

Methoden zur automatisierten Farbgestaltung von Webseiten aus Bildvorlagen.

Masterprojekt

Philipp Anders

30. März 2017

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemmodellierung	1
1.2	Farbpaletten aus Bildvorlagen	2
1.3	Literaturüberblick	3
2	Farbgestaltung von Webseiten	5
2.1	Lesbarkeit	5
2.2	Benutzerführung	6
2.3	Funktionsgruppen	7
2.4	Farbschemata	8
3	Problemlösungsverfahren und Systemarchitektur	10
3.1	Regelbasierter und probabilistischer Ansatz	10
3.2	Layouts	10
3.3	Aufteilung der Suchverfahren	11
3.4	Systemarchitektur	12
4	Color Palette Estimation	14
4.1	Überblick	14
4.2	ACoPa	16
4.2.1	Konvertierung in den HSI-Raum	16
4.2.2	Segmentierung des Histogramm	17
4.2.3	Bildung der hierarchischen Farbpalette	19
4.3	Vorverarbeitung des Histogramms	19
5	Suchverfahren für Farbschemata	22
5.1	Suchverfahren für triadische Farbschemata	23
	Literatur	26

1 Einleitung

Die Farbgestaltung von Webseiten wird typischerweise von Webdesignern manuell vorgenommen. Die Auswahl der Farbpaletten und die Zuweisung der Farben zu den einzelnen Oberflächenelementen basiert auf Hilfsmitteln wie Style Guides, Orientierungsvorlagen, dem Fachwissen oder dem persönlichen Geschmack des Designers. Das Ziel dieser Arbeit ist der Entwurf eines Verfahrens zur automatisierten Farbgestaltung von Webseiten auf Basis der Farbinformationen von Bildvorlagen. Dazu werden Methoden zur Extraktion von Farbpaletten und Erstellung von Farbschemata hinsichtlich dieses speziellen Anwendungsfalls evaluiert, miteinander kombiniert und erweitert.

In Unterabschnitt 1.1 wird das Färbungsproblem in Bezug auf Webseiten modelliert und die Zielstellung konkretisiert. Unterabschnitt 1.2 stellt das Teilproblem der Ermittlung repräsentativer Farben eines Bildes vor. In Unterabschnitt 1.3 wird die Arbeit in den aktuellen Forschungskontext eingeordnet.

1.1 Problemmodellierung

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 [30]. In dieser Arbeit werden die Farbeigenschaften von zwei verschiedenen Arten von Oberflächenelementen $e = (e_{\text{text}}, e_{\text{background}}) \in C \times C$, $C = \text{Menge der Farben}$, betrachtet:

1. **Textelemente** e_{Text} : Elemente mit transparentem Hintergrund und definierter Vordergrundfarbe (z.B. `<h1>`, `<a>`, etc.). Diese besitzen die CSS-Eigenschaften `{ color: e.ctext, background-color: transparent }`, wobei der Farbwert *transparent* als *rgba(0, 0, 0, 0)* definiert wird. Dementsprechend gilt: $\text{type}(e) = \text{Text} \implies e.c_{\text{background}} = \text{transparent}$.
2. **Blockelement** e_{Block} : Elemente, die visuell als Blöcke wahrgenommen werden (z.B. `<div>`, `<button>`, etc.). Diese besitzen die CSS-Eigenschaften `{ color: e.ctext, background-color: e.cbackground }`.

Es wird also die Farbbestimmung von Vorder- und Hintergrundfarben fokussiert. Rahmen, Textdekoration und sonstige färbbare Eigenschaften werden nicht betrachtet.

Üblicherweise werden mehrere Elemente eines HTML-Dokuments auf die selbe 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, 19]. Die Menge aller Color Groups einer Webseite heißt **Color Groups** $CGs = \{CG_1, \dots, CG_m\}$ mit $|CGs| = m$. 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 reduzieren die Größe des Suchraums zur Identifizierung geeigneter Farben für Color Groups durch die Verwendung einer sogenannten **Farbpalette** [11, 12, 27]. 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



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 Group sind jeweils rot dargestellt. (c) Beispiel einer Farbgestaltung mit Anpassung an das Album Cover.

aller enthaltenen Color Groups auf eine Farbe der Palette. Dies wird als die Funktion $f_{\text{coloration}} : CGs \rightarrow P$ mit folgender Definition modelliert:

$$f_{\text{coloration}} : CGs \rightarrow P, \quad (1)$$

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

Ein 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 Web-Oberfläche und einer darin präsenten Grafik erreicht. Da die Farben einer Webseite wesentlich für die vermittelte Atmosphäre sind [12], soll die Anpassung der Farbgebung an ein Motiv die Wirkung des Bildes unterstützen. Da die Farbpalette somit auf den verarbeiteten Daten basiert, ist potentiell eine Berechnung der Farbgestaltung zur Laufzeit möglich. Ein Anwendungsbeispiel hierfür ist die farbliche Anpassung einer Webanwendung für Musikstreaming an das Cover der gespielten Albums. Abbildung 1 (c) zeigt hierfür ein Beispiel. Die Ermittlung von P aus einer Grafik ist ein eigener Problembereich, welcher im Folgenden vorgestellt wird.

1.2 Farbpaletten aus Bildvorlagen

Die Abbildung einer Bildvorlage I auf eine Farbpalette P wird von Delon et al. [6] als **Color Palette Estimation (CPE)** $f_{CPE} : I \rightarrow P$. Das Ziel ist die Repräsentation eines Bildes mit einer minimalen Menge von Farben. „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 jedoch nicht definiert. Abbildung 2 veranschaulicht diese intuitive Definition am Beispiel eines Bildes mit einem Marienkäfer, dessen Sichtbarkeit von der Wahl der Farbpalette abhängt.

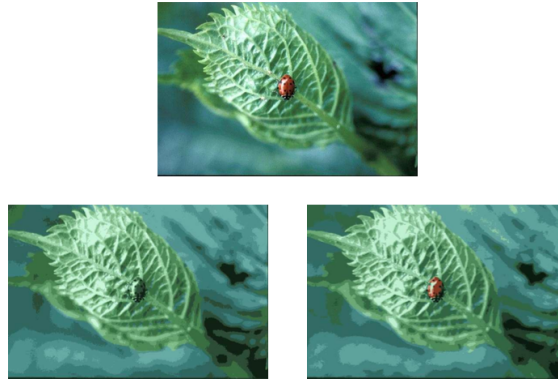


Abbildung 2: Beispiel für die Einfärbung eines Bildes mit unterschiedlichen Farbpaletten der Größe 12. Oben: Originalbild. Links: Farbpalette ohne rote Farbtöne. Rechts: Farbpalette mit roten Farbtönen, wodurch der Marienkäfer erkennbar ist. (Quelle: [6])

Historisch betrachtet 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) [32]. Aus diesem Kontext kommt das formale Kriterium der Summe der quadratischen Fehler, welcher in diesem Anwendungsfall auch als *Recoloring Error* bezeichnet wird [18]. Da Grafikpuffer mittlerweile über ausreichend Kapazität verfügen liegt die Anwendung der CPE in anderen Bereichen, wie z.B. der farbbasierten Indizierung von Grafiken in Datenbanken oder der Zusammenstellung von Farbpaletten zu Gestaltungszwecken. Lin und Hanrahan [18] zeigen, dass im letzteren 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 Objekt- 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 Literaturüberblick

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 kamen.

O'Donovan et al. [23] 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 Color¹ durchgeführt. Ein Ergebnis der Untersuchungen war, dass die auf geometrischen Strukturen im Farbkreis beruhenden Modelle der klassischen Farbentheorie Farbharmonien nicht zufriedenstellend prognostizieren und in bestimmten Fällen sogar kontraproduktiv sind. Hierzu zählen zum Beispiel die Farbton-Schablonen von Itten [14] oder Munsell und Birren [22]. Die Grenzen des Modells liegen in der Bewertung der Harmonie von Farben mit unterschiedlicher räumlicher Ausprägung [11, 19]. Eine Matlab-Implementierung des Modells zur Überprüfung von Farbharmonien steht öffentlich zum Download bereit².

Lin et al. [19] 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 wurden³. Konkrete Färbungslösungen werden durch einen *Factor Graph* ermittelt. Das Modell von O'Donovan et al. [23] 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 Hintergrundmusters 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. [23] realisiert und gewährleistet Farbharmonie. Die Optimierung wird durch eine lexikographische Strategie umgesetzt, bei welcher in Interaktion mit einem Webdesigner die Zielfunktionen nacheinander angewendet werden. Die Farben zur Seitenfärbung werden Farbpaletten von Adobe Color 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 ähnelt. 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. [15] haben sich 2013 mit der automatisierten Farbgestaltung von Magazin-Covers auseinandergesetzt. Vergleichbar mit der Arbeit von Gu und Lou [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- [14] und Kontrasten anstatt mit Modellen gearbeitet, die aus Trainingsdaten abgeleitet werden. Über Flowcharts vermitteln die Autoren Lösungsprozeduren zur Suche geeigneter Schriftfarben unter Beachtung des Kontrasts, welche eine Anregung für die vorliegende Arbeit darstellen.

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

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

³<http://www.colourlovers.com/>

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, woraufhin damit im Zusammenhang stehende Gestaltungsprinzipien im Webdesign herausgearbeitet werden. 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 100.000 Webseiten Text in HTML-Dokumenten fast ausschließlich in Graustufen dargestellt wird [17]. 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)`

Im Folgenden wird der Farbwert `rgba(0, 0, 0, 0.87)` als *schwarz* und der Farbwert `rgba(255, 255, 255, 1.0)` als *weiss* bezeichnet.

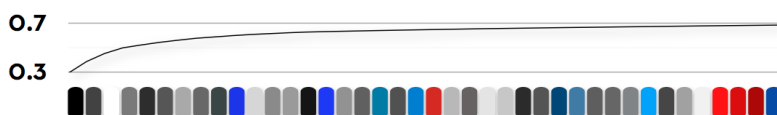


Abbildung 3: Die 40 populärsten Textfarben in Webseiten machen 70% aller verwendeten Textfarben aus. (Quelle: [17])

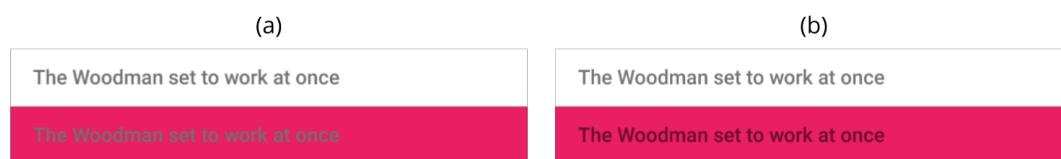


Abbildung 4: Empfohlene Textfarbe bei buntem Hintergrund. (a) Textfarbe `rgb(114, 114, 114)`. Der Text ist aufgrund des Simultankontrasts schlechter zu lesen. (b) Textfarbe `rgba(0, 0, 0, 0.54)`, d.h. Schwarz mit einem Alphawert von 54%. Die Textfarbe ergibt sich zu einer Verschwärzlichung der Hintergrundfarbe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

Es ist zu entscheiden, wann *schwarz* und wann *weiss* als 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 [28]:

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

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

mit $L_c \in [1, \dots, 22]$, wobei $L_c(\text{schwarz}, \text{weiss}) = 22$ 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 [29] zu entnehmen.

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

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

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

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

2.2 Benutzerführung

Ein adäquater Farbeinsatz ermöglicht die Steuerung der Aufmerksamkeit des Nutzers und unterstützt die Bildung von Zusammenhängen [12]. Dieses Konzept wird auch als visuelle Hierarchie bezeichnet [4], bei welcher 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 der Anwender lernen muss. 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 betroffenen 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.

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, sollte sie einheitlich verwendet werden. Beispielsweise würde ein nicht-anklickbares, blaues Element in der Oberfläche aus Abbildung 7 den Nutzer verwirren.

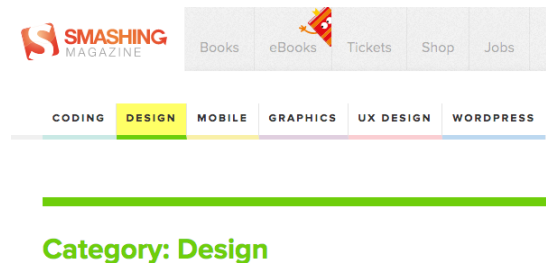


Abbildung 5: Farbkodierung von Themengruppen am Beispiel von www.smashingmagazine.com/. Es ist unklar, weshalb die gewählten Farben mit den jeweiligen Bereichen assoziiert werden.



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

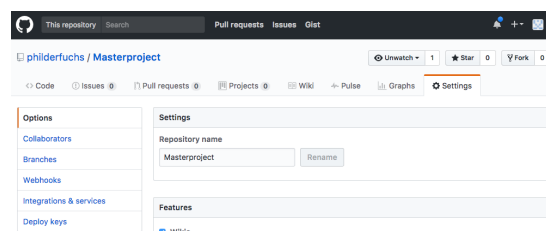


Abbildung 7: Farbkodierung von Funktionen am Beispiel von www.github.com. Nur anklickbare Elemente sind blau, aktive Elemente werden zusätzlich braun markiert.

2.3 Funktionsgruppen

Aus Unterabschnitt 2.2 geht hervor, dass Farbeinsatz im Webdesign der Abgrenzung von Funktionsbereichen sowie der Kennzeichnung von Elementen mit einheitlicher Funktion

dient. Aus diesen Gründen wird die Abbildung $f_{\text{coloration}} : CGs \rightarrow P$ durch eine Abstraktionsschicht erweitert, welche beschreibt, welche Funktion eine Color Group in einer Oberfläche erfüllt. In Anlehnung an [10, 8] wird exemplarisch die Menge von k Funktionsgruppen $FGs = \{\text{Primär}, \text{Sekundär}, \text{Akzent}, \text{Interaktion}, \text{Text (neutral)}, \text{Hintergrund (neutral)}\}$ mit $|FGs| = k = 6$ definiert. Die einzelnen Bedeutungen der Funktionsgruppen lauten wie folgt:

- **Primärfarbe:** Wird im Vergleich zu den anderen Farben am häufigsten eingesetzt und bildet so die farbliche Grundstimmung der Oberfläche [26].
- **Sekundärfarbe:** Unterstützt die Farbstimmung der Primärfarbe und orientiert sich dementsprechend an deren Farbton. Durch die Wahl einer Farbe mit geringerer Buntheit tritt sie in der visuellen Hierarchie stärker in den Hintergrund [4] und unterstützt durch den Qualitätskontrast die Wirkung der Primärfarbe [12].
- **Interaktionsfarbe:** Signalisiert Elemente, mit denen eine Interaktion möglich ist, z.B. durch klicken. Dies trifft nicht zwangsläufig auf Elemente zu, bei denen der Nutzer ohnehin eine Interaktionsmöglichkeit aufgrund ihrer Funktionsgruppe bereits erwartet, wie z.B. in der Seitennavigation.
- **Akzent:** Signalisiert Elemente mit hoher Priorität in der visuellen Hierarchie. Dies wird durch den sparsamen Einsatz (Quantitätskontrast, [12]) einer Farbe mit hoher Buntheit [4] erreicht.
- **Text (neutral):** Farbe für Fließtext. Entsprechend Unterabschnitt 2.1 wird hierfür in Abhängigkeit vom jeweiligen Hintergrund *weiss* bzw. *schwarz* festgelegt.
- **Hintergrund (neutral):** Standardfarbe von Blöcken, die keiner der obigen Funktionen entsprechen. Dies betrifft vorwiegend Blöcke mit Fließtext, so dass Textlesbarkeit zu beachten ist. Dementsprechend sind Graustufen zu bevorzugen [27], wobei entsprechend Unterabschnitt 2.1 ein ausreichender Luminanzkontrast zur Textfarbe zu gewährleisten ist. Darum wird die neutrale Hintergrundfarbe analog zur Textfarbe auf *weiss* bzw. *schwarz* beschränkt.

Die hier verwendeten Funktionsgruppen sind exemplarisch. Abhängig von den individuellen Ansprüchen einer Webseite ist die Definition anderer Funktionsgruppen denkbar. Bei mobilen Anwendungen ist beispielsweise eine farbliche Differenzierung verschiedener Interaktionsformen sinnvoll (z.B. drücken und wischen).

2.4 Farbschemata

Die Abbildung zwischen den Funktionsgruppen $FGs = \{fg_1, \dots, fg_k\}$ und den tatsächlichen Farben einer Farbpalette $P = \{c_1, \dots, c_n\}$ wird als die Funktion $f_{\text{scheme}} : FGs \rightarrow P$ definiert und im Folgenden als **Farbschema** bezeichnet. Die Farbgestaltung einer Webseite ist damit die Abbildung eines Farbschemas auf eine Farbpalette $f_{\text{coloration}} : (CGs \rightarrow FGs) \rightarrow P$.

Diese Definition eines Farbschemas unterscheidet sich von der Verwendung des Begriffs in der Literatur [12]. In dieser bezeichnet ein Farbschema die Charakteristik einer Farbpalette. Es beschreibt, *wie viele* unterschiedliche Farbtöne eine Farbpalette enthält und in welcher *geometrischen Beziehung* diese zueinander im Farbkreis stehen. Beispielsweise bezeichnet ein *triadisches* Farbschema eine Farbpalette mit drei Farbtönen, die sich in einem Abstand von 120° 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** als **Typ** der Funktion f_{scheme} in dieser Arbeit adaptiert. Abbildung 8 zeigt hierfür Beispiele. Es wird eine exemplarische Farbpalette abgebildet. Die dargestellten Funktionsgruppen entsprechen der in Unterabschnitt 2.3 definierte Menge FGs . Es ist zu erkennen, dass die möglichen Textfarben sowie die Hintergrundfarbe bereits unabhängig von der Farbpalette der Bildvorlage vorgegeben werden. Damit realisiert jedes Farbschema im Rahmen dieser Arbeit einen **Bunt-Unbunt-Kontrast**, was nach Stapelkamp [27] eine allgemeine Empfehlung für das Screendesign darstellt. Die Grafik zeigt weiterhin mögliche Abbildungen zwischen den Farbfunktionen und der Farbpalette unter „konkrete Farbschemata“. Für die neutrale Textfarbe stehen in Abhängigkeit vom jeweiligen Hintergrund im HTML-Dokument *weiss* bzw. *schwarz* zur Verfügung. Standardmäßig wird *weiss* für den neutralen Hintergrund angenommen. Die *dark*-Variante eines Farbschemas veranschaulicht eine Variante mit allgemein dunkler Farbstimmung durch die Verwendung eines dunklen Hintergrundes. Ein monochromes Farbschema beschränkt sich auf einen Farbtönen in verschiedenen Schattierungen. Dadurch wird ein **Qualitätskontrast** gebildet, welcher die Wirkung der Farbe mit der größten Buntheit erhöht. 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 selteneren Farben zusätzlich betont und so zur Bildung einer visuellen Hierarchie beiträgt. Das exemplarische tertiäre Farbschema bildet die Akzent- und Interaktionsgruppen auf unterschiedliche Farben ab und differenziert diese so zusätzlich.

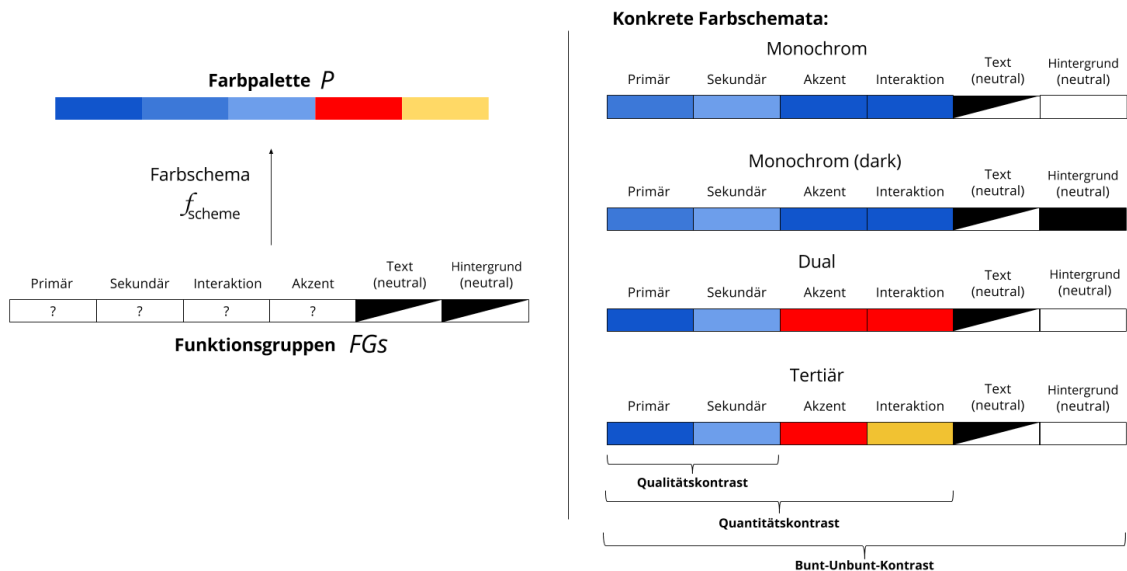


Abbildung 8: Beispiele für monochrome, duale und tertiäre Farbschemata. Der Farbeindruck der Seite wird durch Quantitäts-, Qualitäts- und Bunt-Unbunt-Kontraste bestimmt.

3 Problemlösungsverfahren und Systemarchitektur

Ausgehend von der Literaturbesprechung in Unterabschnitt 1.3 sowie den Schlussfolgerungen zur Farbgestaltung von Webseiten in Abschnitt 2 wird im Folgenden ein Konzept zur Problemlösung vorgestellt. Darauf aufbauend wird in Unterabschnitt 3.4 die konkrete Architektur des zu implementierenden Systems präsentiert.

3.1 Regelbasierter und 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. [15] zur automatisierten Färbung von Magazincovern stellt hierfür ein Beispiel dar. Durch die Analyse von Farbharmonie-Modellen wurden Regeln für Farbbeziehungen abgeleitet.
2. **Datengetrieben:** Beschreibt Modelle, welche die Güte möglicher Lösungen einer automatisiert erzeugten Farbgestaltung auf Grundlage existierender Beispieldaten prognostiziert.

Die regelbasierten Modelle treffen strickte Aussagen auf einem gewissen Abstraktionsgrad durch eine Vereinfachung des Problems bis zu einer Ebene, auf der Entscheidungen auf Grundlage weniger Parameter getroffen werden (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 findet ein verstärkter Einsatz probabilistischer Modelle statt [siehe z.B. 11, 19].

Da bei datengetriebenen 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, bis zu 2 Stunden zur Konvergenz. Darüber hinaus ist der 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 eine Nutzerinteraktion während des Optimierungsprozesses.

Aus diesen Gründen wird sich in dieser Arbeit für eine vollautomatisierte, regelbasierte Lösungsmethode entschieden. Auch ohne die Auswertung großer Datenmengen existieren quantitative Modelle zur Gewährleistung der Textlesbarkeit und Benutzerführung, wie z.B. die in 2.1 vorgestellten quantitativen Grenzwerte der *Web Content Accessibility Guidelines*.

3.2 Layouts

Ziel dieser Arbeit die Färbung einer konkreten Webseite. Das Parsing eines solchen HTML-Dokuments zur Erschließung aller $e \in CG$ sowie die Speicherung aller topologischen Informationen dieser Elemente innerhalb einer Seite führt jedoch eine zusätzliche Ebene der Komplexität in das zu lösende Problem ein. Der CSS-Standard sieht durch die Klassen-

Selektoren [31] ohnehin die Auszeichnung einheitlicher darzustellender Elemente bereits auf Ebene der Dokumentenbeschreibung vor. Dementsprechend wird von der konkreten HTML-Beschreibung einer Webseite abstrahiert und dieses als **Layout** betrachtet. Ein Layout definiert:

1. *FGs*: Die Menge der k Funktionsgruppen *FGs*. Entsprechend Abschnitt 2 wird diese standardmäßig auf $FGs = \{\text{Primär, Sekundär, Akzent, Interaktion, Text (neutral), Hintergrund (neutral)}\}$ festgelegt.
2. *CGs*: Die Menge der Color Groups mit den enthaltenen Elementen $CGs = \{CG_1 = (e_1, e_2, \dots), \dots, CG_m = (e_1, e_2, \dots)\}$.
3. $CGs \rightarrow FGs$: Die Abbildung der Color Groups auf Funktionsgruppen. Beispielsweise definiert ein Layout selbst, welche Elementen interaktiv sind und somit zur Funktionsgruppe *Interaktion* gehören.

Dadurch wird die Komplexität der Suchverfahren reduziert, indem die Menge der Funktionsgruppen als konstant angesehen wird und die konkrete Topologie der Oberflächenelemente innerhalb des HTML-Dokuments im Verantwortungsbereich des Layouts liegt.

3.3 Aufteilung der Suchverfahren

Nach den Erläuterungen in den vorangegangenen Abschnitten ergibt sich die formale Darstellung der automatisierten Farbgestaltung einer Webseite aus einer Bildvorlage als die Abbildung $f_{\text{coloration}} : (CPs \rightarrow FGs) \rightarrow (I \rightarrow P)$. In Unterabschnitt 3.2 wurde dargestellt, dass die Abbildung $CGs \rightarrow FGs$ durch das Layout gegeben ist und somit bei der Lösungssuche aus der Betrachtung entfernt wird. Weiterhin existieren die Teilprobleme (1) $f_{CPE} : I \rightarrow P$, d.h. die Ermittlung von n repräsentativen Farben einer Bildvorlage sowie (2) Die Ermittlung des Farbschemas $f_{\text{scheme}} : FGs \rightarrow P$, d.h. die Auswahl von k Farben aus der Palette und deren Zuordnung zu den Funktionsgruppen.

In Unterabschnitt 3.1 wurde ein regelbasierter Ansatz zur Lösungssuche gewählt. Die Regeln werden im Folgenden als **Constraints** bezeichnet. Es existieren zwei Herangehensweisen:

1. **Constraints-First**: Setze $|FGs| = k = n = |P|$. P wird in Abhängigkeit vom Layout ermittelt. Hierbei wird die Bildung des Farbschemas zum Zeitpunkt der CPE verlagert. Unter Kenntnis der Funktionsgruppen mit deren gewünschten Eigenschaften ist der Suchraum das Histogramm der Bildvorlage. Dieser Ansatz wird unter anderem von O'Donovan et al. [23] verfolgt. Sie verwendeten 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 für das Farbschema beschränkt sich auf die Farben in P . Dieser Ansatz wird ebenfalls von [11] bei der datengetriebenen Färbung von Webseiten verfolgt.

Für diese Arbeit wird die Herangehensweise **Constraints-Last** bevorzugt, um Flexibilität in Bezug auf unterschiedliche Layouts zu gewährleisten. Für die Arbeit bedeutet dies, dass eine Problemlösung anhand eines exemplarischen Layouts mit einer definierten Menge an Funktionsgruppen veranschaulicht wird, eine Übertragung auf andere Layouts jedoch möglich ist.

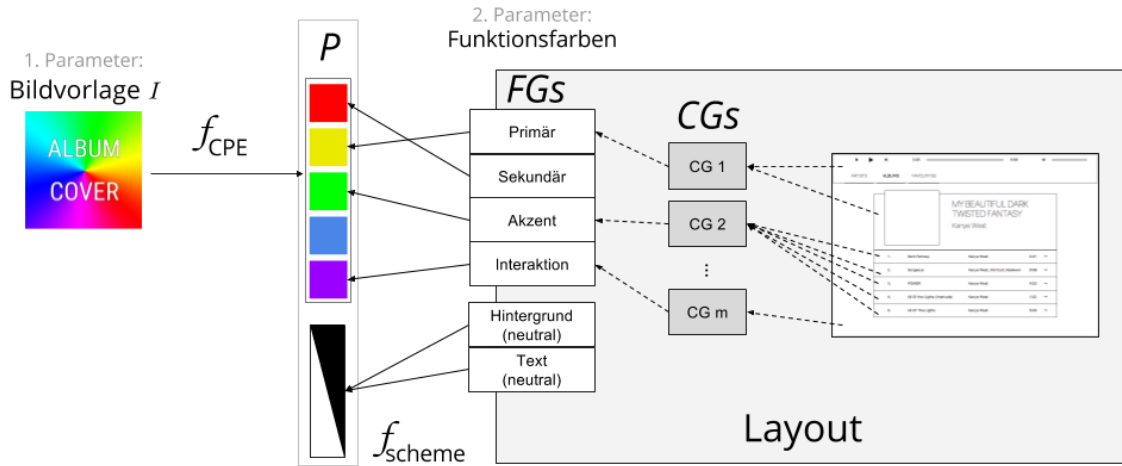


Abbildung 9: System-Architektur. Der grau unterlegte Kasten visualisiert den Bereich, für den algorithmische Lösungen gefunden werden müssen. Die Eingabeparameter sind eine Bildvorlage und eine Menge von Color Groups, welche von einem Layout definiert werden. Das System setzt zwei Suchverfahren um, welche mit f_1 und f_2 bezeichnet werden. f_1 ermittelt zuerst eine Farbpalette aus der Bildvorlage (CPE). f_2 ordnet Colour Groups Farben aus der Palette, in dem ein entsprechendes Constraint System gelöst wird. Nachdem eine Farbabbildung gefunden wurde, wird das kolorierte Layout ausgegeben.

3.4 Systemarchitektur

Abbildung 9 fasst die in dieser Arbeit entworfene Systemarchitektur für die automatisierte Farbgestaltung einer Webseite zusammen. Parameter 1 ist die Bildvorlage I , welche durch einen Algorithmus zur Color Palette Estimation f_{CPE} auf eine Menge repräsentativer Farben abgebildet wird. Aus Unterabschnitt 2.2 folgt, dass unabhängig von der Bildvorlage *weiss* und *schwarz* für den neutralen Text bzw. Hintergrund benötigt werden. Darum wird die Farbpalette entsprechend ergänzt: $P_{neutral} = f_{CPE}(I) \cup \{weiss, schwarz\}$.

Parameter 2 sind die Funktionsgruppen, welche in Unterabschnitt 2.3 festgelegt wurden. Durch ein Suchverfahren f_{scheme} werden Farben für $\forall fg \in FGs$ gesucht, d.h. es wird ein Farbschema gebildet. Hierfür wird ein Constraint System modelliert, welches durch die von Lin et al. [19] vorgestellten Factor Graphs realisiert wurde.

Durch die Funktionsgruppen wird im Constraint System von der konkreten Topologie der Oberflächenelemente innerhalb der Webseite abstrahiert. Dies spiegelt sich darin wieder, dass für die Funktionsgruppe „Text (neutral)“ keine bestimmte Farbe durch das Constraint System festgelegt wird, sondern sowohl *weiss* als auch *schwarz* zur Auswahl gestellt werden. Darum wird auf der Layout-Ebene für Block-Elemente pauschal diejenige Textfarbe

festgelegt, welche unter Verwendung der Formel zur Berechnung des Kontrastverhältnisses L_c aus Unterabschnitt 2.1 den besseren Kontrast liefert:

$$\begin{aligned}
 & \forall FG \in FGs : \\
 & f_{\text{scheme}}(FG) = c \implies \forall e \in CG \rightarrow FG : \begin{cases} e = (c, \text{transparent}), & \text{wenn } type(e) = \text{Text} \\ e = (f_{\text{textcolor}}(c), c), & \text{wenn } type(e) = \text{Block} \end{cases} \\
 & \hline
 & f_{\text{textcolor}} : c \rightarrow c, f(c) = \begin{cases} \text{schwarz}, & \text{wenn } L_c(\text{schwarz}, c) \geq L_c(\text{weiss}, c) \\ \text{weiss}, & \text{sonst} \end{cases}
 \end{aligned} \tag{5}$$

Im Folgenden wird... [Vorschau auf die nächsten Kapitel](#)

4 Color Palette Estimation

In diesem Abschnitt wird eine Algorithmus zur Lösung des Teilproblems f_{CPE} ermittelt. Dies bedeutet die Festlegung eines Verfahrens zur Abbildung $I \rightarrow P$. Hierbei repräsentiert $P = (c_1, \dots, c_n)$ die Bildvorlage I mit möglichst wenig Farbwerten, wobei Farben der für die Wahrnehmung relevanten Objekte dennoch erhalten bleiben sollen. Unterabschnitt 4.1 bietet einen Überblick über vorhandene Algorithmen zur CPE. Im Anschluss wird eine konkrete Methoden ausgewählt und in Unterabschnitt 4.2 erläutert.

4.1 Überblick

Grundlegend sind zwei Ansätze zur CPE zu unterscheiden [21]:

1. **Histogramm-basiert:** Algorithmen, die von der räumliche Anordnung der Farben im Bild abstrahieren und P auf Grundlage der globalen Farbinformation bilden, d.h. des Histogramms. Da der Definitionsbereich eines Histogramm eine Teilmenge des Farbraums bildet, entspricht dieser Fall der unüberwachten Klassifizierung des Farbraums. Die Umsetzung erfolgt überwiegend durch Clustering-Verfahren, die Gruppen ähnlicher Farben im Bild identifizieren.
2. **Segmentierungs-basiert:** Algorithmen, die die räumliche Anordnung der Farben im Bild berücksichtigen. Durch eine Segmentierung des Bildes werden zusammenhängende Bereiche identifiziert, für welche im Folgenden repräsentative Farben ermittelt werden. Die menschlichen Wahrnehmungseigenschaften auf Objektebene werden auf diese Weise besser berücksichtigt, gleichzeitig wird durch die zusätzliche Betrachtung der Positionsinformation eine weitere Ebene der Komplexität eingeführt [18].

Morse et al. [21] kritisieren an den segmentierungs-basierten Verfahren, dass sie von einer akkuraten Bildsegmentierung abhängen, welche nicht für jede Bildstruktur gewährleistet ist (z.B. in stark texturierten Bereichen). Aus diesem Grund wird für die weitere Diskussion der Fokus auf die histogramm-basierten Verfahren gelegt.

Kanjanawanishkula und Uyyanonvarab [16] treffen eine Kategorisierung der histogramm-basierten Verfahren in *hierarchisch* und *iterativ*. Hierarchische Verfahren starten vor dem Erreichen der (fest zu wählenden) Farbanzahl n mit mehr (*bottom-up*) bzw. weniger (*top-down*) Clustern. Die Aufspaltung bzw. Vereinigung von Clustern basiert auf der statistischen Analyse der Verteilung der Bildfarben im Farbraum. Hierzu zählen unter anderem die in der Vergangenheit populären top-down Raumunterteilungs-Algorithmen wie z.B. Mediancut [13] oder Octree [9], welche den Farbraum sukzessiv in disjunkte Teilräume zerlegen und dabei würfelförmige Cluster erzeugen. Die feste Vorgabe der Form der Cluster stellt die Kritik an diesen Verfahren dar. Ergebnis der Verarbeitung ist ein Dendogram, dessen Blätter die Farben der Farbpalette repräsentieren.

Ein Schnitt des Dendograms entspricht einer Partitionierung des Raums, was dem Resultat der iterative Verfahren entspricht. Sie starten bereits mit der erforderlichen Anzahl Clustern n und optimieren deren Position iterativ entsprechend einer Zielfunktion. Ein Beispiel ist die Minimierung des quadratischen Fehler, wie z.B. bei K-Means [20, 33] oder Fuzzy C-Means [3]. Andere Verfahren analysieren das Histogramm auf dichte bzw. weniger dichte Regionen, wie z.B. der Mean-Shift Algorithmus [5]. Die Kritik der iterativen Verfahren begründet sich in deren Abhängigkeit von den Startbedingungen [6].

Für eine detailliertere Vorstellung von Algorithmen zur CPE verweist der Autor auf Periasamy [24].



Abbildung 10: CPE Ergebnis von ACoPa. (a) Originalbild "Peppers". (b) Hierarchische Farbpalette. Die oberste Ebene identifiziert die wesentlichen Farbtöne. Ebene 2 bildet Sättigungsstufen. Ebene 3 schlüsselt das Ergebnis weiterhin in Helligkeitsstufen auf und zeigt die finalen Farben. (Quelle: [6])

Delon et al. [6] kritisieren an den bisher vorgestellten Algorithmen, dass die Anzahl n gesuchter Farben zuvor bekannt sein muss und dass Farben kleiner Bilddetails im Sinne der Definition aus 1.2 nur unzureichend repräsentiert werden. Dies begründet sich in der Tatsache, dass die bisherigen Verfahren eine Raumunterteilung vornehmen, ohne die Spezifika von Farbräumen zu beachten.

Demgegenüber stellten Delon et al. [6] und Morse et al. [21] zwei ähnliche, hierarchische Verfahren vor, die sich die Verwandtschaft der menschlichen Farbbeschreibung mit der Farbkodierung in Farbräumen mit Polarkoordinaten-Repräsentation zu Nutze machen. Sie basieren auf der hierarchischen Segmentierung eindimensionaler Histogramme. Die Algorithmen ermitteln zunächst die grundlegenden Farbtöne (Hue) der Bildvorlage, welche daraufhin sukzessive in Sättigungsstufen (Saturation) und diese wiederum in Helligkeitsstufen aufgespalten werden. Abbildung 10 veranschaulicht exemplarisch die hierarchische Arbeitsweise. Die Identifizierung verschiedener Farbtöne der Bildvorlage vereinfacht die Bildung *monochromer*, *dualer* und *triadischer* Farbschemen, welche in Unterabschnitt 2.4 vorgestellt wurden. Darum wurden diese beiden Algorithmen für die weitere Diskussion ausgewählt.

Der von Delon et al. [6] vorgeschlagene Algorithmus lautet **Automatic Color Palette (ACoPa)** und verwendet globale Farbinformationen im HSI-Farbraum. Er arbeitet parameterfrei und bestimmt n automatisch. Der Algorithmus von Morse et al. [21] verwendet den HLS-Farbraum und ist parameterabhängig, d.h. er benötigt Angaben in Bezug auf n . Die Autoren schlagen jedoch interessante Vorverarbeitungsschritte für die Histogramm-Bildung

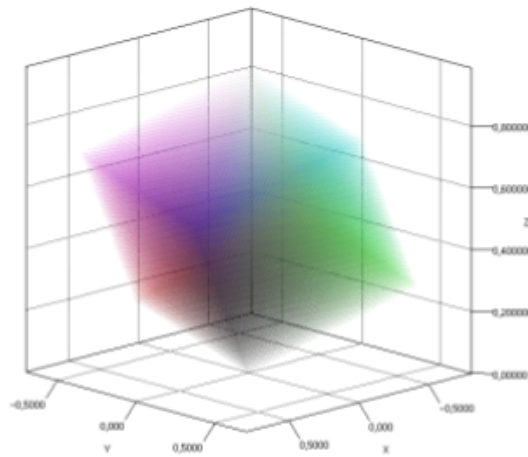


Abbildung 11: Visualisierung des HSI Farbraums.

vor, welche lokale Farbinformationen der Pixelpositionen berücksichtigen und somit eine Brücke zu den segmentierungs-basierten Verfahren schlagen.

Um dem Ziel einer vollautomatisierten Methode zur Farbgestaltung von Webseiten aus Bildvorlagen gerecht zu werden, wurde als Implementierungsgrundlage der ACoPa-Algorithmus gewählt, da er keine Nutzerinteraktion in Form der Bestimmung von n benötigt. Er wird im folgenden Unterabschnitt 4.2 vorgestellt. Daraufhin werden in Unterabschnitt 4.3 die Adaptionen dieses Algorithmus von Morse et al. [21] beschrieben.

4.2 ACoPa

Der ACoPa Algorithmus [6] basiert auf der Darstellung des Histogramms im HSI Raum. Die Konvertierung wird in Abschnitt 4.2.1 vorgestellt. Daraufhin werden Farben identifiziert, indem Segmentierungen der eindimensionalen H-, S- und I-Histogramme durchgeführt werden. Das zugehörige Verfahren wird als *Fine-to-Coarse Segmentation* bezeichnet und in Abschnitt 4.2.2 vorgestellt. Abschnitt 4.2.3 bespricht die hierarchische Anwendung dieses Verfahrens auf die Komponenten des Farbraums zur Bildung der Farbpalette und stellt Ergebnisse vor.

4.2.1 Konvertierung in den HSI-Raum

Zunächst wird das Histogramm in den HSI Farbraum mit $\{(H, S, I) \mid 0 \leq H < 360 \wedge 0 \leq S \leq 1 \wedge 0 \leq I \leq 1\}$ übertragen. Es handelt sich um eine Rotation des RGB-Würfels, der die Kodierung von Farbwerten in Polarkoordinaten ermöglicht. Die einzelnen Komponenten

lauten Hue (Farbton), Saturation (Sättigung) und Intensity (Intensität, hier als Helligkeit bezeichnet). Die Umrechnungsvorschrift gemäß der ACoPa-Autoren lautet wie folgt:

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

Das Umrechnungsergebnis führt zu einer falschen Abbildung der H-Werte. Plataniotis und Venetsanopoulos [25] schlagen eine alternative Bildungsvorschrift der H-Komponente vor:

$$H = \arccos\left(\frac{\frac{1}{2}((R - G) + (R - B))}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}}\right) \quad (7)$$

Abbildung 11 visualisiert das Konvertierungsergebnis. Das Resultat ist ein RGB-Würfel, der auf die „schwarze Ecke gestellt wurde“.

4.2.2 Segmentierung des Histogramm

Ein Histogramm $h = (h_i)_{i=1\dots b}$ mit b -Bins wird gebildet. Gesucht wird nun eine Sequenz $s = (s_i)_{i=1\dots k}$ von Markierungen des Definitionsbereichs mit $1 = s_0 < s_1 < \dots < s_k = b$, welche als **Segmentierung** des Histogramms bezeichnet wird. Das Intervall $[h_{s_i}, \dots, h_{s_{i+1}}]$ wird als **Segment** bezeichnet. Die Vereinigung aller Segmente eines Histogramms ergibt wieder das Histogramm. Ziel ist, dass das Histogramm in allen Segmenten eine „annähernd unimodale Verteilung aufweist“ [6]. Abbildung 12 zeigt das Prinzip an verschiedenen Beispielen.

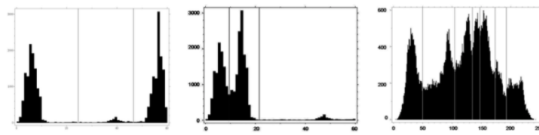


Abbildung 12: Beispiele der Segmentierung von Histogrammen in unimodale Abschnitte. (Quelle: [6])

Ein Histogramm ist offensichtlich in jedem Segment unimodal, wenn s mit den enthaltenen Minima initialisiert wird. Es wird nun versucht, Komponenten aus s zu entfernen, indem für ein bestimmtes $i \in s_2, \dots, s_{k-1}$ überprüft wird, ob h im Intervall $[h_{s_{i-1}}, \dots, h_{s_{i+1}}]$ die „unimodale Hypothese“ erfüllt. Anschaulich bedeutet dies die Verschmelzung benachbarter Segmente, so dass das neu entstandene Segment nach wie vor „annähernd unimodal ist“. Hierfür wird h im betrachteten Intervall mit einem Referenz-Histogramm h' verglichen. Es wird ein $j \in]s_{i-1}, s_{i+1}[$ gewählt, so dass h' in $[h'_{s_{i-1}}, \dots, h'_j]$ monoton wachsend und in $[h'_j, \dots, h'_{s_{i+1}}]$ monoton fallend ist, d.h. in $[h'_{s_{i-1}}, \dots, h'_{s_{i+1}}]$ unimodal. Das Referenz-Histogramm h' wird aus dem Original-Histogramm h durch Anwendung des *Pool Adjacent*

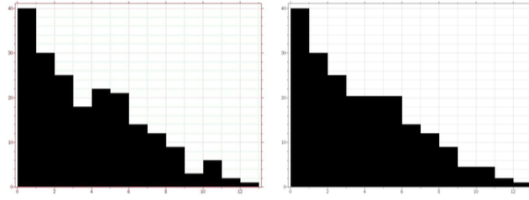


Abbildung 13: Transformation eines Segments durch Anwendung des *Pool Adjacent Violators* Algorithmus. Links: Betrachtetes Segment. Rechts: Monoton fallende Variante. (Quelle: [6])

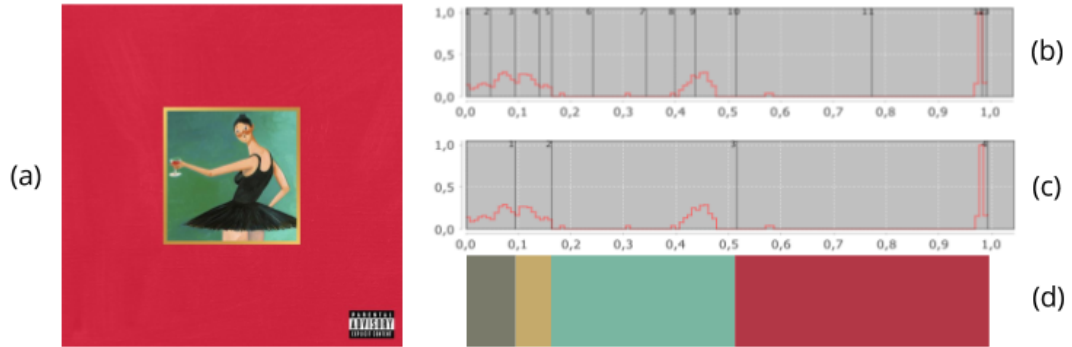


Abbildung 14: Beispiel für eine Segmentierung des Hue-Histogramms. (a) Bildvorlage, das Albumcover „My Beautiful Dark Twisted Fantasy“ von Kanye West. (b) Hue-Histogramm (normalisiert), mit allen Minima als initiale Segmentierung. (c) Segmentierung nach Anwendung des FTC Segmentation Algorithmus. (d) Farbmittelpunkte entsprechend der Samples der jeweiligen Segmente.

Violators Algorithmus im betrachteten Segment gebildet. Abbildung 13 zeigt ein Beispiel für die monoton fallende Variante. Die Bildungsvorschrift für diese Transformation ist [6, 7] zu entnehmen.

Für $\forall j \in]s_{i-1}, s_{i+1}[$ werden $h_{[s_{i-1}, s_{i+1}]}$ und $h'_{[s_{i-1}, s_{i+1}]}$ durch einen parameterfreien statistischen Test verglichen, den die Autoren in einer separaten Veröffentlichung vorstellen [7]. Ziel ist der Nachweis, dass h im betrachteten Segment die „unimodale Hypothese“ erfüllt, d.h. $h_{[s_{i-1}, s_{i+1}]}$ und $h'_{[s_{i-1}, s_{i+1}]}$ eine ähnliche Verteilung aufweisen. Bei Erfolg wird s_i aus s entfernt. Der von den Autoren vorgestellte Test ist verhältnismäßig aufwändig. In dieser Arbeit wird für die Implementierung auf einen einfachen T-Test zurückgegriffen. Dieser liefert ebenfalls befriedigende Ergebnisse, ist aber abhängig vom gewählten Signifikanzniveau, welcher experimentell ermittelt wurde.

Das Verfahren zur Histogramm-Segmentierung wird in [7] als **Fine-to-Coarse (FTC) Segmentation** Algorithmus 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. Eine repräsentierende Farbe eines Segments wird durch Mittelung der enthaltenen Samples gebildet. Abbildung 14 zeigt dies an einem Beispiel.



Abbildung 15: (a) Hierarchische Farbpalette. Die 14 Farben sind in 4 Hue-Groups angeordnet. Die I-Ebene bildet die Farbpalette der Bildvorlage. (b) Farbpalette nach Anwendung von K-Means.

4.2.3 Bildung der hierarchischen Farbpalette

Der ACoPa Algorithmus besteht aus einer hierarchischen Anwendung des FTC-Segmentation Algorithmus. Dabei wird zuerst der H -, danach der S - und abschließend der I -Kanal segmentiert. In jedem Schritt werden die Samples der entstandenen Segmente aufgeteilt und die Histogramme der nächsten Ebene separat berechnet. Das Ergebnis ist eine hierarchische Farbpalette. Abbildung 15 zeigt dies am Beispiel der Covers aus Abbildung 14. Auf oberster Ebene (H) werden die grundsätzlichen Farbtöne des Bildes identifiziert. Auf der zweiten Ebene (S) werden die jeweiligen Farbtöne in unterschiedliche Sättigungsstufen aufgeteilt. Auf der dritten Ebene (I) werden von den Sättigungen verschiedene Helligkeitsabstufungen gebildet.

Die letzte Ebene (I) bildet die Farbpalette P . Sie wird durch die initial erschlossenen Farbtöne in **Hue-Groups (HG)** unterteilt. Somit wird für $\forall c \in P$ gleichzeitig erfasst, welche Farben konkrete Ausprägungen eines gemeinsamen Farbtons darstellen. Delon et al. [6] empfehlen zusätzlich, die Farben als Startpunkte für den K-Means Algorithmus zu verwenden. Abbildung 15 (b) zeigt das Ergebnis nach Konvergenz. Obwohl sich die Clusterzentren den im Bild enthaltenen Farben angenähert haben, ist zu sehen, wie hierdurch die Zuordnung zu den Hue-Groups verloren geht. Entsprechend der Argumentation in Unterabschnitt 4.1 ist diese Zuordnung jedoch günstig zur Bildung von Farbschemata. Aus diesem Grund wird auf die nachgeschaltete Anwendung des K-Means Algorithmus verzichtet.

4.3 Vorverarbeitung des Histogramms

In Unterabschnitt 3.4 wurde durch P_{neutral} festgelegt, dass die Farbpalette in jedem Fall durch Graustufen ergänzt wird. Bei der Ermittlung des Farbschemas f_{scheme} würden Farben mit geringer Sättigung, die aus dem ACoPa Algorithmus resultieren, mit diesen Graustufen konkurrieren. Aus diesem Grund werden Farben aus dem Histogramm h gefiltert, die sich

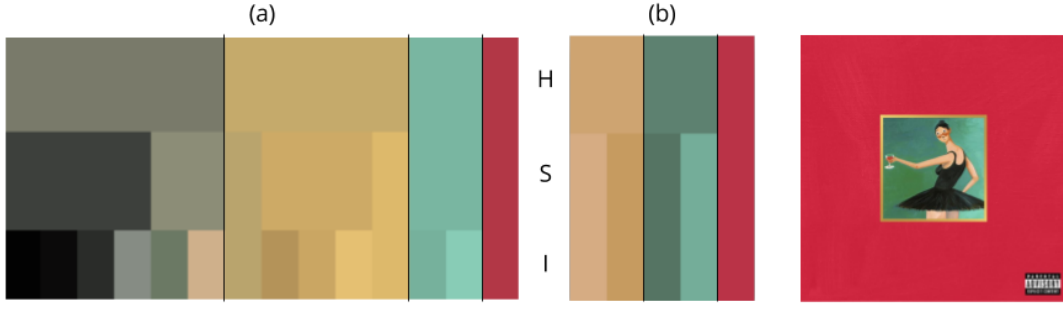


Abbildung 16: (a) Hierarchische Farbpalette ohne Vorverarbeitung des Histogramms. (b) Hierarchische Farbpalette mit Filterung der Grau-Zylinder ($S < \theta = 0.1$) und Weichzeichnung des Histogramms. Die Hue-Group mit Farben geringer Sättigung entfällt. Es werden weniger Sättigungs- und Helligkeitsstufen gebildet, die sich intuitiver den Farben der Bildvorlage zuordnen lassen.

innerhalb des „Grau-Zylinder“ [6] im HSI Raum befinden. Hierbei werden alle Samples mit einem Sättigungswert $< \theta$ aus h entfernt. θ wurde experimentell auf 0.1 festgelegt.

Abbildung 14 lässt außerdem erkennen, dass die resultierende Farbpalette zwar die Farbdetails der Bildvorlage berücksichtigt, umgekehrt jedoch nicht sofort jede Farbe der Palette intuitiv einem Bildobjekt zugeordnet werden kann. Morse et al. [21] schlagen daher die Anwendung eines Weichzeichnungsfilter (Mittelwert) zur Reduzierung der gebildeten Abstufungen vor. Abbildung 16 veranschaulicht das Resultat nach Filterung des Grau-Zylinders und Weichzeichnung des Histogramms. Als Nebeneffekt wird auf diese Weise der Suchraum für die Ermittlung des Farbschemas reduziert, wodurch Laufzeiten verbessert werden.

Morse et al. [21] argumentieren, dass zusammenhängende Bereiche mit gleichem Farbton und hoher Sättigung einen besonders hohen visuellen Effekt bei der Wahrnehmung von Bildern besitzen. Darum wird eine Gewichtung der Samples im Histogramm vorgeschlagen. Für den Häufigkeitswert $h(c)$ einer Farbe c im Histogramm wurde folgende Formel verwendet:

$$h(c) = I_c + \sum_{(x,y) \in I_c} \frac{\text{saturation}(x,y)}{N(x,y)}$$

$$I_c = \{(x,y) \in I \mid \text{color}(x,y) = c\}$$

$$N(x,y) = \frac{\sum_{i=1}^{-1} \sum_{j=1}^{-1} \|\text{color}(x,y) - \text{color}(x+i, y+j)\|}{8}$$
(8)

Dementsprechend erhalten Samples mit hohem Sättigungswert und ähnlichen Farbwerten in deren 8ter-Umgebung eine höhere Gewichtung, was sich auf die Bewertung der Häufigkeit eines Farbwerts im Histogramm auswirkt. Abbildung 17 veranschaulicht dies an einem Beispiel. Die linke Bildvorlage enthält ein $128px \times 64px$ großes, magentafarbenes Rechteck. Bei der rechten Bildvorlage ist die gleiche Anzahl magentafarbener Pixel im Bild verstreut, was zu einem geringeren visuellen Effekt führt, ohne Gewichtungsfunktion jedoch das gleiche Histogramm zur Folge hätte. Durch Gleichung 8 wird Magenta bei der Blockvariante in die Farbpalette übernommen, bei der Streuungsvariante jedoch nicht.

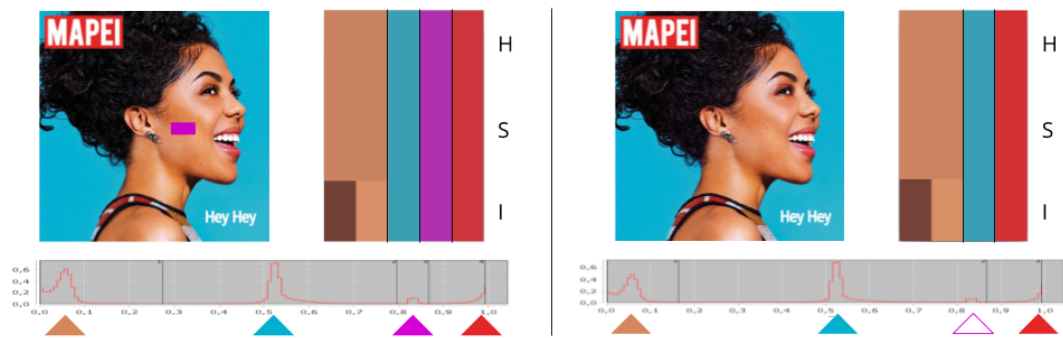


Abbildung 17: Einfluss der Gewichtung von Samples bei der Bildung des Histogramms. Links: Ein zusammenhängender Block magentafarbener Pixel. Der Block führt zu einem sichtbaren Berg im Hue-Histogramm (unten). Rechts: Die gleiche Menge magentafarbener Pixel ist im Bild verstreut und hat einen geringen visuellen Effekt. Dies wird durch einen flacheren Berg im Histogramm wiedergespiegelt, wodurch Magenta nicht Teil der Farbpalette wird. Ein ähnlicher Effekt ist bei den Brauntönen zu erkennen.

5 Suchverfahren für Farbschemata

In diesem Abschnitt wird eine Methode zur Lösung des Teilproblems $f_{scheme} : FGs \rightarrow P$ vorgeschlagen. Hierbei werden Farben aus P für die Funktionsgruppen eines Layouts festgelegt, wodurch die Farbgestaltung der Webseite definiert wird. Zur Veranschaulichung wird ein prototypisches Layout für Musikstreaming verwendet. Es enthält die in Unterabschnitt 3.4 festgelegten Funktionsgruppen $FGs = \{\text{Primär, Sekundär, Akzent, Interaktion, Text (neutral), Hintergrund (neutral)}\}$. Abbildung 18 hebt die Funktionsgruppen des Layouts separat hervor. Für die Funktionsgruppen $\{\text{Primär, Sekundär, Akzent, Interaktion}\}$ werden Farben verwendet, die aus ACoPa resultieren. Für die Funktionsgruppen $\{\text{Text (neutral), Hintergrund (neutral)}\}$ wird der Suchraum auf *weiss* und *schwarz* beschränkt.

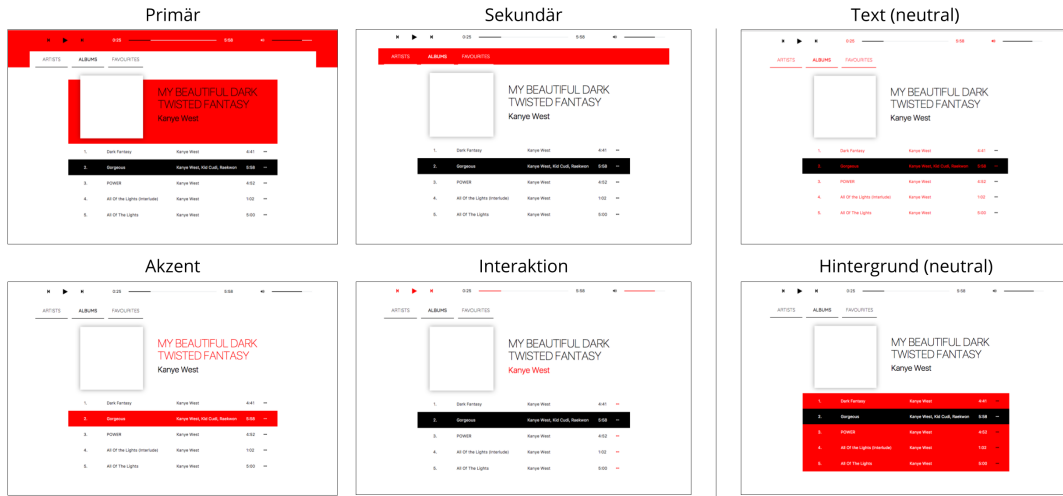


Abbildung 18: Funktionsgruppen des Layouts einer prototypischen Webseite für Musikstreaming. Alle Oberflächenkomponenten, die zur der jeweiligen Funktionsgruppe gehören, sind rot hervorgehoben.

Für das Suchverfahren wurden Factor Graphs modelliert. Diese Methode wurde bereits erfolgreich in der Arbeit von Jahanian et al. [15] zur Ermittlung der Farben von Flächen in Muster eingesetzt. Ein Factor Graph ermöglicht die Beschreibung eines Constraint Graphen. Dieser repräsentiert die Aufspaltung einer komplexen Wahrscheinlichkeitsverteilung über mehrere Variablen durch deren Zerlegung in Teilfunktionen auf einer Teilmenge der Variablen. Zur Implementierung des Graphen sowie zur Inferenz möglicher Lösungen wird die Bibliothek *Dimple*⁴ in der Programmiersprache Java verwendet.

Der Constraint-Graph besteht aus Knoten V und Kanten E . Knoten beschreiben Variablen, für die Werte bestimmt werden sollen. In diesem Falle gilt $V = FGs \setminus \{\text{Text (neutral)}\}$. Die Gruppe $\{\text{Text (neutral)}\}$ wird ausgelassen, da entsprechend der Erläuterungen in Unterabschnitt 3.4 die Entscheidung über die Textfarbe der Blockelemente auf Layout-Ebene getroffen wird und nicht Teil des Suchverfahrens ist. Der Wertebereich der Variablen ist eine finite Domain $dom = \{d_0, \dots, d_{n+2}\}$, welche auf $P_{\text{neutral}} = f_{CPE}(I) \cup \{\text{weiss}, \text{schwarz}\}$ basiert, wobei die Farbwerte um weitere Attribute erweitert werden. Die Attribute der $d \in dom$ lauten:

- h, s, i : Der Farbwert im HSI Raum.

⁴<http://dimple.problog.org/>

- r, g, b : Der Farbwert im RGB Raum. Wird benötigt für die Berechnung des Kontrastverhältnisses.
- **Gewicht** *weight*: Relatives Gewicht des Segments in der hierarchischen Farbpalette (entsprechend Gleichung 8).
- **Hue-Group** *hg*: Index der Hue-Group der Farbe.
- **Größe der Hue-Group** *hg_{size}*: Anteil der Farben aus P , die Teil der Hue-Group des Farbwerts sind.

Die Kanten E entsprechen Constraints zwischen den Knoten. Es wird in Hard und Soft Constraints unterschieden [19]. Hard Constraints beschreiben Einschränkungen, die bei der Lösung des Systems nicht verletzt werden dürfen. Soft Constraints beschreiben eine Gewichtung der möglichen Werte einer Variable in Form einer Bewertungsfunktion $score() \rightarrow [0, 1]$, wobei 1 für eine hohe und 0 für eine niedrige Bewertung steht. So sind Eigenschaften einer Farbe beschreibbar, die sie für eine Funktionsgruppe besonders qualifizieren (z.B. eine möglichst hohe Sättigung für die Interaktionsgruppe).

In Unterabschnitt 2.4 wurde der Typ eines Farbschemas daran unterschieden, wie viele verschiedene Farbtöne es enthält. Ein monochromes Farbschema enthält einen Farbtönen, ein duales zwei und ein triadisches Farbschema drei verschiedene Farbtöne. Der ACoPa-Algorithmus ermittelt die Anzahl verschiedener Farbtöne eines Bildes, wodurch ebenfalls der Typ einer Farbpalette durch Analyse der Anzahl enthaltener Hue-Groups $\#HGs(P)$ feststellbar ist. Dementsprechend führt eine Farbpalette mit $\#HGs(P) = 1$ zu einem monochromen Farbschema, eine Farbpalette mit $\#HGs(P) = 2$ zu einem dualen und mit $\#HGs(P) \geq 3$ zu einem triadischen Farbschema. Auf diese Art und Weise spiegelt sich die wahrgenommene „Buntheit“ einer Bildvorlage (immer Sinne der Anzahl enthaltener Farbtöne) in einer entsprechend bunten Weboberfläche wieder, und umgekehrt. Farbpaletten mit mehr als drei verschiedenen Farbtönen werden auf ein triadisches Farbschema reduziert, da entsprechend Unterabschnitt 2.4 die Verwendung von mehr Farbtönen nicht sinnvoll für die Benutzerführung ist.

Im Folgenden wird für jeden Typ ein separater Factor Graph entworfen. Die Ergebnisse werden anhand des prototypischen Layouts aus Abbildung 18 veranschaulicht.

5.1 Suchverfahren für triadische Farbschemata

Abbildung 19 visualisiert den Factor Graph für das triadische Farbschema (Fall: $\#HGs(P) \geq 3$). Die Kreise repräsentieren die Variablen, während die Quadrate Constraints darstellen, die sich auf die Variablen beziehen, zu denen Kantenverbindungen bestehen. Hard-Constraints sind rot dargestellt, Soft-Constraints gelb. Im Folgenden werden die Constraints erläutert.

Hard Constraints:

- **cont**: Das Kontrastverhältnis L_c muss mindestens 3.0 betragen, was den in Unterabschnitt 2.1) erläuterten Minimalvoraussetzungen für Textlesbarkeit entspricht.

$$L_c(\text{value}(V_{\text{Primär}}), \text{value}(V_{\text{Akzent}})) \geq 3.0$$

$$L_c(\text{value}(V_{\text{Primär}}), \text{value}(V_{\text{Interaktion}})) \geq 3.0$$
- **diff HG**: Die Hue-Groups müssen sich unterscheiden.

$$\text{value}(V_{\text{Primär}}).hg \neq \text{value}(V_{\text{Akzent}}).hg \neq \text{value}(V_{\text{Interaktion}}).hg$$

- **se**: Primär- und Sekundärfarbe müssen der gleichen Hue-Group angehören.
 $\text{value}(V_{\text{Primär}}).hg = \text{value}(V_{\text{Sekundär}}).hg$

Soft Constraints:

- **pr**: Die Primärfarbe solle eine möglichst hohe Gewichtung im Histogramm besitzen, was auf eine Farbe mit hoher visuellen Relevanz in der Bildvorlage schließen lässt.
 $\forall d \in \text{dom} : \text{score}(d) = d.\text{weight}$
- **se**: Die Sekundärfarbe soll eine geringere Sättigung als die Primärfarbe besitzen.
 $\forall d \in \text{dom} : \text{score}(d) = \text{value}(V_{\text{Primär}}).s - d.s$
- **ak**: Die Akzentfarbe soll einer möglichst kleinen Hue-Group angehören, wodurch sie mit hoher Wahrscheinlichkeit ebenfalls einen Akzent in der Bildvorlage darstellt. Außerdem soll die Sättigung möglichst hoch sein.
 $\forall d \in \text{dom} : \text{score}(d) = (1 - d.hg_{\text{size}}) + d.s$
- **in**: Die Interaktionsfarbe soll eine möglichst hohe Sättigung besitzen.
 $\forall d \in \text{dom} : \text{score}(d) = d.s$
- **hr**: Für die Hintergrundfarbe (neutral) werden die globalen Farbinformationen verwendet. Ist die durchschnittliche Luminanz der Farbwerte der Bildvorlage > 0.2 , wird *weiss* verwendet, sonst *schwarz*.

$$\text{value}(V_{\text{Hintergrund}}) = \begin{cases} \text{weiss}, & \text{wenn } \frac{\sum_{(x,y) \in I} L(\text{color}(x,y))}{|I|} > 0.2 \\ \text{schwarz}, & \text{sonst} \end{cases}$$

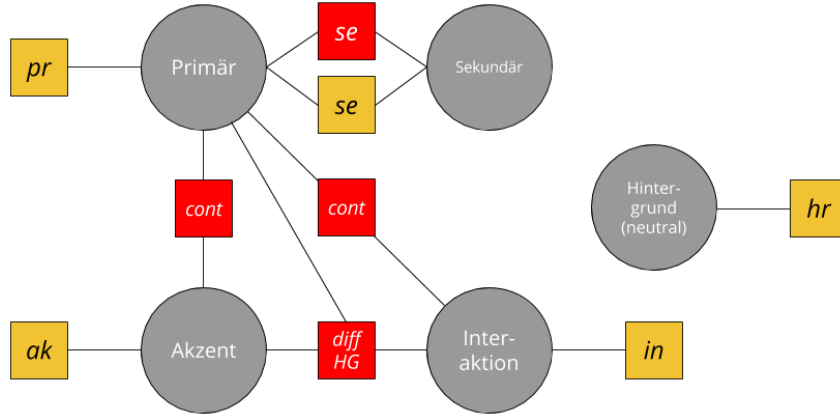


Abbildung 19: Factor Graph zur Bildung triadischer Farbschemata. Die Variablen sind rund, Hard Constraints rot und Soft Constraints gelb dargestellt.

Abbildungen blabla veranschaulichen die Ergebnisse des Suchverfahrens anhand der prototypischen Weboberfläche für Musikstreaming. Dabei zeigt (b) jeweils die hierarchische Farbpalette mit den Funktionsgruppen, die durch Inferenz auf dem Factor Graph von Dimple zugeordnet wurden. *Pr* steht für Primär, *Se* für Sekundär, *Ak* für Akzent, *In* für Interaktion und *Hi* für Hintergrund (neutral). Die Farbe für letztere Funktionsgruppe ist abgesetzt dargestellt, da sie nicht durch f_{CPE} ermittelt wird. Der Gradient wird via CSS beschrieben und verläuft von der Primär- zur Akzentfarbe mit einem Alpha-Wert von 0.8.

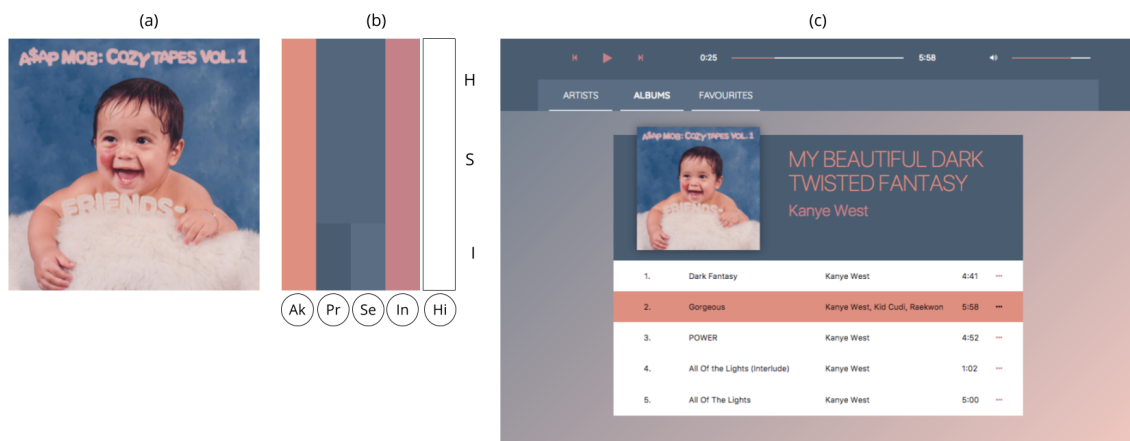


Abbildung 20: Ergebnis der automatisierten Farbgestaltung (triadisches Farbschema).
 (a) Bildvorlage. (b) Hierarchische Farbpalette mit Zuordnung der Funktionsgruppen.
 (c) Färbungsergebnis.

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] J. Itten. *The Elements Of Color*. Van Nostrand Reinhold Company, 1970.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] S. Lin und P. Hanrahan. Modeling how people extract color themes from images. In *CHI Conference on Human Factors*, 2013.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] Bryan S. Morse, Daniel Thornton, Qing Xia, und John Uibel. Image-based color schemes. In *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, volume 3, page 497–500, 2007.
- [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] Peter O'Donovan, Aseem Agarwala, und Aaron Hertzmann. Color compatibility from large datasets. In *ACM SIGGRAPH Conference*, page 63:1–63:12, 2011.
- [24] 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.
- [25] K. N. Plataniotis und A. N. Venetsanopoulos. *Color Image Processing and Applications*. Springer Monograph, 2000.
- [26] Marc Schenker. Designing with color contrast for improved usability, apr 2016. URL <https://www.awwwards.com/designing-with-color-contrast-for-improved-usability.html>.
- [27] Torsten Stapelkamp. *Web X.0. Erfolgreiches Webdesign und professionelle Webkonzepte*. Springer X.media.press, 2010.
- [28] W3C. Wcag contrast ratio, 2008. URL <https://www.w3.org/TR/2008/REC-WCAG20-20081211/Overview.html#contrast-ratiodef>.
- [29] W3C. Wcag relative luminance, 2008. URL <https://www.w3.org/TR/2008/REC-WCAG20-20081211/relative-luminance.xml>.
- [30] W3C. Css color module level 3, jun 2011. URL <https://www.w3.org/TR/css3-color/>.
- [31] W3C. Css selectors level 3, sep 2011. URL <https://www.w3.org/TR/2011/REC-css3-selectors-20110929/>.
- [32] 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.
- [33] 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.