

Auf der Suche nach den Farben einer grauen Welt

Elisabeth Weidinger*, Jan Peter Meyn⁺

*Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Institut für Physik, AG Didaktik der Physik, elisabeth.weidinger@physik.uni-erlangen.de; ⁺Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Institut für Physik, AG Didaktik der Physik, jan-peter.meyn@physik.uni-erlangen.de

Kurzfassung

Edwin Land projizierte zwei mit unterschiedlichen Farbfiltern aufgenommene Schwarz-Weiß-Dias einer Szene aufeinander. Sobald er vor die Projektionen eines der beiden Dias einen Rotfilter positionierte, zeigten sich nicht nur Grau- und Rottöne, sondern auch grün und weitere Farben. Der sogenannte Landeffekt eignet sich besonders, um die Grenzen der gewöhnlichen additiven Farbmischung (Farbmetrik) darzustellen. Um diesen Effekt mit möglichst einfachen Mitteln zu demonstrieren, untersuchten wir die Digitalisierung mittels Digitalphotographie, Detektorsignal der Kamera, Bildbearbeitung und Beamerprojektion.

1. Einleitung

Edwin Land führte 1959 Experimente zu Maxwells Drei-Farben-Projektion durch und entdeckte dabei ein Phänomen, das im Widerspruch zu den Gesetzen der gewöhnlichen additiven Farbmischung steht. Zur Demonstration des sogenannten Landeffekts werden zwei Schwarz-Weiß-Dias übereinanderprojiziert (Abb.1).

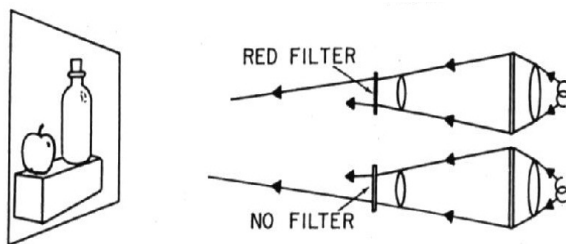


Abb. 1: Schematischer Aufbau zur Demonstration des Landeffekts [1].

Bei den Dias handelt es sich um den Rot- und Grünauszug einer Szene, darunter versteht man eine sw Aufnahme unter Verwendung eines roten bzw. grünen Farbfilters. Das somit entstandene Bild enthält nur den roten bzw. grünen Spektralanteil, der von den Objekten reflektiert und den Filtern transmittiert wird. Die exakte Übereinanderprojektion der Dias, bei der vor dem Rotauszug ein Rotfilter positioniert wird, ergibt ein farbiges Bild. Die Farbigkeit dieses Bildes beschränkt sich jedoch nicht auf die durch additive Farbmischung erwarteten Grau-, Rot-, und Rosatöne des rechten Balkens in Abb. 2, sondern beinhaltet je nach Motiv auch Orange, Gelb, Grün, Lila, etc.

Die Tatsache, dass dieser Effekt nicht quantitativ beschreibbar, sondern auf die subjektive Wahrnehmung des Beobachters angewiesen ist, sich aber dennoch fotografieren lässt, fasziniert. Eine Auseinandersetzung mit diesem Effekt bereichert

den Unterricht nicht nur um Wissen bezüglich linearer Farbmetrik, sondern auch um Kenntnisse über ihre Grenzen.

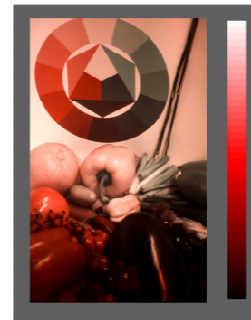


Abb. 2: Links: Ergebnis des Landeffekts; Rechts: Aufgrund additiver Farbmischung erwartete Farben.

Der Landeffekt wurde von Nico Westphal bezüglich seiner Herleitung aus dem Phänomen der farbigen Schatten erforscht und mit sw Dias und Farbfiltern demonstriert [4]. Wir untersuchten, ob der Einsatz digitaler Bilder und ihre Bearbeitung die Demonstration des Landeffekts vereinfachen oder sogar optimieren kann.

2. Aspekte zur Verwirklichung des Landeffekts

2.1 Wahl des Motivs

Land verwendete häufig Stillleben aus Objekten, deren Farben bekannt sind, wie Gurken, Tomaten oder Bananen. Das „Vorwissen“ über die durch den Effekt erwartete Farbe ist jedoch nicht notwendig, was andere Motive wie zum Beispiel Farbpigmente zeigen. Die Anzahl der durch den Landeffekt auftretenden Farben wird durch die Anzahl der im Motiv auftretenden Farben begrenzt. Auch eine Veränderung der Farbkonstellation ruft keine neuen Farberscheinungen hervor [5].

Als Motiv wählten wir daher Objekte, deren Farben bekannt sind und verstärkten dadurch den Effekt subjektiv. Des Weiteren wurde mit dem Motiv eine möglichst große Farbpalette abdeckt und eine harmonische Farbkonstellation erzielt.

2.2 Technische Aspekte

Land fotografierte die von ihm gewählten Szenen unter künstlicher Beleuchtung auf sw-Diafilm. Hierzu verwendete er eine sog. „split-beam camera“ (Abb.3). Dank ihres halbdurchlässigen Prismas konnte gleichzeitig der Rot- und Grünauszug einer Szene festgehalten werden.

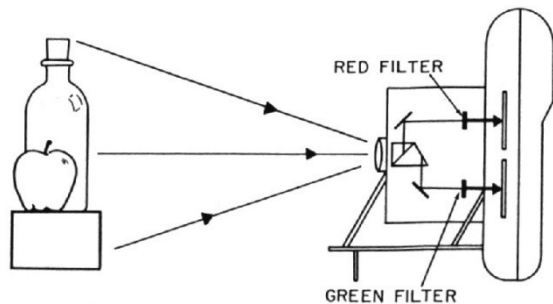


Abb. 3: Schematischer Aufbau der „split-beam camera“ [1].

Um den Rot- und Grünauszug einer Szene zu erstellen bedarf es keiner Spezialkamera, denn mit Hilfe von Stativmaterial können Verwacklungen minimiert und mit Photoshop später digital überprüft und ausgeglichen werden. Die exakte Übereinanderprojektion kann bereits bei der Aufnahme durch Vermeiden von Schatten- oder Glanzeffekten erleichtert werden.

2.3 Wahl der Filter

Damit der Landeffekt möglichst stark zur Geltung kommt, ist die Wahl der Aufnahme- und Projektionsfilter von entscheidender Bedeutung.

2.3.1 Aufnahmefilter

Bei dem in die „split-beam camera“ eingebauten Rotfilter handelte es sich um einen Wratten No. 24 der Firma Kodak, dessen Transmissionsspektrum in Abb. 4 abgebildet ist.

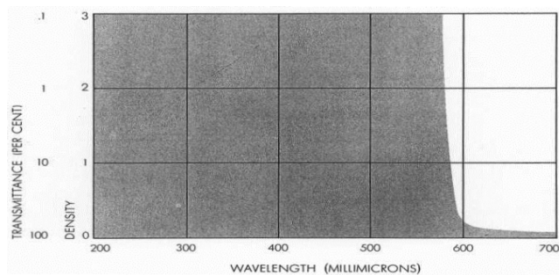


Abb. 4: Transmissionsspektrum des Rotfilters Wratten No. 24 [3].

Dieser Gelatinefilter lässt Wellenlängen über 585nm passieren und besitzt einen hohen Transmissionsgrad. Für den sog. Grünauszug, verwendete Land Wratten No. 58 einen Grünfilter,

dessen Transmissionsspektrum in Abb. 5 zu sehen ist.

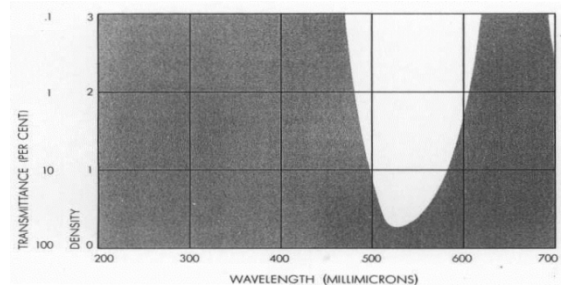


Abb. 5: Transmissionsspektrum des Grünfilters Wratten No. 58 [3].

Wir verwendeten dielektrische Bandpassfilter. Ihr in Abb. 6 dargestelltes Transmissionsspektrum verdeutlicht die durch die Filter erzeugte disjunkte Unterteilung des Spektrums. Sie haben breite Transmissionsbereiche mit scharfen Kanten und eignen sich insbesondere aufgrund des Transmissionsgrades von bis zu 90% hervorragend zur Herstellung von Farbauszügen.

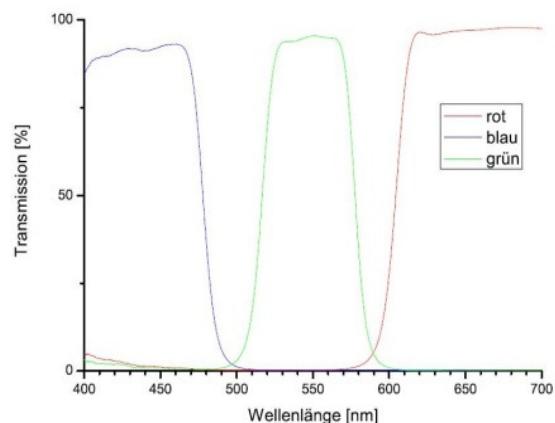


Abb. 6: Transmissionsspektrum dielektrischer Bandpassfilter.

Einen sichtbaren Farbeffekt erhält man nicht nur bei der Diakombination des Rot- und Grünauszugs. Ein vergleichbares Ergebnis lieferte die Nutzung des Rot- und Cyanauszugs, wobei der Rotauszug mit rotem Filter projiziert wurde. Dass Lands Wahl des Rot- und Grünauszugs und die Projektion des Rotauszugs mit rotem Filter sinnvoll ist, zeigt der Vergleich mit den Ergebnissen anderer Auszugskombinationen in Abb. 7. Die weiteren Vergleiche verdeutlichen, dass nicht jede willkürliche Kombination des mit Rotfilter projizierten Rotauszugs (vgl. obere Zeile rechts) zu einem ausgeprägten Effekt führt.

Auch die Nutzung von Farbauszügen, die mit Filtern komplementärer Transmissionspektren erzeugt wurden, führt nicht zwangsweise zu einem besseren Ergebnis (vgl. untere Zeile Mitte).

Der Landeffekt tritt also nur unter bestimmten Bedingungen auf, die Wahl der Farbauszüge, sowie

ihre Kombination und Projektionsfilter, spielt hierbei eine entscheidende Rolle.



Abb. 7: Diaprojektion des Landeffekts unter Verwendung der Kombination von: Rot- und Grün-; Rot- und Cyan-; Rot- und Blauauszug; (obere Zeile von links); Magenta- und Grün-; Cyan- und Rot-; Cyan- und Gelbauszug (untere Zeile Anordnung links beginnend). Bei all diesen Projektionen wurde vor dem als erstes genannten Farbauszug, der zur Herstellung des Farbauszuges benutzte Filter als Projektionsfilter verwendet (Bsp. Cyan- und Rot-; Cyanauszug wurde mit davor positioniertem Cyanfilter von der Projektion des Rotauszuges mit weißem Licht überlagert).

2.3.2 Projektionsfilter

Land projizierte den Rotauszug mittels dem bereits bei der Aufnahme verwendeten Rotfilter (Wratten No. 24) und den Grünauszug mit "weißem Licht".



Abb. 8: Vergleich Diaprojektion mit rotem Bandpass- und rotem Roscofilter.

Wie sich aus dem Vergleich in Abb. 8 ergibt, erzeugt die Projektion mit dem bereits zur Aufnahme verwendeten dielektrischen Rotfilter ein besonders gutes Ergebnis. Der Grund hierfür liegt insbesondere in der hohen Farbsättigung, die der Filter erzeugt. Sie entsteht aufgrund des steilen Übergangs von Transmission zur Reflexion.

Alternativ zu diesen Filtern bieten sich günstigere Theaterfolien an, diese haben aber qualitative Nachteile. In Abb. 9 ist eine Aufnahme eines Halogenlampenspektrums ohne, mit roter, grüner und blauer Filterfolie abgebildet. Das Transmissionsspektrum der hier verwendeten Roscofilter[6] ist durch geringere Transmissionsrate, weichere Verläufe sowie flachere Kanten charakterisiert, die Spektralbereiche der Filter sind nicht disjunkt.

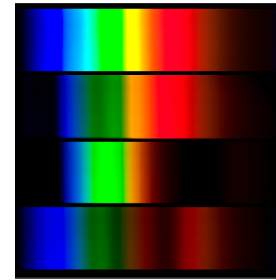


Abb. 9: Aufnahme des Spektrums einer Halogenlampe ohne, und mit roter, grüner und blauer Roscofilterfolie (unter Einsatz einer Nikon D70 bei optimaler Belichtungseinstellung).

3. Vergleich analoger und digitaler Realisierung des Landeffekts

In Tabelle 1 sind alle getesteten Optionen zur Digitalisierung des Landeffekts aufgelistet.

Option	analog	digital
Lichtsensor	Schwarz-Weiß-Diafilm	CCD
Aufnahme-filter	Farbfilter	Detektorsignal der Digitalkamera Digitalfilter
Bearbeitung	Diabelichtung	Digitale Nachbearbeitung mit Photoshop CS3
Projektoren	Diaprojektoren	LCD-Projektoren
Projektions-filter	Farbfilter	Ersetzen der Graudurch RGB-Werte

Tabelle 1: Getestete Optionen zum Vergleich analoger und digitaler Methoden zur Erstellung des Landeffekts.

3.1 Lichtsensor: SW-Diafilm vs. CCD-Sensor

Die Verwendung von Diafilm in Analogkameras führt zu nicht verwertbaren Aufnahmen aufgrund von unter- und überbelichteten Exemplaren. Der CCD-Sensor einer Digitalkamera bietet hingegen die wesentlichen Vorteile der Vorabüberprüfung, der digitalen Bearbeitung und der einfachen Löschung nicht verwertbarer Dateien.

Zur optimalen Belichtung wurden die Aufnahmen vorab mit dem kamerainternen Belichtungsmesser überprüft. Unabhängig von der weiteren Vorgehensweise erwies es sich als sinnvoll, die Belichtungsdauer in Kombination mit der gewählten Blende auf den vom Belichtungsmesser als optimal angezeigten Wert anzupassen und die

Belichtungseinstellung der „Originalaufnahme“ (ohne Verwendung von Filtern) bei der Aufnahme beider Farbauszüge (mit Filter) beizubehalten. Zur Aufnahme wurde eine Nikon D70 digitale Spiegelreflexkamera mit 28mm Nikkor- Objektiv (f/2.8) eingesetzt.

Die erstellten Aufnahmen wurden im NEF-Format, dem RAW-Format der Kamera, gespeichert, um sicher zu stellen, dass keine Veränderungen durch nachträgliche Datenkomprimierung entstehen.

Diese Dateien können auch auf Diafilm belichtet werden.

3.2 Aufnahmefilter: Farbfilter vs. Detektorsignal der Kamera und Farbfilter vs. digitale Filter

Um die Farbauszüge eines Motivs zu erzeugen, bedarf es der Verwendung von Aufnahmefiltern. Hierzu wurden der dielektrische Rot- und Grünfilter als analoge, das Detektorsignal der Digitalkamera sowie Digitalfilter als digitale Methoden getestet. Zur Überprüfung der Ausgabe der Digitalkamera und zum Vergleich der Transmissionsspektren der unterschiedlichen Filtervarianten dient die Aufnahme des Spektrums einer Halogenlampe.

Abb. 10 zeigt die Aufnahme des Spektrums ohne Filter (oben) und unter Anwendung analoger, in diesem Fall dielektrischer Farbfilter (rot, grün und blau). Die analogen Farbauszüge des Spektrums durch die dielektrischen Bandpassfilter spiegeln deutlich ihr jeweiliges Transmissionsspektrum wider.

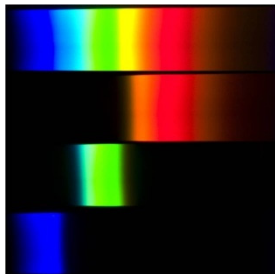


Abb. 10: Aufnahme des Spektrums einer Halogenlampe ohne, und mit dielektrischem Rot-, Grün- und Blaufilter, unter Einsatz einer Nikon D70.

Die einfachste digitale Realisierung der Rot- und Grünauszüge ergibt sich durch das Detektorsignal der Digitalkamera. Sie speichert kein komplett farbiges Bild, sondern den Rot-, Grün-, und Blauauszug einer Szene, die im RGB-Modus auf dem Display als gemeinsames Farbbild wiedergegeben werden. In Abb. 11 findet man die drei Kanäle der Aufnahme des Spektrums der Kamera (links) wieder; diese sind mit Hilfe des sog. Kanalmixers separat speicherbar.

Der Vergleich mit den schwarz-weißen Analogfilteraufnahmen (rechts) zeigt, dass das Spektrum durch die Separationen der Kamera nicht in disjunkte Abschnitte unterteilt wird. Die einzelnen Auszüge der Kamera decken jeweils einen breiteren Bereich des Spektrums ab.

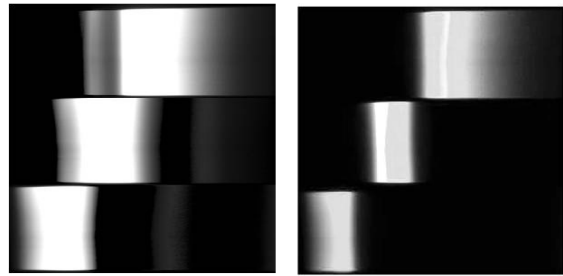


Abb. 11: Links: Rot-, Grün- und Blauseparation des Halogenlampenspektrums der Digitalkamera;

Rechts: Halogenlampenspektrum unter Verwendung des dielektrischen Rot-, Grün-, und Blaufilters in sw.

Der Ergebnisvergleich in Abb. 12 verdeutlicht, dass die Verwendung der Informationen des Detektorsignals der Kamera, die sog. Separationen, zu farbschwächeren Ergebnissen führt.

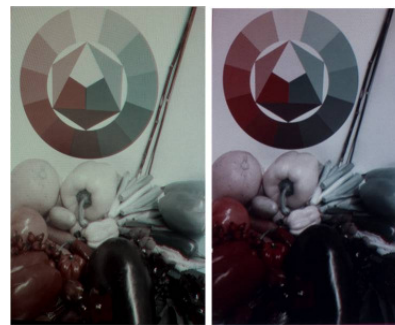


Abb. 12: Links: Beamerprojektion des Landeffekts unter Verwendung des Rot- und Grünkanals des RGB-Modus der Digitalkamera;

Rechts: Beamerprojektion des Landeffekts unter Verwendung des Rot- und Grünauszuges der Aufnahmen mit dielektrischen Bandpassfiltern.

Eine weitere Möglichkeit bieten wie bereits erwähnt Digitalfilter, zum Beispiel Simulationen der original Kodak Wratten Filter, wie sie von Filtersim oder Opanda kostenlos unter [7] zur Verfügung stehen. Bei der Anwendung von Filtersimulationen ist auf die Verwendung nichtkomprimierter Dateien zu achten, da komprimierte Dateien zu weiterem Qualitätsverlust anhand grauer Bereiche etc. führen.

Ein Vergleich der beiden Simulationen in Abb. 13 und 14 zeigt, dass Simulationsprogramme gleiche analoge Filter unterschiedlich realisieren.

Die Variation der Transmissionsrate bei Opanda verdeutlicht die Arbeitsweise dieses Simulations-Programms: Je nach Einstellung wird das Spektrum unterschiedlich stark rot bzw. grün einfärbt und somit nicht gefiltert.

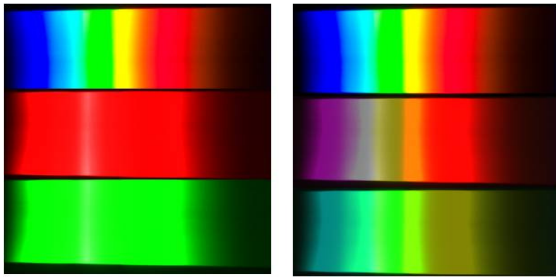


Abb. 13: Spektrum einer Halogenlampe ohne bzw. mit Rot- und Grünfiltersimulation der original Kodak Wrattenfilter No.24 und 58 von Opanda;

Links: 100%; Rechts: 50% Transmission

Im Gegensatz hierzu scheint Filtersim in seiner Simulation das Spektrum auf bestimmte Bereiche zu reduzieren.

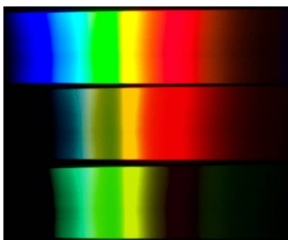


Abb. 14: Spektrum einer Halogenlampe ohne, mit Rot-, und Grünfiltersimulation der original Kodak Wrattenfilter No 24 und 58 von Filtersim.

Diese Bereiche stimmen nicht mit dem Transmissionsspektrum der Originalfilter (Abb. 4 und 5) überein. Während der Gelatinefilter nur Wellenlängen länger als 585nm transmittiert, schwächt die Simulation den Grünbereich nur gering ab, so dass er noch vollständig zum transmittierten Spektrum beiträgt. Erwähnenswert ist auch, dass die Simulation des Grünfilters deutlich mehr Rot- und Blauanteil des Spektrums zulässt, als das Transmissionsspektrum des Originals.

Insgesamt ist anzumerken: Filtersimulationen führen aufgrund unterschiedlicher Realisierungsmöglichkeiten des gleichen Farbeindrucks unterschiedliche Algorithmen durch, um den gleichen spektralen Filter zu simulieren.

Bei den hier getesteten Digitalfiltern findet keine spektrale Selektion nach Wellenlängen statt, sie reproduzieren lediglich den Farbeindruck der Analogfilter. Daher sind die digitalen Filter zur Realisierung des Landeffekts nicht sinnvoll.

3.3 Bearbeitung: Diabelichtung vs. Digitale Nachbearbeitung mit Photoshop CS3

Um einen Vergleich zwischen Dia- und Beamerprojektion zu ermöglichen, sowie den mit der Herstellung verbundenen Aufwand vergleichen zu können, beauftragten wir ERBA-Belichtungsservice [8] mit der Belichtung digitaler Dateien auf Diafilm, sowie ihrer Entwicklung. Diese bedurften einer Schwarz-Weiß-Konvertierung mittels Nachbearbeitung. Photoshop CS3 bietet die

in [9] dargelegten Möglichkeiten zur Umwandlung einer Farbdatei in Graustufen:

Den Schwarz-Weiß-Modus, der insbesondere für individuelle Fotobearbeitung gedacht ist, der Wechsel von RGB- in Graustufenmodus bei dem alle Farbinformationen der Vorlage gelöscht und auf Basis der im Bild vorhandenen Luminanz in 256 Grauwerte umgewandelt werden und die Option "Sättigung verringern", bei der die Farbsättigung des Bildes gleich Null gesetzt wird.

Letzteres wurde in Kombination mit einer Tonwertkorrektur durchgeführt, die bewirkte, dass die Vereinigung der beiden Grauskalen gleichmäßig auf die 256 Graustufen verteilt und unnötige Verdunklungen verhindert wurden.

Um vorab mögliche Farberscheinungen zu überprüfen und somit den Aufwand der Diabelichtung quantitativ zu reduzieren, diente die Beamerprojektion nicht nur als eigenständige Projektionsvariante, sondern zusätzlich als Test.

Da zur Diaerstellung und Projektion via Beamer die gleichen digitalen Dateien verwendet wurden, belief sich der Mehraufwand zur Erstellung der Dias im Vergleich zur reinen Nachbearbeitung der Dateien zur Beamerprojektion auf den Vorabtest mit Beamer und die Belichtung auf Diafilm.

3.4 Projektion: Diaprojektoren vs. LCD-Projektoren

Zur Projektion verwendete Land einen Doppellinsendiaprojektor (Abb. 1). Zur konventionellen Diaprojektion kamen zwei baugleiche Diaprojektoren mit 100W Projektionsglühlampe zum Einsatz.

Als digitale Alternative wurde die Projektion der bearbeiteten Bilddateien mit zwei Beamern getestet, was dem Vorabtest der Dias entspricht. Bei den Projektoren handelte es sich um identische LCD-Projektoren des Modelles VT595 der Firma NEC. Da die Lampen beider Beamer zum Zeitpunkt der Nutzung bereits unterschiedlich lange benutzt wurden, wiesen sie Helligkeitsunterschiede auf. Alle weiteren Projektionseinstellungen waren bei der Projektion identisch.

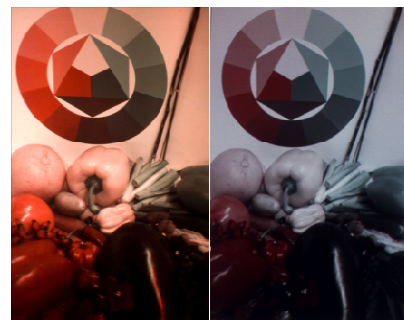


Abb. 15: Vergleich Dia (Rechts) - vs. Beamer-Projektion (Links).

Der Vergleich von Dia- und Beamerprojektion (Abb. 15) verdeutlicht die subjektiv gesättigtere Farberscheinung bei der Diaprojektion. Diese entsteht, obwohl für den Rotauszug jeweils ein Langpassfilter verwendet wurde. Offensichtlich ist das Spektrum der Lampe für die Projektion wichtig und das kontinuierliche Spektrum der Glühlampe vorteilhaft.

3.4 Projektionsfilter analog vs. digital

Wie bereits erwähnt bietet sich die Verwendung des dielektrischen Rotfilters zur Projektion an. Eine digitale Optimierung des Projektionsergebnisses durch Einfärben der Rotauszugsdatei wird aufgrund des schlechteren Farbergebnisses via Beamerprojektion ausgeschlossen.

4. Zusammenfassung

Bei der Verwirklichung des Landeffekts ist die Wahl des Motivs und der Filter zur Aufnahme und Projektion von besonderer Bedeutung.

Die „Farbigkeit“ der Projektion lässt sich nicht quantitativ beschreiben, da es sich um ein subjektives Phänomen handelt. Eine Bewertung in starke und schwache Effekte ist dennoch eindeutig möglich.

Hierbei ergab der Vergleich der digitalen mit der konventionellen analogen Realisierung des Landeffekts:

Der Landeffekt kann mit den oben genannten modernen digitalen Methoden nicht verbessert werden; analoge Techniken erzeugen bessere Ergebnisse.

Der einzige Vorteil digitaler Methoden besteht in der Vorabüberprüfung mit Hilfe digitaler Aufnahmen und Beamerprojektion. Das Farbergebnis konnte jedoch durch kein getestetes digitales Mittel gegenüber den Ergebnissen analoger Techniken verbessert werden.

5. Literatur

- [1] Land, Edwin H.: COLOR VISION AND THE NATURAL IMAGE PART I.. In: Proc. Nat. Acad. Sci. USA., 45, 1 (1959), S. 115-129
- [2] Land, Edwin H.: COLOR VISION AND THE NATURAL IMAGE PART II.. In: Proc. Nat. Acad. Sci. USA., 45, 2 (1959), S. 636-644
- [3] Land, Edwin H.: Experiments In Color Vision. In: Scientific American, 200, 5 (1959), S.84-99
- [4] Westphal, Nico; Müller, Marc; Grebe-Ellis, Johannes: Wie aus farbigen Schatten bunte Bilder hervorgehen – Experimente zur Zwei-Farben-Projektion. In: PhyDid B – Didaktik der Physik- Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Bochum 2009
- [5] Wilson, M.H.; Brocklebank, R.W.:Two-Colour Projection Phenomena. In: The Journal of photographic science, Vol. 8 (1960), S. 114-150
- [6] Rosco Laboratories Inc., 52 Harbor View, Stamford, CT 06902, USA; www.rosco.com. Lieferant in Deutschland: FFL-Rieger GmbH, Eggenfelder Strasse 54, 81929 München. www.ffi-rieger.de
- [7] Filtersim: <http://www.netzwelt.de/download/13950-filtersim.html>
- [8] Opanda:<http://opanda-photofilter.softonic.de/download>
- [9] ERBA-Service, München: <http://www.erba-service.de>
- [10] Kindermann, Klaus; Sonneberg, Guido; Weis, Stefan; Obermayr, Karl; Haasz, Christian; 2007: Photoshop CS3 RAW Fotoschule, Von der perfekten Aufnahme bis zum fertigen Bild. 1.Aufl. München: Franzis Verlag 2007, (S.119-125)