Oben: Originalbild. Links: Farbpalette ohne rote Farbtöne. Rechts: Farbpalette mit roten Farbtönen, wodurch der Marienkäfer erkennbar ist (Quelle: [6])

Datenbanken oder der Zusammenstellung von Farbpaletten zu Gestaltungszwecken. Lin und Hanrahan [19] zeigen, dass in letzterem Kontext der Recoloring Error keine geeignete Metrik zur Beurteilung der Güte einer Farbpalette in Bezug auf die Bildvorlage ist. Dies beruht auf den menschlichen Wahrnehmungseigenschaften, wobei Bilder auf Komponenten- und nicht auf Pixelebene erfasst werden. Stattdessen werden eine Reihe anderer Metriken vorgestellt, die diesen Umstand berücksichtigen. Die Autoren zeigen zusätzlich empirisch, dass abhängig vom Individuum ein und dieselbe Farbpalette im Bezug auf die Bildvorlage als unterschiedlich repräsentativ bewertet wird.

Dieser Befund hebt hervor, dass die Güte der Abbildung  $I \rightarrow P$  subjektiv ist und vom Anwendungsbezug abhängt. Aus diesem Grund wird für die Beurteilung der zu ermittelnden Farbpalette keine objektive Bewertungsfunktion herangezogen. Stattdessen wird die Auswahl eines Algorithmus zur CPE fokussiert, dessen resultierende Farbpalette zweckmäßig in Hinblick auf die farbliche Gestaltung von Webseiten ist. Hierfür werden in Abschnitt 2 Prinzipien für eine funktionale Gestaltung von Webseiten sowie Farbdefinitionen in Style Guides analysiert.

### 1.3 Einordnung und Literaturbesprechung

Diese Arbeit ordnet sich in das Gebiet der automatisierten Farbgestaltung (*Color Design Automation*) ein. In diesem Bereich hat in den letzten Jahren Forschung in verschiedenen Anwendungsbezügen stattgefunden, wobei überwiegend Methoden des maschinellen Lernens zur Problemlösung zum Einsatz kommen.

O'Donovan et al. [24] haben 2011 ein Regressionmodell zur Bewertung der Farbkompatibilität von bis zu fünf Farben entwickelt, d.h. zur Bewertung der Farbharmonie einer Farbpalette. Hierfür wurde ein Training an den Datenbeständen von Farbpaletten-Communities wie z.B. Adobe Color<sup>1</sup> durchgeführt. Dabei hat sich unter anderem ergeben, dass die auf geometrischen Strukturen im Farbkreis beruhenden Modelle der klassischen Farbentheorie Farbharmonien nicht zufriedenstellend voraussagen und in bestimmten Fällen sogar kontraproduktiv sind. Hierzu zählen zum Beispiel die Farbton-Schablonen von Itten [15] oder Munsell und Birren [22]. Die Grenzen des Modells liegen in der Bewertung der Harmonie von

---

<sup>1</sup><https://color.adobe.com/de/explore/>

Farben mit unterschiedlicher räumlicher Ausprägung [11, 20]. Eine Matlab-Implementierung des Modells zur Überprüfung von Farbharmonien steht öffentlich zum Download bereit<sup>2</sup>.

Lin et al. [20] haben sich 2013 mit der Lösung einer grundlegenden Form eines Färbungsproblems auseinandergesetzt: Die Kolorierung von Mustern nach dem Prinzip "Malen nach Zahlen". Hierfür wurde ein probabilistisches Modell entwickelt, indem über 8000 von Künstlern entworfene Muster ausgewertet wurden<sup>3</sup>. Konkrete Färbungslösungen werden durch einen *Factor Graph* ermittelt, was ebenfalls einen Ansatz für die vorliegende Arbeit darstellt. Das Modell von O'Donovan et al. [24] wird als externer Bestandteil des Graphen hinzugefügt, um eine globale Kompatibilität der eingesetzten Farben zu gewährleisten. Eine Anwendung, welche die Autoren vorschlagen, stellt die Umkehrung des Ziels dieser Arbeit dar: Die Anpassung eines Musters an das Farbschema einer Webseite.

Gu und Lou [11] haben sich 2016 mit der automatisierten Farbgestaltung von Webseiten auseinandergesetzt. Durch die Auswertung von 500 Webseiten wurde ein probabilistisches Modell in Form eines Optimierungsproblem mit drei Zielfunktionen entwickelt. Zielfunktionen 1 gewährleistet einen ausreichenden Kontrast zwischen den Oberflächenelementen. Zielfunktion 2 passt die Farbgestaltung an ein Schlüsselwort an (z.B. „Business“ oder „Fresh“). Zielfunktion 3 wird durch das Modell von O'Donovan et al. [24] realisiert und gewährleistet Farbharmonie. Die Optimierung wird durch eine lexikographische Strategie umgesetzt, bei welcher in Interaktion mit einem Gestalter die Zielfunktionen nacheinander angewendet werden. Die Farben zur Seitenfärbung werden Farbpaletten von Adobe Color<sup>4</sup> entnommen. Als alternatives Anwendungsbeispiel extrahieren die Autoren eine Farbpalette aus einer Grafik und nutzen diese als Grundlage zur Färbung, was dem Ziel der vorliegenden Arbeit entspricht. Zur CPE wird der K-Means Algorithmus verwendet. Somit ist der vorgestellte Prozess der Autoren im Gegensatz zum Ziel dieser Arbeit lediglich teilautomatisiert. Einerseits muss ein geeignetes  $k$  des K-Means Algorithmus vom Anwender ermittelt werden, andererseits erfordert die lexikographischen Strategie bei der Optimierung eine Nutzerinteraktion. Somit handelt es sich bei der Lösung um ein Unterstützungswerkzeug für Webdesigner und nicht um ein System zur vollautomatisierten Farbgestaltung einer Webseite.

Jahanian et al. [16] haben sich 2013 mit der automatisierten Farbgestaltung von Magazin-Covers auseinandergesetzt. Vergleichbar mit [11] wird ebenfalls die Optimierung des Farbkontrasts, der Farbharmonie und der Farbsemantik verfolgt. Im Gegensatz zu den bisherigen Lösungen wird allerdings mit expliziten Regeln zur Bewertung von Farbharmonien- [15] und Kontrasten anstatt mit Modellen gearbeitet, die sich aus Trainingsdaten ableiten. Über Flowcharts vermitteln die Autoren Lösungsprozeduren zur Suche geeigneter Schriftfarben unter Beachtung des Kontrasts, welche eine Anregung für die vorliegende Arbeit darstellen.

---

<sup>2</sup><http://www.dgp.toronto.edu/~donovan/color/>

<sup>3</sup><http://www.colourlovers.com/>

<sup>4</sup><https://color.adobe.com/de/explore/>



Abbildung 3: Die 40 populärsten Textfarben in Webseiten machen 70% aller verwendeten Textfarben aus. (Quelle: [18])

## 2 Farbgestaltung von Webseiten

Die Ziele der farblichen Gestaltung im Rahmen dieser Arbeit sind Lesbarkeit und Benutzerführung. Konkrete Kriterien für die Textlesbarkeit werden in Unterabschnitt 2.1 vorgestellt. In Unterabschnitt 2.2 wird der Begriff Benutzerführung erläutert und damit im Zusammenhang stehende Gestaltungsprinzipien im Webdesign herausgearbeitet. Davon ausgehend wird in Abschnitt 3 ein konkreter Vorschlag für eine Systemarchitektur zur automatisierten Farbgestaltung von Webseiten erarbeitet.

### 2.1 Lesbarkeit

Abbildung 3 zeigt, dass gemäß einer Auswertung von über 100.000 Webseiten Text in HTML-Dokumenten fast ausschließlich in Graustufen dargestellt wird [18]. Die populärsten Farben sind Schwarz, Dunkelgrau und Weiß. Hahn [12] begründet dies damit, dass Text schlechter lesbar wird, je bunter er ist. Der Style Guide von Googles Material Design [10] hebt hervor, dass Aufgrund des Simultankontrasts die Verwendung von Grau als Textfarbe bei Hintergrund mit hoher Buntheit zu unerwünschten Effekten führt, wie Abbildung 4 veranschaulicht. Stattdessen wird in Abhängigkeit von der Helligkeit des Hintergrunds die Verwendung von Schwarz bzw. Weiß mit einem Alpha-Wert (Transparenz) empfohlen. Konkret werden folgende Werte genannt:

1. Dunkle Schrift: `rgba(0, 0, 0, 0.87)`
2. Helle Schrift: `rgba(255, 255, 255, 1.0)`

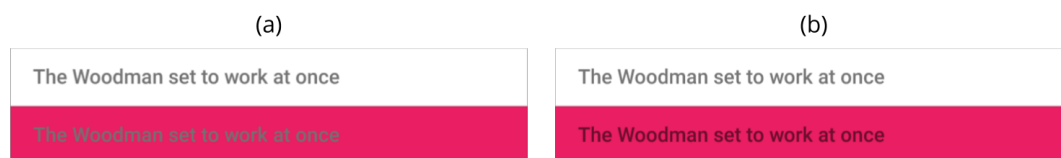


Abbildung 4: Empfohlene Textfarbe bei buntem Hintergrund. (a) Textfarbe `rgb(114, 114, 114)`. Der Text ist aufgrund des Simultankontrasts unangenehmer zu lesen. (b) Textfarbe `rgba(0, 0, 0, 0.54)`, d.h. Schwarz mit einem Alphawert von 54%. Die Textfarbe ergibt sich zu einer Verschwärzlichung der Hintergrundfarbe und vermeidet so den Simultankontrast. (Quelle: [10])

Es ist zu entscheiden, wann die dunkle und wann die helle Textfarbe verwendet wird. Hierfür geben die Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) des W3C konkrete Grenzwerte für Kontrastverhältnisse in Abhängigkeit von der Text-, der Hintergrundfarbe

sowie der Textgröße an. Die Formel zur Berechnung des Kontrastverhältnisses  $L_c$  lautet [29]:

$$L_c(e.c_{\text{text}}, e.c_{\text{background}}) = \frac{L(e.c_{\text{text}}) + 0.05}{L(e.c_{\text{background}}) + 0.05}, \quad (2)$$

$$L(e.c_{\text{text}}) \geq L(e.c_{\text{background}})$$

mit  $L_c \in [1, \dots, 22]$ , wobei  $L_c(\text{rgb}(255, 255, 255), \text{rgb}(0, 0, 0)) = 22$  und  $e.c_{\text{text}} = e.c_{\text{background}} \implies L_c(e.c_{\text{text}}, e.c_{\text{background}}) = 1$  gilt. Die Berechnungsvorschrift der normalisierten relativen Luminanz  $L()$  einer Farbe ist [30] zu entnehmen.

Es gibt zwei verschiedene Grenzwertklassen [1]. Die Grenzwertklasse *AA* beschreibt die Minimalanforderung an lesbaren Text:

$$AA : L_c(e.c_{\text{text}}, e.c_{\text{background}}) \geq \begin{cases} 3.0, & \text{size}(e) \geq 18\text{pt} \vee \text{size}(e) \geq 14\text{pt} \wedge \text{weight}(e) = \text{bold} \\ 4.5, & \text{sonst} \end{cases} \quad (3)$$

Die Klasse *AAA* beschreibt bessere Lesbarkeit durch die Verwendung höherer Grenzwerte:

$$AAA : L_c(c_1, c_2) \geq \begin{cases} 4.5, & \text{size}(e) \geq 18\text{pt} \vee \text{size}(e) \geq 14\text{pt} \wedge \text{weight}(e) = \text{bold} \\ 7.0, & \text{sonst} \end{cases} \quad (4)$$

## 2.2 Benutzerführung

Ein adäquater Farbeinsatz ermöglicht die Steuerung von Aufmerksamkeit und unterstützt die Bildung von Zusammenhängen [12]. Dieses Konzept wird auch als visuelle Hierarchy bezeichnet [4], bei welchem die Oberflächenelemente bei der Wahrnehmung strukturiert und priorisiert werden. Hahn [12] unterteilt folgende Möglichkeiten zur Benutzerführung durch Farbeinsatz:

- **Themengruppen:** Bedeutet die farbliche Kodierung inhaltlich definierter Bereiche. Hierbei handelt es sich um eine vom Gestalter erfundene, subjektive Farbsystemlogik. Sie stellt kein System, sondern eine Gestaltungsstruktur dar, die dem Anwender zu lernen aufgezwungen wird. Dies resultiert automatisch in Buntheit, welche Aufmerksamkeit erregt und somit kontraproduktiv für die Bildung einer visuellen Hierarchie ist. Aus diesen Gründen ist von dieser Variante abzuraten. Abbildung 5 verdeutlicht dies am Beispiel eines Online-Magazins.
- **Funktionsbereiche:** Bedeutet die farbliche Abgrenzung von Bereichen mit einheitlicher Funktion. Dies beinhaltet beispielsweise die farbliche Differenzierung von Navigations-, Inhalts- und Servicebereichen. Diese Variante ist zu empfehlen, wenn nicht mehr als drei Farben verwendet werden und die betreffenden Bereiche gleichzeitig und somit im Bezug zueinander sichtbar sind. Abbildung 6 verdeutlicht dies am Beispiel der farblichen Abgrenzung verschiedener Navigationsbereiche.
- **Funktionen und Zustände:** Bedeutet die farbliche Kodierung verschiedener Elemente mit einheitlicher Funktion. Beispielsweise sind alle anklickbaren Elemente (z.B.



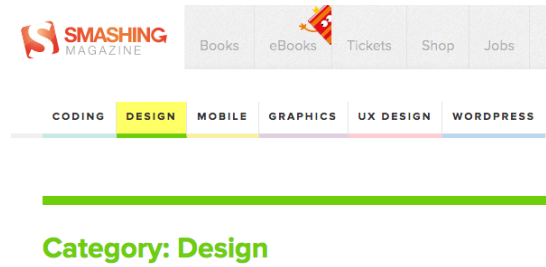


Abbildung 5: Farbkodierung von Themengruppen am Beispiel von [www.smashingmagazine.com/](http://www.smashingmagazine.com/). Es ist unklar, weshalb die gewählten Farben mit den jeweiligen Bereichen assoziiert werden.

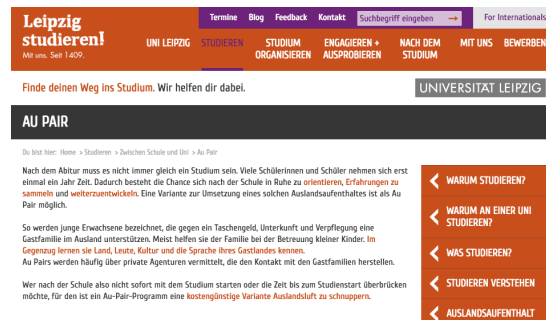


Abbildung 6: Farbkodierung von Funktionsbereichen am Beispiel von [www.leipzig-studieren.de](http://www.leipzig-studieren.de). Navigationsbereiche (orange) werden zueinander in Bezug gebracht und vom Inhalt (weiß) abgegrenzt.

Links und Buttons) einer Seite durch eine einheitliche Farbe signalisierbar. Abbildung 7 zeigt hierfür ein Beispiel. Bestimmte Wirkungen können zusätzlich farblich hervorgehoben werden, wie z.B. die rote Färbung von Buttons zum Löschen oder Abbrechen einer Aktion. Wurde eine Farbe einmal mit einer Funktion belegt, soll sie einheitlich verwendet werden. Beispielsweise würde ein nicht-anklickbares, blaues Element in der Oberfläche aus Abbildung 7 den Nutzer verwirren.

### 2.2.1 Farbfunktionen

Aus Unterabschnitt 2.2 geht hervor, dass Elemente entsprechend ihrer Funktion gefärbt werden, nicht aus rein dekorativen Gründen oder zur thematischen Strukturierung. Aus

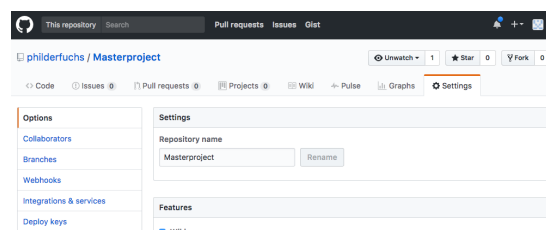


Abbildung 7: Farbkodierung von Funktionen am Beispiel von [www.github.com](http://www.github.com). Nur anklickbare Elemente sind blau, aktive Elemente werden zusätzlich braun markiert.

diesen Gründen wird zwischen die Abbildung  $CGs \rightarrow P$  eine Abstraktionsschicht mit der Bezeichnung **Farbfunktionen**  $F$  geschoben, welche beschreibt, welche Funktion eine Color Group in einer Oberfläche erfüllt. In Anlehnung an [10, 8] wird exemplarisch  $F = \{\text{Primär, Sekundär, Interaktion, Akzent, Text Hell, Text Dunkel, Hintergrund}\}$  definiert. Die einzelnen Farbfunktionen lauten wie folgt:

- **Primärfarbe:** Wird in Relation zu den anderen Farben am häufigsten eingesetzt und bildet so die farbliche Grundstimmung der Oberfläche [27].
- **Sekundärfarbe:** Unterstützt die Farbstimmung der Primärfarbe und orientiert sich dementsprechend an deren Farbton. Durch die Wahl einer unbunteren Farbe tritt sie in der visuellen Hierarchie stärker in den Hintergrund [4], eignet sich besser als Hintergrund für Fließtext und unterstützt durch den Qualitätskontrast die Wirkung der Primärfarbe [12].
- **Interaktionsfarbe:** Signalisiert Elemente, mit denen eine Interaktion möglich ist, z.B. klicken. Dies trifft nicht zwangsläufig auf Elemente zu, bei denen der Nutzer eine Interaktionsmöglichkeit aufgrund ihrer Funktionsgruppe bereits erwartet, wie z.B. in der Seitennavigation.
- **Akzent:** Signalisiert Elemente mit hoher Priorität in der visuellen Hierarchie. Dies ist erreichbar durch einen relativ seltenen (Quantitätskontrast, [12]) Einsatz einer bunten [4] Farbe.
- **Text Hell/Dunkel:** Farbe für Fließtext. Entsprechend Unterabschnitt 2.1 wird hierfür in Abhängigkeit Hintergrund Weiß (Hell) bzw. Schwarz (Dunkel) mit Alpha-Kanal festgelegt.
- **Hintergrund:** Standardfarbe von Blöcken, die keiner der obigen Farbfunktionen entsprechen. Dies betrifft vorwiegend Blöcke mit Fließtext, so dass Textlesbarkeit zu beachten ist. Dementsprechend sind Graustufen zu bevorzugen [28], wobei entsprechend Unterabschnitt 2.1 ein ausreichender Luminanzkontrast zu gewährleisten ist. Darum wird die Hintergrundfarbe analog zur Textfarbe auf Weiß bzw. Schwarz festgelegt.

Die hier verwendeten Farbfunktionen sind exemplarisch. Abhängig von den individuellen Ansprüchen einer Webseite ist die Definition weiterer Farbfunktionen denkbar. Bei mobilen Anwendungen ist beispielsweise eine farbliche Differenzierung verschiedener Interaktionsformen sinnvoll (z.B. drücken und wischen). Die Abbildung zwischen Color Groups und Farbfunktionen wird als die Funktion  $S$  definiert und im folgenden als **Farbschema** definiert. Es gilt:

$$S : F \rightarrow P \quad (5)$$

Diese Definition eines Farbschemas unterscheidet sich von der Verwendung des Begriffs in der Literatur [12]. In dieser ist ein Farbschema eine Charakterisierung einer Farbpalette. Es beschreibt, *wie viele* unterschiedliche Farbtöne eine Farbpalette enthält und in welcher *geometrischen Beziehung* diese zueinander stehen. Beispielsweise bezeichnet ein *triadisches* Farbschema eine Farbpalette mit drei Farbtönen, die sich in einem Abstand von  $120^\circ$  zueinander befinden. Genauer wird in *monochromatische*, *komplementäre (duale)*, *triadische* und *tetraedische* Farbschemen unterschieden, welche Farbpaletten mit einem, zwei, drei oder vier verschiedenen Farbtönen repräsentieren. [2, 8, 10] empfehlen jedoch die Beschränkung auf höchstens 3 Farben im Webdesign, während Graustufen für die Darstellung von Text und Hintergründen dominieren. Dementsprechend werden die Begriffe **monochrom**, **dual**

und **triadisch** für die Charakterisierung des Farbschemas als Farbabbildung in dieser Arbeit adaptiert.

Abbildung 8 zeigt hierfür Beispiele. Oben wird eine exemplarische *Farbpalette* abgebildet. Die *Farbfunktionen* entsprechen der in diesem Abschnitt definierte Menge  $F$ . Es ist zu erkennen, dass die Textfarben sowie die Hintergrundfarbe bereits pauschal definiert werden. Damit realisiert jedes Farbschema im Rahmen dieser Arbeit einen **Bunt-Unbunt-Kontrast**, was nach [28] eine allgemeine Empfehlung für Webdesign darstellt. Die Abbildung zeigt weiterhin mögliche Abbildungen zwischen den Farbfunktionen und der Farbpalette unter *Farbschemata*. Ein monochromes Farbschema beschränkt sich auf einen Farbton in verschiedenen Schattierungen. Dadurch wird ein **Qualitätskontrast** gebildet, welcher die Wirkung der Farbe mit dem höchsten Buntheitswert erhöht. Die inverse Variante des monochromen Schemas veranschaulicht eine Variante mit allgemein dunkler Farbstimmung. Das duale Farbschema besitzt zwei Farbtöne. Da Interaktions- und Akzentfarben weniger häufig auftauchen als die Elemente der Primär- und Sekundärfarben wird hierdurch ein **Quantitätskontrast** gebildet, der die seltenere Farbe zusätzlich betont und so zur Bildung einer visuellen Hierarchie beiträgt. Das exemplarische tertiäre Farbschema bildet die Interaktions- und Akzentgruppen auf unterschiedliche Farben ab und differenziert diese so zusätzlich.

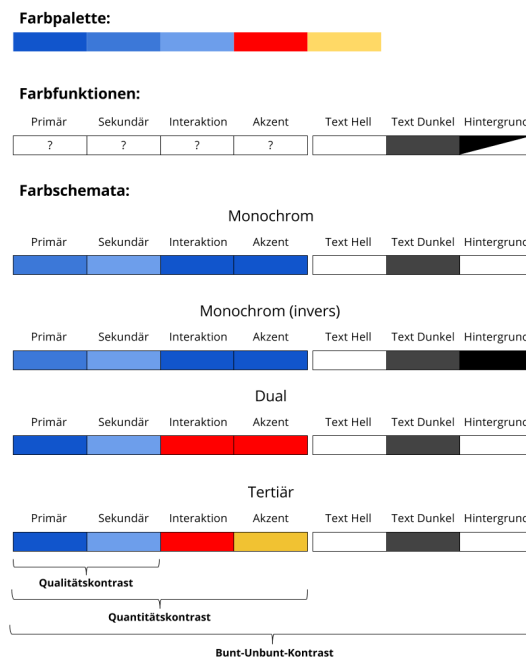


Abbildung 8: Beispiele für monochrome, duale und tertiäre Farbschemata. Der Farbeindruck der Seite wird durch Quantitäts-, Qualitäts- und Bunt-Unbunt-Kontraste bestimmt.

## Zusammenfassung

Zur Unterstützung der Benutzerführung werden in Webseiten Funktionsbereiche und Elemente mit einheitlicher Funktion bzw. Funktionszustand farblich kodiert. Dementsprechend werden für eine Webseite eine Menge an Farbfunktionen  $F$  definiert, wie z.B. die Interaktionsfarbe, welche klickbare Elemente signalisiert. Ein Farbschema  $S : F \rightarrow P$  ist eine

Abbildung der Farbfunktionen auf die Farben einer Palette  $P$ . Eine Abbildung soll höchstens drei verschiedene Farbtöne enthalten. Für Fließtext sowie dessen Hintergrund werden standardmäßig Graustufen festgelegt. Zur Benutzerführung realisieren Webseiten somit einen Bunt-Unbunt- sowie Quantitätskontrast, welcher das zentrale Gestaltungsmittel des Screendesigns darstellt [12, 28].

## 3 Problemlösungsansatz und Systemarchitektur

Ausgehend von der Besprechung der Literatur in Unterabschnitt 1.3 sowie der Farbgestaltung von Webseiten in Abschnitt 2 wird ein Ansatz zur Problemlösung besprochen. Darauf aufbauend wird eine konkrete Architektur des zu implementierenden Systems entwickelt. Anschließend werden für die einzelnen Teilaufgaben der Architektur geeignete Methoden besprochen und ausgewählt.

### 3.1 Regelbasierter oder probabilistischer Ansatz

Gu und Lou [11] stellen für die automatisierte Farbgestaltung zwei grundlegende Herangehensweisen vor:

1. **Regelbasiert:** Beschreibt quantitative Modelle mit deterministischem Regelwerk. Die Arbeit von Jahanian et al. [16] stellt hierfür ein Beispiel dar. Durch die Analyse von Farbharmonie-Modellen wurden Regeln für die automatisierte Gestaltung von Magazin-Covern abgeleitet.
2. **Datengetrieben:** Beschreibt Modelle, welche die Performanz möglicher Lösungen einer automatisierten Farbgestaltung auf Grundlage existierender Beispieldaten vorhersagt.

Die regelbasierten Modelle treffen strickte Aussagen auf einem gewissen Abstraktionsgrad durch eine Vereinfachung des Problems bis zu einer Ebene, auf der Entscheidungen auf Grundlage von Parametern getroffen werden können (z.B. durch die Angabe fester Grenzwerte). Im Gegensatz dazu stützen sich die Modelle des datengetriebenen Ansatzes auf reale Beispiele und tendieren daher zu robusteren Ergebnissen in der Anwendungsdomäne [11]. Durch die Vielfalt der Beispieldaten finden hier probabilistische Modelle häufig Anwendung [siehe z.B. 11, 20].

Da bei probabilistischen Modellen alle potentiellen Lösungen bewertet und gegeneinander abgewogen werden müssen, sind hohe Laufzeiten möglich. Die bereits entwickelte Lösung von Gu und Lou [11] zur automatisierten Farbgestaltung von Webseiten benötigt selbst nach einer Optimierung des Suchverfahrens, bei der unwahrscheinliche Lösungen frühzeitig ausgeschlossen werden, 2 Stunden zur Konvergenz. Außerdem ist deren vorgestellter Prozess zur Anpassung der Farbgestaltung einer Webseite an eine Bildvorlage nicht im eigentlichen Sinne automatisiert: Einerseits erfordert die Verwendung des K-Means Algorithmus zur CPE die Eingabe der Farbanzahl ( $k$ ) vom Gestalter, andererseits erfordert die lexikographische Strategie einen Nutzerinteraktion während des Optimierungsprozess.

Aus diesen Gründen wird sich diese Arbeit auf einen **regelbasierten Ansatz ohne Nutzerinteraktion** konzentrieren. Auch ohne die Auswertung großer Datenmengen existieren quantitative Modelle, um die Accessibility einer Webseite zu gewährleisten. Beispielsweise geben die *Web Content Accessibility Guidelines* [1] quantitative Grenzwerte für die Lesbarkeit von Texten an. Es sind Eigenschaften und Bedingungen zu erarbeiten, die für Farben einzelner Color Groups sowie zwischen diesen gelten sollen. Diese Einschränkungen werden im Folgenden als **Constraints** bezeichnet.

??? Ein System von Constraints mit endlichem Wertebereich (in diesem Fall  $P$ ) wird als **Constraint Satisfaction Problem** (CSP) bezeichnet [14]. Jahanian et al. [16] haben

gezeigt, dass eine Lösung eines solchen Constraint-Systems beispielsweise über Faktor-Graphs möglich ist. ???

### 3.2 Layouts

Aus Abschnitt 2 geht hervor, dass es von den individuellen Bedürfnissen einer Webseite abhängt, welche Farbfunktionen benötigt werden. Während der Begriff Webseite bisher als abstrakter Oberbegriff für verschiedene Seiten mit einheitlicher Farbgestaltung verwendet wurde, ist das Ziel dieser Arbeit die Färbung eines konkreten HTML-Dokuments. Das Parsing eines solchen Dokuments zur Erschließung aller Elemente einer Color Groups führt jedoch eine zusätzliche Ebene der Komplexität in das Constraint System ein. Der CSS-Standard sieht ohnehin durch die Klassen-Selektoren [32] bereits die Auszeichnung einheitlicher darzustellender Elemente bereits auf der Ebene der Dokumentenbeschreibung vor.

Dementsprechend wird von der konkreten HTML-Beschreibung einer Webseite als **Layout** abstrahiert. Ein Layout definiert:

1. Die Menge der Farbfunktionen  $F$ . Entsprechend Abschnitt 2 wird diese standardmäßig auf  $F = \{\text{Primär, Sekundär, Interaktion, Akzent, Text Hell, Text Dunkel, Hintergrund}\}$  festgelegt.
2. Die Menge aller Color Groups  $CGs$  sowie die Festlegung der Menge der konkreten Elemente, die Teil einer  $CG$  sind.
3. Die Abbildung der Color Groups auf Farbfunktionen  $CGs \rightarrow F$ . Beispielsweise definiert ein Layout selbst, welche Elementen interaktiv sind und somit zur Farbfunktion *Interaktion* gehören.

Somit wird die Komplexität der Problemlösung reduziert, indem die Festlegung der Color Groups einer Webseite als gegeben angesehen und somit aus Betrachtung entfernt wird.

[TODO] Exemplarisches Layout

### 3.3 Aufteilung der Suchverfahren mit Systemarchitektur

Zur Lösungssuche mit einem regelbasierten Ansatz existieren zwei Herangehensweisen:

1. **Constraints-First:** Setze  $|P| = n = k = |CGs|$ . Die Hierbei wird die Lösungssuche zum Zeitpunkt der CPE verlagert. Unter Kenntnis der Color Groups ist hier der Suchraum das Histogramm der Bildvorlage. Dieser Ansatz wird unter anderem von O'Donovan et al. [24] verfolgt. Sie verwenden ihr Regressionsmodell zur Bewertung der Farbharmonie, um eine alternative Optimierungsfunktionen zur Suche von  $P$  im Farbraum einer Bildvorlage zu formulieren.
2. **Constraints-Last:** Setze  $k \leq n$ .  $P$  wird unabhängig vom Layout ermittelt. Der Suchraum beschränkt sich dann auf die Elemente in  $P$ . Dieser Ansatz wird unter anderem von Obrador [23] bei der automatisierten Farbgestaltung von Dokumenten verfolgt. Nach der Bestimmung einer Farbpalette aus einer Bildvorlage werden sukzessive geeignete Farben aus  $P$  ausgewählt. Zuerst wird die Hintergrundfarbe des Dokuments komplementär zum Hintergrund des Bildes gewählt, welche via Bildsegmentierung

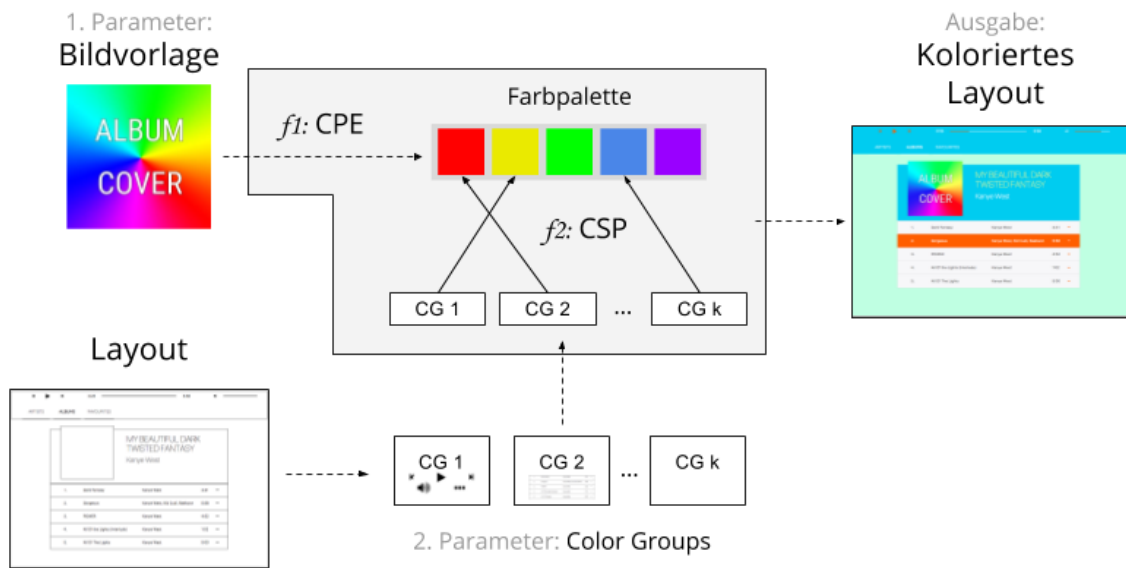


Abbildung 9: System-Architektur. Der grau unterlegte Kasten visualisiert den Bereich, für den algorithmische Lösungen gefunden werden müssen. Die Eingabeparameter sind eine Bildvorlage und eine Menge von Color Groups, welche von einem Layout definiert werden. Das System setzt zwei Suchverfahren um, welche mit  $f1$  und  $f2$  bezeichnet werden.  $f1$  ermittelt zuerst eine Farbpalette aus der Bildvorlage (CPE).  $f2$  ordnet Colour Groups Farben aus der Palette, in dem ein entsprechendes Constraint System gelöst wird. Nachdem eine Farabbildung gefunden wurde, wird das kolorierte Layout ausgegeben.

bestimmt wird. Daraufhin wird die Textfarbe unter Beachtung des Kontrastes aus  $P$  gewählt.

Für diese Arbeit wird die Herangehensweise **Constraints-Last** bevorzugt. Sie beinhaltet die Aufteilung des Problems in zwei getrennte Suchverfahren: Ein Suchverfahren für die Bestimmung von  $P$  und ein Suchverfahren zur Bestimmung der Abbildung  $CGs \rightarrow P$ . Dadurch wird eine Wiederverwendung einmal bestimmter Farbpaletten für verschiedene Layouts ermöglicht. Für die Arbeit bedeutet dies, dass eine Problemlösung anhand eines exemplarischen Layouts mit bestimmten Color Groups gezeigt wird, eine Übertragung auf andere Layouts jedoch möglich ist. Schlussendlich ermöglicht ein Caching bereits berechneter Farbpaletten das Einsatzpotential der automatisierten Farbgestaltung zur Laufzeit, da nur noch eines der Suchverfahren durchgeführt werden muss.

Selbst unter den gegebenen Einschränkung des Suchraums durch die vorgeschaltete Ermittlung einer Farbpalette ist die Menge potentieller Lösungen mit  $\binom{n}{k}k!$  nach wie vor groß. Als Beispiel sei ein Layout mit 5 Colorgroups (z.B. Text, Texthintergrund, Buttons, Navigations-Hintergrundfarbe und Footer-Hintergrundfarbe) sowie eine Farbpalette mit 10 Farbe gegeben. Das bedeutet  $|CGs| = k = 5$  und  $|P| = n = 10$ , wodurch sich  $\binom{10}{5}5! = 30.240$  mögliche Kombinationen ergeben. Es ist ein effektives Suchverfahren zur Ermittlung von  $CGs \rightarrow P$  zu identifizieren. Der bereits vorgestellte, hierarchische Ansatz von Obrador [23] stellt hierfür eine Inspiration dar, bei welchem entscheidende Farbuordnungen zuerst getroffen werden und dadurch der Suchraum für folgende Color Groups eingeschränkt wird (z.B. erst Hintergrund, dann Textfarbe).

## Zusammenfassung

Abbildung 9 fasst den Ablauf der automatisierten Farbgestaltung einer Webseite zusammen. Das zu entwickelnde System bildet eine Bildvorlage auf eine Farbpalette ab. Das Suchverfahren hierfür wird was als Color Palette Estimation (CPE) bezeichnet. Die entstandene Palette wird zum Suchraum möglicher Farben von Color Groups, welche durch ein Layout definiert werden. Da bei dieser Abbildung der Wertebereich einer Color Group dementsprechend beschränkt ist, handelt es sich um ein Constraint Satisfaction Problem (CSP). Letztendlich wird eine kolorierte Variante des Layouts ausgegeben.

Im Folgenden sind konkrete Verfahren für die beiden Teilprobleme CPE und CSP zu implementieren. Ausgangspunkt hierfür sind Prinzipien für eine funktionale Gestaltung von Webseiten. Diese werden im Folgenden durch Webdesign-Literatur sowie die Analyse von Farbdefinitionen aus Style Guides ermittelt.

## 4 Algorithmen zur Color Palette Estimation

Im Folgenden wird eine Algorithmus zur Lösung des Teilproblems der Ermittlung der Farbobermenge  $C_s$  gesucht. Hierzu findet eine Betrachtung von Typen vorhandener Algorithmen zur CPE statt. Abschließend wird ein geeigneter Algorithmus ausgewählt

### 4.1 Überblick

Grundlegend sind zwei Ansätze zur CPE zu unterscheiden:



1. **Hisgoram-basiert:** Algorithmen, die nur auf dem Histogramm des Bildes arbeiten und somit die Positionsinformationen der Farben nicht beachten. Es handelt sich (bis auf Ausnahmen) um Clustering-Verfahren, die durch eine Partitionierung des Farbraums Gruppen ähnlicher Farben im Histogramm identifizieren.
2. **Bildsegmentierungs-basiert:** Algorithmen, die durch eine Segmentierung des Bildes zunächst zusammenhängende Komponenten identifizieren und für diese dann repräsentative Farben identifizieren.

Bildsegmentierungs-basierte Algorithmen berücksichtigen die menschlichen Wahrnehmungseigenschaften auf Komponentenebene, führen aber durch die zusätzliche Betrachtung der Positionsinformation eine weitere Komplexitätsebene ein [19].

Kanjanawanishkula und Uyyanonvarab [17] treffen eine Kategorisierung der Histogramm-basierten Verfahren in *hierarchisch* und *iterativ*. Hierarchisch arbeitende Algorithmen zur CPE werden auch als *Pre-Clustering Verfahren* bezeichnet, da sie vor dem Erreichen der (fest zu wählenden) Farbanzahl  $n$  mit mehr bzw. weniger Farben starten. Sie basieren auf der statistischen Analyse der Verteilung der Bildfarben im Farbraum. In diese Kategorie fallen *top-down* bzw. *bottom-up* Clustering-Algorithmen. Zu den Top-Down Verfahren zählen die in der Vergangenheit populären Raumunterteilungs-Algorithmen wie z.B. Mediancut [13] oder Octree[9]. Sie Zerteilen den Farbraum sukzessiv in disjunkte Teilräume und unterstellen den Clustern dabei eine Würfelform. Ergebnis der Verarbeitung ist ein Dendrogram, wobei die Blätter die Farben Farbpalette repräsentieren. Ein Schnitt des Dendograms entspricht einer Partitionierung des Raums, welche jedoch auch direkt durch die iterativ arbeitenden Algorithmen erreichbar ist [6]. Diese Verfahren werden darum auch als *partitionierend* [6] oder auch *Post-Clustering* [17] bezeichnet. Sie starten bereits mit der erforderlichen Anzahl Farben  $n$  und verbessern diese iterativ. Einige Methoden dieser Klasse verwenden den quadratischen Fehler, wie z.B. K-Means [21, 34] oder Fuzzy C-Means [3]. Andere analysieren das Histogramm auf dichte bzw. weniger dichte Regionen, wie z.B. Mean-Shift [5]. Eine detailliertere Vorstellung von Algorithmen zur CPE bietet [25].

Delon et al. [6] kritisieren an den bisherigen Algorithmen, dass die Anzahl gesuchten Farben  $n$  zuvor bekannt sein muss, dass die Ergebnisse abhängig von der Initialisierung sind und dass Farben kleiner Bilddetails im Sinne der Definition in Abschnitt 1.1 nur unzureichend repräsentiert werden, wie im Paper experimentell nachgewiesen wird. Aus diesem Grund stellen sie den **Automatic Color Palette (ACoPa)** Algorithmus vor, welcher durch die Analyse von Spitzen des Histogramms im HSI Raums eine Farbpalette erstellt und dabei deren Größe selbstständig bestimmt. Der Algorithmus ermittelt dabei zunächst die grundlegenden Farbtöne (Hue) des Bildes und schlüsselt diese daraufhin sukzessive nach deren Sättigungen (Saturation) und Schattierungen (Intensity) auf. Abbildung 10 veranschaulicht exemplarisch die hierarchische Arbeitsweise, bei der in jeder Ebene zusätzliche Sättigungen und Schattierungen der enthaltenen roten und grünen Farbtöne gebildet werden.

## Zusammenfassung und Wahl des Algorithmus zur CPE

Der Algorithmus zur CPE soll eine Obermenge  $C_s$  von Farben bilden, aus welcher im einem nachfolgenden Schritt eine Teilmenge von Farben  $C$  entsprechend ihrer Eignung für bestimmte Oberflächenelemente ausgewählt werden. Analog dazu werden Farbpaletten in Styleguides als Obermenge von Farben beschrieben, aus welcher der Designer eine

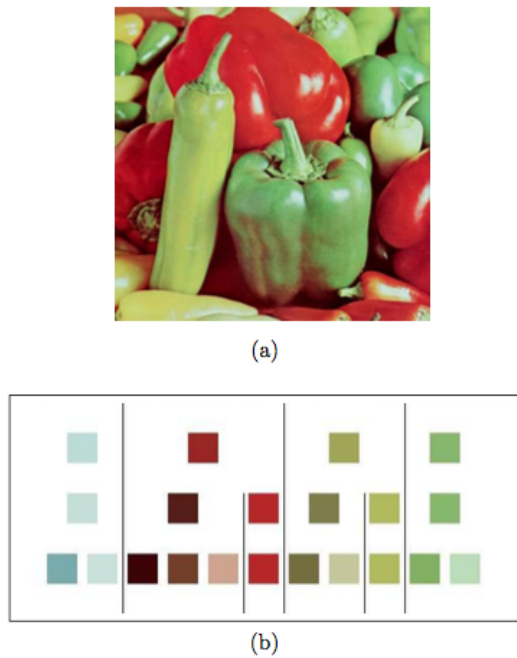


Abbildung 10: CPE Ergebnis von ACoPa. (a) Originalbild "Peppers" (b) Hierarchische Farbpalette. Die unterste Ebene zeigt die finalen Farben. (Quelle: [6])

Untermenge von Farben für die konkrete Oberfläche auswählt. Bestimmte Styleguides erweitern dabei das Farbpalettenkonzept um Color Swatches, bei welchen Farbtöne in zusätzliche Schattierungen aufgefächert werden. Dadurch hat der Designer eine größere Flexibilität beim Einsatz der Farbpalette.

Aus diesen Gründen wird der ACoPa Algorithmus von Delon et al. [6] zur CPE gewählt. Da er Farbwerte automatisiert in verschiedenen Sättigungen und Schattierungen ermittelt, initiiert er die Farbdefinition in Form von Color Swatches in Styleguides. Durch seine parameterfreie Arbeitsweise ermittelt er selbstständig die Anzahl repräsentativer Farben im Bild. Dadurch wird automatisch die erforderliche Obermenge zur Bildung der finalen Farbpalette bereitgestellt, wenn das Bild ausreichend viele Farben enthält. Das erzwingen eines großen Farbpalette mit anderen Clusteringverfahren, z.B. über einen pauschal großen K Parameter bei K-Means, führt hingegen unter Umständen zu einer Partitionierung des Farbraums, die nicht der Clusterstruktur des Histogramms entspricht.

## 5 ACoPa

Im Folgenden wird die grundlegende Arbeitsweise des ACoPa Algorithmus nach Delon et al. [6] vorgestellt. Dabei werden die Herausforderungen, die bei der Implementierung aufgetreten sind, besprochen. Abschließend werden exemplarisch Anwendungsergebnisse präsentiert.

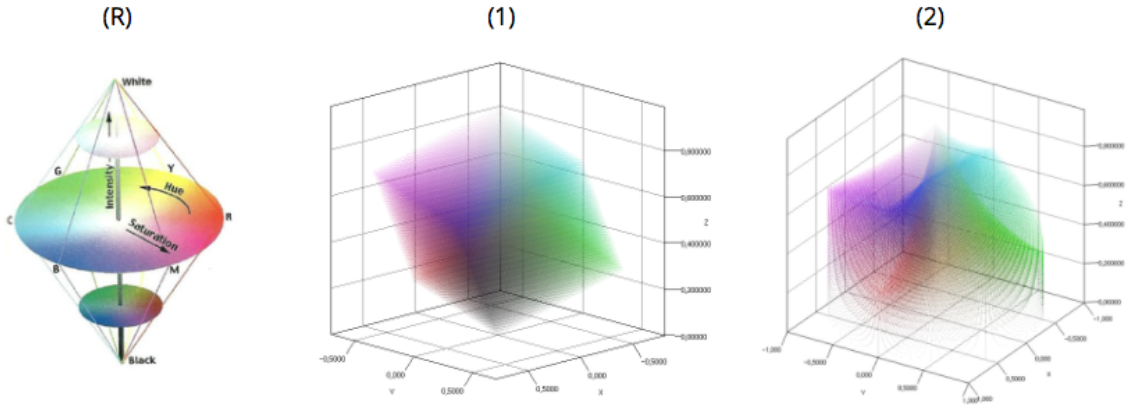


Abbildung 11: Gegenüberstellung von RGB zu HSI-Umrechnungsergebnisse. (a.) Referenz-HSI Raum. (b.) Umrechnung nach [6]. (c.) Umrechnung nach [26].

### 5.1 Konvertierung in den HSI-Raum

Zunächst wird das Histogramm in den HSI Farbraum  $\{(h, s, i) \mid 0 \leq h < 360 \wedge 0 \leq s, i \leq 1\}$  übertragen. Die Intensität eines Farbtons wird dabei in Polarkoordinaten via  $h$  und  $s$  angegeben, während die maximal mögliche Sättigung wiederum von der Intensität  $i$  abhängt. Zur Konvertierung vom RGB in HSI Raum wurden verschiedene Umrechnungsvorschriften erprobt. Die Umrechnung gemäß der ACoPa-Autoren lautet:

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{R + G + B}{3} \\
 S &= \sqrt{(R - I)^2 + (G - I)^2 + (B - I)^2} \\
 H &= \arccos\left(\frac{(G - I) - (B - I)}{S\sqrt{2}}\right)
 \end{aligned} \tag{6}$$

Die Umrechnung gemäß eines Lehrbuchs für Farbbild-Verarbeitung [26] lautet hingegen:

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{R + G + B}{3} \\
 S &= 1 - \frac{\min(R, G, B)}{I} \\
 H &= \arccos\left(\frac{\frac{1}{2}((R - G) + (R - B))}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}}\right)
 \end{aligned} \tag{7}$$

Abbildung 11 stellt die Umrechnungsergebnisse dem Referenz HSI Raum (R) gegenüber. Keine der Umrechnungsvorschriften führt zu einem Doppelkegel. Weder Formel 6 noch Formel 7 projiziert die Farben mit 100% Sättigung ( $s = 1$ ) in eine Ebene. Formel 6 führt lediglich zu einer Drehung und Stauchung des RGB-Würfels, Formel 7 führt zu einem nach unten geöffneten Kegel. Da schlussendlich keine Formel gefunden werden konnte, die zu einem korrekten Doppelkegel führt, wurde die Berechnung mit Formel 6 fortgeführt.

## 5.2 Histogramm-Segmentierung

Die Samples des Ausgangsbildes werden entlang der Hue-Werte sortiert. Das 1-dimensionale Hue-Histogramm  $h = (h_i)_{i=1\dots b}$  mit  $b$ -Bins wird gebildet. Gesucht wird nun eine Sequenz  $s = (s_i)_{i=1\dots k}$  mit  $1 = s_0 < s_1 < \dots < s_k = b$ , welche eine Segmentierung des Histogramms darstellt. Das Intervall  $[s_i, s_{i+1}]$  wird als Segment bezeichnet. Ziel ist, dass das Histogramm in den Bereichen  $[h_{s_i}, \dots, h_{s_{i+1}}]$ , eine „annähernd unimodale Verteilung aufweist“ [6]. Abbildung 12 zeigt das Prinzip an verschiedenen Beispielen.

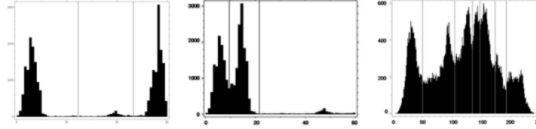


Abbildung 12: Beispiele der Segmentierung eines Histogramms in unimodale Abschnitte.  
(Quelle: [6])

Das Histogramm ist offensichtlich in jedem Segment unimodal, wenn  $s$  mit den Minima des Histogramms initialisiert wird. Es wird nun versucht, Elemente aus  $s$  zu entfernen, indem für  $\forall i = 1..k$  überprüft wird, ob  $h$  im Intervall  $[h_{s_{i-1}}, \dots, h_{s_{i+1}}]$  die „unimodale Hypothese“ erfüllt. Anschaulich bedeutet das die Verschmelzung benachbarter Segmente, so dass das neu entstandene Segment nach wie vor „annähernd unimodal ist“. Hierfür stellen die Autoren in einer separaten Veröffentlichung [7] einen parameterfreien statistischen Test vor, der  $h$  im betrachteten Intervall mit einem Referenz-Histogramm  $h^r$  vergleicht.  $h^r$  ist in  $[h_{s_{i-1}}^r, \dots, h_{s_{i+1}}^r]$  zunächst streng monoton wachsend und danach streng monoton fallend und damit in jedem Fall unimodal. Das Referenz-Histogramm wird aus dem Original-Histogramm  $h$  durch Anwendung des Grenander-Operators gebildet. Die komplexen Details hierzu sind [6, 7] zu entnehmen. Da der parameterfreie Test verhältnismäßig aufwändig ist, wird in der eigenen Implementierung auf einen simplen T-Test zurückgegriffen. Dieser liefert ebenfalls befriedigende Ergebnisse, ist aber abhängig vom gewählten Signifikanzniveau.

Das Verfahren zur Histogramm-Segmentierung wird in [7] als **Fine-to-Coarse (FTC) Segmentation Algorithm** zusammengefasst. Zunächst wird  $s$  mit allen Minima des Histogramms initialisiert. Daraufhin werden so lange benachbarte Segmente durch Überprüfung der unimodalen Hypothese verschmolzen, bis keine Verschmelzung mehr möglich ist. Die Repräsentanten eines Segments werden durch Mittelung der Samples gebildet, die zum jeweiligen Segment gehören. Abbildung 13 zeigt dies an einem Beispiel.

## 5.3 Bildung der hierarchischen Farbpalette

Der ACoPa Algorithmus besteht aus einer hierarchischen Anwendung der Histogramm-Segmentierung. Dabei wird zuerst der  $h$ -, danach der  $s$ - und abschließend der  $i$ - Kanal segmentiert. Dabei werden in jedem Schritt die Samples der entstandenen Segmente separiert und die Histogramme der nächsten Ebene getrennt berechnet. Das Ergebnis ist eine hierarchische Farbpalette. Abbildung 14 zeigt dies am Beispiel der Covers aus Abbildung 13. Auf oberster Ebene ( $h$ ) wurden die grundsätzlichen Farbtöne des Bildes identifiziert. Auf der zweiten Ebene werden die Farbtöne jeweils in unterschiedliche Sättigungen aufgeteilt, wenn nötig. Auf der dritten Ebene ( $i$ ) werden von den Sättigungen zusätzlich Helligkeitsabstufungen gebildet.

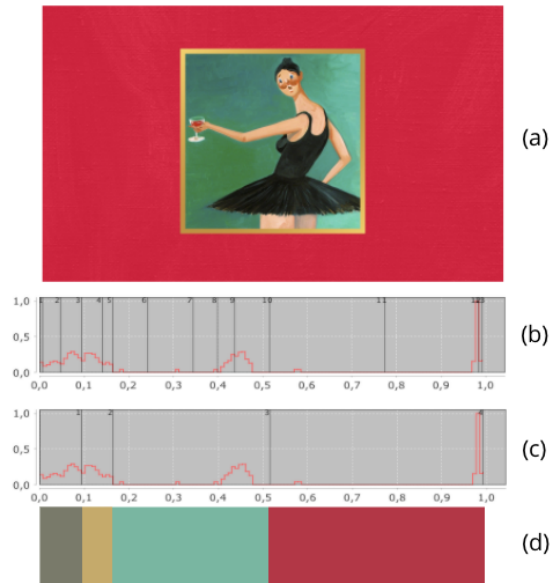


Abbildung 13: Beispiel für eine Segmentierung des Hue-Histogramms. (a) Ausgangsbild, ein Albumcover von Kanye West. (b) Hue-Histogramm (normalisiert), mit allen Minima als initiale Segmentierung. (c) Segmentierung nach Anwendung des FTC Algorithmus. (d) Farbmittelpunkte entsprechend der Samples der jeweiligen Segmente.

Die letzte Ebene (i) bildet die Obermenge der Farben  $C_s$  für die weitere Verarbeitung. Delon et al. [6] empfehlen zusätzlich, die erhaltenen Farben als Startpunkte für den K-Means Algorithmus zu verwenden. Abbildung 14 (b) zeigt, wie sich die Farben durch K-Means geändert haben. Es ist zu einem späteren Zeitpunkt zu entscheiden, welche der beiden Paletten für die weitere Verarbeitung geeigneter ist.



Abbildung 14: (a) Hierarchische Farbpalette des Covers aus Abbildung 13. (b) Farbpalette nach Anwendung von K-Means.

## 6 Ausblick

Als nächstes sind die Eigenschaften und Bedingungen der Farben zu ermitteln, die auf der Weboberfläche zum Einsatz kommen sollen. Die Anforderungen müssen in Constraints übersetzt werden. Daraufhin ist ein Algorithmus auszuwählen und zu implementieren, der

aus der Farbpalette, die durch ACoPa ermittelt wurde, die passenden Farben herausfiltert. Abschließend werden die Ergebnisse an einer prototypischen Weboberfläche demonstriert.

## Literatur

- [1] Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0. URL <https://www.w3.org/TR/WCAG/#visual-audio-contrast>.
- [2] Nick Babich. <https://www.smashingmagazine.com/2017/01/underestimated-power-color-mobile-app-design/>, jan 2017. URL <https://www.smashingmagazine.com/2017/01/underestimated-power-color-mobile-app-design/>.
- [3] J. Bezdek. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms. Kluwer Academic Publishers, 1981.
- [4] Alex Bigman. 6 principles of visual hierarchy for designers, 2014. URL <https://en.99designs.de/blog/tips/6-principles-of-visual-hierarchy/>.
- [5] D. Comaniciu und P. Meer. Mean shift: A robust approach toward feature space analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 5(24):603–619, 2002.
- [6] J. Delon, A. Desolneux, J. L. Lisani, und A. B. Petro. Automatic color palette. *Inverse Problems and Imaging*, 1(2):265–287, 2007.
- [7] J. Delon, A. Desolneux, J. L. Lisani, und A. B. Petro. A nonparametric approach for histogram segmentation. 16(1):253–261, 2007.
- [8] Laura Elizabeth. A simple web developer’s guide to color, apr 2016. URL <https://www.smashingmagazine.com/2016/04/web-developer-guide-color/>.
- [9] M. Gervautz und W. Purgathofer. A simple method for color quantization: Octree quantization. *Graphic Gems. Academic Press*, page 287–293, 1990.
- [10] Google. Material design style - colors, 2016. URL <https://material.io/guidelines/style/color.html>.
- [11] Zhenyu Gu und Jian Lou. Data driven webpage color design. *Computer-Aided Design*, 77:46–59, aug 2016.
- [12] Martin Hahn. *Webdesign. Das Handbuch zur Webgestaltung*. Galileo Press, first edition, 2015.
- [13] P. Heckbert. Color image quantization for frame buffer displays. *Comp. Graph*, 16:297–307, 1982.
- [14] Petra Hofstedt und Armin Wolf. *Einführung in die Constraint Programmierung*. Springer eXamen.press, 2007.
- [15] J. Itten. *The Elements Of Color*. Van Nostrand Reinhold Company, 1970.
- [16] Ali Jahanian, Jerry Liu, Qian Lin, Daniel R. Tretter, Eamonn O’Brien-Strain, Seungyon Lee, Nic Lyons, und Jan P. Allebach. Automatic design of colors for magazine covers. In *SPIE Proceedings. Imaging and Printing in a Web 2.0 World IV.*, volume 8664, 2013.
- [17] K. Kanjanawanishkula und B. Uyyanonvarab. Novel fast color reduction algorithm for time-constrained applications. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 16:311–332, 2005.
- [18] Ranjitha Kumar, Arvind Satyanarayan, Cesar Torres, Maxine Lim, Salman Ahmad, Scott R. Klemmer, und Jerry O. Talton. Webzeitgeist: Design mining the web. In *ACM Human Factors in Computing Systems (CHI)*, 2013.
- [19] S. Lin und P. Hanrahan. Modeling how people extract color themes from images. In *CHI Conference on Human Factors*, 2013.
- [20] Sharon Lin, Daniel Ritchie, Matthew Fisher, und Pat Hanrahan. Probabilistic color-by-numbers: Suggesting pattern colorizations using factor graphs. *ACM Transactions on Graphics*, 32(4), jul 2013.
- [21] J. MacQueen. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*, volume 1 of 14, California, USA, 1967.

- [22] Albert H. Munsell und F. Birren. *A grammar of color: a basic treatise on the color system of Albert H. Munsell*. Van Nostrand Reinhold Company, 1969.
- [23] Pere Obrador. Automatic color scheme picker for document templates based on image analysis and dual problem. Technical report, Hewlett-Packard Laboratories, Palo Alto, CA, USA, 2006.
- [24] Peter O'Donovan, Aseem Agarwala, und Aaron Hertzmann. Color compatibility from large datasets. In *ACM SIGGRAPH Conference*, page 63:1–63:12, 2011.
- [25] P. S. Periasamy. A probabilistic adaptive color reduction algorithm for single multiple images with and without transparency. Anna University, Faculty of Information and Communication Engineering, 2013.
- [26] K. N. Plataniotis und A. N. Venetsanopoulos. *Color Image Processing and Applications*. Springer Monograph, 2000.
- [27] Marc Schenker. Designing with color contrast for improved usability, apr 2016. URL <https://www.awwwards.com/designing-with-color-contrast-for-improved-usability.html>.
- [28] Torsten Stapelkamp. *Web X.0. Erfolgreiches Webdesign und professionelle Webkonzepte*. Springer X.media.press, 2010.
- [29] W3C. Wcag contrast ratio, 2008. URL <https://www.w3.org/TR/2008/REC-WCAG20-20081211/Overview.html#contrast-ratiodef>.
- [30] W3C. Wcag relative luminance, 2008. URL <https://www.w3.org/TR/2008/REC-WCAG20-20081211/relative-luminance.xml>.
- [31] W3C. Css color module level 3, jun 2011. URL <https://www.w3.org/TR/css3-color/>.
- [32] W3C. Css selectors level 3, sep 2011. URL <https://www.w3.org/TR/2011/REC-css3-selectors-20110929/>.
- [33] S. J. Wan, P. Prusinkiewicz, und S. K. M. Wong. Variance-based color image quantization for frame buffer display. *Color Res. Appl.*, 15:52–58, 1990.
- [34] Arthur R. Weks und G. Eric Hague. Color segmentation in the hsi color space using the k-means algorithm. In *Proceedings of SPIE*, volume 3026, 1997.