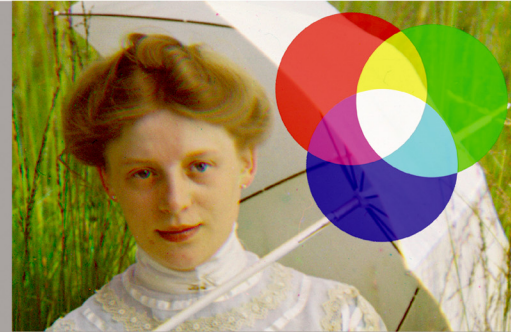


JENS WAGNER

Die additive Dreifarbenfotografie nach Adolf Miethe

Untersuchung des Verfahrens und Wege zur  
Wiedergabe von Dreifarbendiapositiven

BAUGESCHICHTE  
KUNSTGESCHICHTE  
**RESTAURIERUNG**  
ARCHITEKTURMUSEUM



DIPLOMARBEIT 2006

AUS DEM INSTITUT FÜR BAUGESCHICHTE, KUNSTGESCHICHTE, **RESTAURIERUNG** MIT ARCHITEKTURMUSEUM  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN - FAKULTÄT FÜR ARCHITEKTUR



Technische Universität München

Studiengang Restaurierung, Kunsttechnologie und Konservierungswissenschaft

## **Die additive Dreifarbenfotografie nach Adolf Miethe**

**Untersuchung des Verfahrens und Wege zur Wiedergabe von  
Dreifarbendiapositiven**

### **Diplomarbeit**

vorgelegt von

Jens Wagner

29. April 2006

1. Prüfer: Prof. Erwin Emmerling

2. Prüferin: Dr. Cornelia Kemp



## **Zusammenfassung**

In der vorliegenden Arbeit wird das Verfahren der additiven Dreifarbenfotografie nach ADOLF MIETHE vorgestellt. Es zählt zu den ersten ausgereiften farbfotografischen Prozessen im 20. Jahrhundert und beruht auf der getrennten Aufzeichnung und Wiedergabe der Farbinformationen des Motivs in drei Spektralbereichen. Der farbige Eindruck wird durch die gleichzeitige Projektion von drei Farbauszugsdiapositiven durch jeweils einen roten, grünen und blauen Farbfilter erzeugt. Als Professor an der Technischen Hochschule Berlin beschäftigte sich Miethé mit diesem Verfahren und entwickelte verschiedene praktische Anwendungsmöglichkeiten.

Seine Methode wird dargelegt und die Kamera und ein Projektor hierfür, die sich im Deutschen Museum, München, erhalten haben, werden untersucht und beschrieben.

Schwerpunkt der Arbeit bildet die Frage nach einer Wiedergabemöglichkeit für den Bestand von 32 Dreifarbenfotografien MIETHES aus dem Bestand des Deutschen Museums. Zwei Methoden werden erarbeitet: Durch Rekonstruktion der Dreifarbenprojektion können die Fotografien in der ursprünglichen Wiedergabeform gezeigt werden. Die erforderlichen technischen Rahmenbedingungen werden definiert. Die Überführung der Fotografien in digitale Farbbilder ermöglicht eine leichter zugängliche Darstellung des erhaltenen Bildmaterials. Eine Methode zur passgenauen Überlagerung der Teilbilder und der Ansatz, die Steuerung der Farbwiedergabe anhand von Farbwerten rekonstruierter Lichtfilter durchzuführen, werden vorgestellt.

## **Abstract**

The process of additive three colour photography as developed by A. MIETHE is to be dealt within this diploma thesis. It is one of the first methods of colour photography being practised in the 20<sup>th</sup> century. Three photographs were taken on black-and-white plates through colour filters and projected as slides in a triple lantern containing similar colour filters. Superimposing them on the screen, a colour image is formed by additive colour mixing.

A three colour camera and a triple lantern, designed by MIETHE, owned by Deutsches Museum München, are being examined. Main subject is the reproduction of original three colour lantern slides as colour images. Two ways are investigated on: Results of the survey on reconstructing a setup for three colour projection are presented. A method of transforming the lantern slides to digital colour images is described. Definition of colour reproduction is based on reconstructed colour filters.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Die additive Dreifarbenfotografie</b> .....	<b>7</b>
2.1	Physikalische Grundlagen .....	7
2.2	Das Prinzip der additiven Dreifarbenfotografie .....	9
2.3	Überblick zur Entwicklung der additiven Dreifarbenfotografie .....	11
<b>3</b>	<b>Das Verfahren der additiven Dreifarbenfotografie nach ADOLF MIETHE</b> .....	<b>13</b>
3.1	Biographische Daten zu ADOLF MIETHE .....	14
3.2	Aufnahme der Fotografien .....	16
3.3	Sensibilisierung des Aufnahmematerials .....	19
3.4	Wiedergabe der Fotografien.....	21
3.5	Bewertung des Verfahrens .....	25
<b>4</b>	<b>Kamera, Projektor und Diapositive zum additiven Dreifarbenverfahren im Deutschen Museum</b> .....	<b>27</b>
4.1	MIETHE-BERMPHOHL-Dreifarbenkamera .....	27
4.2	MIETHE-GOERZ-Dreifarbenprojektionsapparat.....	33
4.3	Glasplattendiapositive von ADOLF MIETHE.....	40
<b>5</b>	<b>Wiedergabe von Dreifarbendiapositiven auf analogem Weg: Studien zur Rekonstruktion der Dreifarbenprojektion</b> .....	<b>43</b>
5.1	Ausgangssituation .....	43
5.2	Reproduktion der Teilbilder .....	43
5.3	Lichtfilter für die Dreifarbenprojektion .....	55
5.4	Versuchsreihen zur modellhaften Dreifarbenprojektion .....	61
5.5	Ergebnis der Versuchsreihen.....	62
<b>6</b>	<b>Wiedergabe von Dreifarbendiapositiven auf digitalem Weg: Erstellung von digitalen Farbbildern aus Diapositiven der Dreifarbenfotografie</b> .....	<b>65</b>
6.1	Ausgangssituation .....	65
6.2	Anforderungen an das Verfahren .....	66
6.3	Digitalisierung.....	67
6.4	Steuerung der Farbwiedergabe .....	70
6.5	Diskussion der Ergebnisse .....	75
<b>7</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>77</b>
<b>8</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>81</b>
<b>9</b>	<b>Bildteil</b> (separate Bindung)	
<b>10</b>	<b>Anhang</b>	





## **1 Einleitung**

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit ausgewählten Aspekten der additiven Dreifarbenfotografie nach Adolf Miethe. Angeregt wurde das Thema durch Dr. Cornelia Kemp, Sammlungsleiterin des Fachbereichs Foto und Film am Deutschen Museum München. Das Deutsche Museum besitzt fünf von MIETHE konstruierte Geräte für die additive Dreifarbenfotografie und 32 komplette Sätze seiner Dreifarbendiapositive.

Dieses Verfahren zählt zu den ersten ausgereiften farbfotografischen Prozessen und fand im ersten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts Anwendung. Das Prinzip beruht auf der getrennten Aufzeichnung und Wiedergabe der Farbinformationen in drei Spektralbereichen. Von einem Motiv werden drei Aufnahmen auf Schwarzweißmaterial durch je einen roten, grünen und blauen Farbfilter aufgenommen. Projiziert man diese als Schwarzweiß-Diapositive wiederum durch dieselben Farbfilter übereinander, ergibt sich durch additive Farbmischung auf der Leinwand ein farbiges Bild.

MIETHE erarbeitete das Verfahren der additiven Dreifarbenfotografie im Rahmen seiner Tätigkeit an der Technischen Hochschule Berlin, wo er ab 1899 Professor für Photochemie und Spektralanalyse war. Er griff dabei auf bereits bekannte Prinzipien zurück und entwickelte sie auf der Basis naturwissenschaftlicher Forschung weiter. Jede Prozessstufe von der Aufnahme bis zur Wiedergabe wurde von ihm optimiert. Neben seiner wissenschaftlichen Arbeit war MIETHE selbst als Fotograf tätig und fertigte zahlreiche Dreifarbenfotografien an.

In der vorliegenden Arbeit wird das Verfahren MIETHES anhand seiner Publikationen sowie zeitgenössischer Fachliteratur dargelegt. Die von ihm konzipierte Dreifarbenkamera und ein Dreifarbenprojektor aus dem Bestand des Deutschen Museums werden untersucht und die Konstruktion beschrieben. Aus konservatorischen Gründen können die originalen Schwarzweiß-Diapositiv-Sätze nicht mit dem dazu gehörigen Projektionsapparat vorgeführt werden. Damit sind die Dreifarbendiapositive, Zeugnisse eines der frühesten farbfotografischen Verfahren, so nicht als Farbfotografien darstellbar.

Den Schwerpunkt der Arbeit bilden daher Methoden zur farbigen Wiedergabe des erhaltenen Bildmaterials und die Frage nach dem ursprünglichen Farbeindruck in der Dreifarbenprojektion. Als maßgeblich für die Farbwiedergabe durch Dreifarbenprojektion werden die Transmissionseigenschaften der Lichtfilter im Projektionsapparat erachtet. Ein wichtiger Gesichtspunkt ist, deren Farbwerte zu erlangen. Die Lichtfilter im Projektionsapparat wurden untersucht und ihre Transmissionseigenschaften ermittelt. Es zeigt sich, dass die Filter wegen ihrer schlechten Erhaltung als repräsentative Grundlage ausscheiden. Anhand von erhaltenen originalen Filterfarbstoffen für die Dreifarbenfotografie aus der Sammlung des Deutschen Museums bot sich die Möglichkeit, Filtermedien zu rekonstruieren. Deren spektralfotometrische Erfassung und

farbmetrische Auswertung war Basis für die Konzeption der Wiedergabe der erhaltenen Fotografien als Farbbild. Zwei Methoden der Darstellung wurden erarbeitet.

Die Rekonstruktion der Dreifarbenprojektion soll die Möglichkeit eröffnen, die Fotografien in der ursprünglichen Wiedergabeform zu präsentieren, ohne die originalen Diapositive und den Projektor zu belasten. Eine modellhafte Installation zur Dreifarbenprojektion könnte im Rahmen einer Ausstellung gezeigt werden. Zur Konkretisierung der erforderlichen technischen Rahmenbedingungen werden Versuchsreihen zur Reproduktion der Diapositive, der Auswahl von Lichtfiltern und der Einrichtung geeigneter Projektionstechnik durchgeführt.

Der zweite Ansatz zielt auf die Überführung der Fotografien in digitale Farbbilder. Dieser Weg ermöglicht es, die Beschränkungen, die die technisch aufwendige Dreifarbenprojektion mit sich bringt, zu umgehen. Fragestellung hierbei ist, wie die präzise Überlagerung der Teilbilder erreicht werden kann und welche Parameter die Farbwiedergabe in der digitalen Bildverarbeitung beeinflussen. Ziel ist die Simulierung der Farbwiedergabe, wie sie zur Zeit MIETHES in der Projektion erreicht wurde.

Abschließend werden die Ergebnisse der „Suche nach der verlorenen Farbe“ zusammengefasst und vergleichend diskutiert.

Mein Dank gilt allen, die mich bei der Erstellung dieser Diplomarbeit unterstützt haben. Ich danke Dr. Cornelia Kemp, Deutsches Museum München, für ihre Aufgeschlossenheit und das entgegengebrachte Vertrauen bei der Untersuchung der Geräte und Fotografien. Die vorliegende Arbeit wurde dadurch ermöglicht. Prof. Dipl.-Restaurator Erwin Emmerling danke ich für die Unterstützung der Arbeit.

Mein ausdrücklicher Dank gilt Dr. Manfred Stephani, TU München, Lehrstuhl für Photogrammetrie und Fernerkundung, der bei der Recherche nach den bestmöglichen Verfahren zur Digitalisierung des Bildmaterials behilflich war und Kontakte herstellte. Bei Dipl.-Ing. Thomas Meier, Bayerisches Landesamt für Vermessung und Geoinformation, bedanke ich mich für die Bereitstellung des Luftbildscanners und bei Dr. Markus Ulrich, MVtec Software GmbH, für die zur Verfügung gestellten Berechnungsprogramme zur digitalen Bildüberlagerung und die geduldige Einweisung in deren Anwendung.

Für das Entgegenkommen bei der Recherche in Bibliotheks- und Archivbeständen des Fotomuseums im Münchner Stadtmuseum danke ich Kerstin Schubaum und Dr. Erwin Keller.

Technische Unterstützung leistete Fotografenmeister Walter Haberland, Bayerisches Nationalmuseum München, wofür ihm herzlich gedankt sei.

Fachlichen Rat verdanke ich Fotorestauratorin Dipl. Ing. Marjen Schmidt.

Dipl. Ing. Andreas Kraushaar, FOGRA-Institut München, leistete Hilfestellung bei den Berechnungen zur Steuerung der Farbwiedergabe für die digital gewonnenen Farbbilder der Dreifarbenfotografien.

Dank gilt Dr. Heike Stege, Dipl.-Chemikerin Karin Lutzenberger und Dipl.-Ing. Lars Raffelt, Doerner Institut der Bayerischen Staatsgemäldesammlungen.

Dipl. Restaurator Tim Bechthold danke ich für konstruktive Kritik.

## **2 Die additive Dreifarbenfotografie**

### **2.1 Physikalische Grundlagen**

Licht ist elektromagnetische Strahlung im für das menschliche Auge sichtbaren Bereich. Dieser Wellenlängenbereich erstreckt sich von ca. 380 bis 780 Nanometer.<sup>1</sup> Gleicht die Strahlungsverteilung einer Lichtquelle in diesem Bereich Sonnenlicht, spricht man von „weißem“ Licht. Die spektrale Charakteristik des Tageslichts bei bedecktem Himmels wird beispielsweise von der Normlichtart „D65“ nachgeahmt.

Um die Zusammensetzung des weißen Lichtes aus Strahlung unterschiedlicher Wellenlängen sichtbar zu machen, kann es bekanntermaßen mit einem Prisma in seine spektralen Anteile zerlegt werden. Vom Bereich kurzer Wellenlängen ausgehend erstrecken sich die so genannten Spektralfarben von Violett über Blau, Blaugrün, Grün, Gelb, Orange nach Rot.

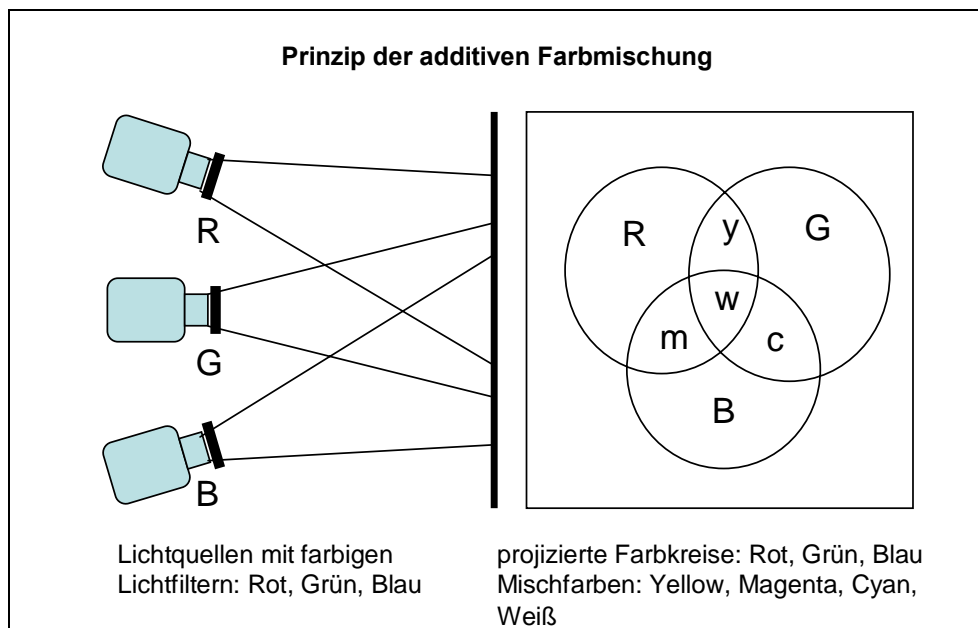
Farbe ist ein Sinneseindruck, der auf der Wechselwirkung der Eigenschaften des Lichtes mit der menschlichen Wahrnehmung beruht. Die Farbe eines Gegenstandes ist das Resultat der Wechselwirkung der spektralen Zusammensetzung des auftreffenden Lichtes mit der Eigenschaft der jeweiligen Oberfläche, Wellenlängenbereiche des einfallenden Lichtes stärker oder schwächer zu absorbieren. Fällt das von der Oberfläche reflektierte Licht auf die Netzhaut des Auges, löst es dort einen Farbreiz aus. Bei ausreichender Helligkeit des Motivs wird der Farbreiz durch das Zusammenwirken von drei Arten von Sinneszellen erzeugt, weshalb das Prinzip Trichromasie genannt wird. Diese Sinneszellen sind für unterschiedliche Spektralbereiche empfindlich, vereinfacht ausgedrückt für Blau, Grün und Rot. Je nach spektraler Zusammensetzung des einfallenden Lichtes wird ein Farbreiz durch verschieden starke Stimulierung der drei Zelltypen erzeugt. Im weiteren Prozess der Wahrnehmung, der sich im Gehirn abspielt, wird daraus eine Farbempfindung. Farbwahrnehmung ist darüber hinaus von einer Reihe weiterer, subjektiver Faktoren abhängig.

Die eingangs erwähnten Spektralfarben lassen sich in drei Spektralhauptfarben gliedern: Blau, Grün und Rot. So wie es möglich ist, weißes Licht durch Dispersion mit einem Prisma in seine Spektralbereiche zu zerlegen, kann es auch durch Mischung der Spektralhauptfarben synthetisiert werden. Überlagert man drei Lichtquellen, die blaues, grünes und rotes Licht abstrahlen, ergibt sich für den Betrachter wieder weißes Licht. Da diese Mischung auf der Zusammenführung von Lichtenergie beruht, wird sie als additive Farbmischung bezeichnet. Siehe Abbildung 1. Entsprechend bezeichnet man Rot, Grün und Blau als additive Grundfarben. Durch Überlagerung von nur zwei Grundfarben ergeben sich die Mischfarben Gelb aus Rot und Grün, Purpur aus Blau

---

<sup>1</sup> In der Literatur finden sich verschiedene Angaben zum sichtbaren Wellenlängenbereich, hier ist der von der COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE (1986) für farbmetrische Zwecke vorgeschlagene Bereich angegeben.

und Rot und Blaugrün aus Blau und Grün. Aus den drei Grundfarben lassen sich je nach ihrem Anteil beliebig viele Farbtöne ermischen. Allerdings ist die maximale Farbsättigung der Mischfarben begrenzt. Sie kann nicht höher sein als die Farbsättigung der Grundfarben. Die Grundfarben müssen nicht zwangsläufig einen Spektralbereich gleichmäßig abdecken, sie können auch aus einem schmalbandigen Wellenlängenbereich bestehen, im Extremfall aus monochromatischem Licht einer einzigen Wellenlänge. Im Auge würde der gleiche Farbreiz entstehen. Vorteil schmalbandiger spektraler Zusammensetzung ist eine erhöhte Farbsättigung der additiven Grundfarben.



**Abb. 1**

Während das Prinzip der additiven Farbmischung auf der Überlagerung von farbigem Licht basiert, wird bei der subtraktiven Farbmischung eine Mischung von Farbmitteln vorgenommen. Trifft weißes Licht auf eine farbige Oberfläche, werden Teile des Spektrums absorbiert, Teile des Spektrums reflektiert. Die selektive Absorption „subtrahiert“ aus dem einstrahlenden Licht Energie. Grundfarben der subtraktiven Farbmischung sind Gelb, Purpur und Blaugrün. Aus Gelb und Purpur ermischt sich Rot, aus Gelb und Blaugrün Grün und aus Purpur und Blaugrün Blau.

## 2.2 Das Prinzip der additiven Dreifarbenfotografie

Die Dreifarbenfotografie zählt zu den indirekten farbfotografischen Verfahren. Indirekt bedeutet, dass die Farbinformationen des Motivs nicht unmittelbar aufgezeichnet werden, sondern über den Zwischenschritt der getrennten Aufzeichnung von Teilen des Lichtspektrums auf Schwarzweißmaterial. Die Intensitätsabstufungen des Lichts in den jeweiligen Spektralbereichen werden umgesetzt in Helligkeitsabstufungen von Graustufenbildern, die als Farbauszüge bezeichnet werden. Weitere Prozessstufen sind erforderlich, um daraus ein Farbbild zu erhalten. Direkte farbfotografische Verfahren hingegen zeichnen die Farben des Motivs ohne Zwischenschritte auf.<sup>2</sup>

Zur Herstellung der Farbauszüge wird das Motiv durch Lichtfilter aufgenommen, die jeweils für einen Spektralbereich (rot, grün und blau) durchlässig sind und Licht anderer Wellenlänge sperren. Es entstehen drei Schwarzweißnegative, deren Schwärzung proportional zum Anteil des vom Motiv reflektierten Lichts in den jeweiligen Spektralbereichen ist. Vom Negativ wird durch Umkopieren ein Positiv hergestellt. Im positiven Rotauszug erscheinen dann Motivdetails von roter Farbe hell und solche mit blauer oder grüner Farbe dunkel. Die Durchlässigkeitsbereiche der Separationsfilter müssen sich teilweise überlappen, um eine kontinuierliche Abdeckung des Spektrums zu gewährleisten. Andernfalls würden die Spektralbereiche zwischen Blau und Grün und zwischen Grün und Rot ungenügend erfasst. Blaugrün- und Gelbtöne würden mit zu geringer Farbsättigung wiedergegeben.

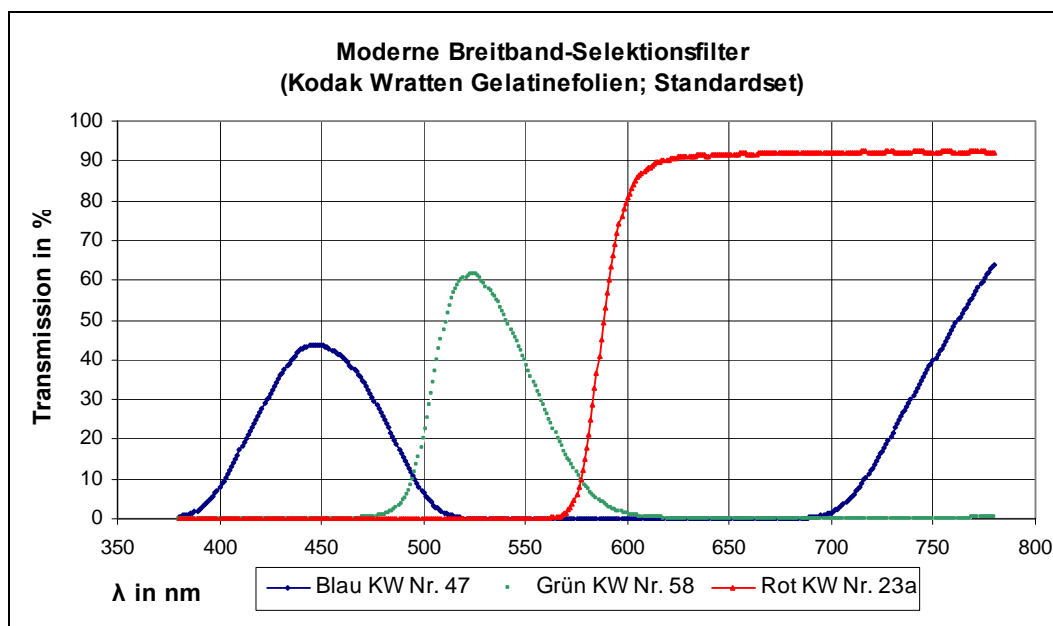


Diagramm 1

<sup>2</sup> Ein Beispiel für ein direktes Verfahren ist das von GABRIEL LIPPMANN (1845-1921) entwickelte Verfahren, das auf der Aufzeichnung von stehenden Lichtwellen in einer extrem feinkörnigen Schwarzweiß-Emulsion beruht. Farben werden hier durch Interferenzeffekte wiedergegeben. In der Entwicklung der Farbfotografie haben sich direkte Verfahren nicht durchgesetzt, alle modernen Verfahren beruhen auf dem indirekten Prinzip.

Solche Filter mit Überlappungsbereich werden als Breitbandfilter bezeichnet.<sup>3</sup> Diagramm 1 zeigt die Transmissionseigenschaften einer in heutiger Zeit gebräuchlichen Filterkombination für die Herstellung von Farbauszügen vom Original.<sup>4</sup> Blau- und Grünfilter sind Bandpassfilter mit glockenförmigem Verlauf der Transmissionskurve, der Rotfilter ist als Langpassfilter ausgeführt. Zum langwelligen Bereich hin wird der im Rotauszug aufgezeichnete Spektralbereich durch den Empfindlichkeitsbereich des Filmmaterials begrenzt.

Die drei erforderlichen Aufnahmen können nacheinander oder gleichzeitig erstellt werden. Bei der sukzessiven Aufnahme tritt ein zeitlicher Abstand zwischen den Aufnahmen auf, wodurch das Einsatzgebiet auf statische Motive eingeschränkt ist. Wenn die Teilbilder gleichzeitig entstehen sollen, stehen zwei Möglichkeiten zur Wahl: Entweder wird mit drei nebeneinander montierten identischen Kameras fotografiert, oder mit einer einzelnen Kamera, in der die Teilung des Strahlenganges hinter dem Objektiv durch teildurchlässige Spiegel erfolgt. Im ersten Fall tritt das Problem der Parallaxe auf. Die Teilbilder lassen sich nicht völlig zur Deckung bringen, da sie unterschiedliche Perspektive aufweisen. Grund ist der räumliche Versatz der Abbildungszentren (Objektive). Der Fehler ist umso geringer, je weiter das Motiv von der Kamera entfernt ist. Für Landschaftsaufnahmen ohne Vordergrund ist das Prinzip daher geeignet, für Nahaufnahmen nicht. Kameras nach dem Strahlenteiler-Prinzip überwinden dieses Problem. Die Teilbilder weisen identische Perspektive auf, da sie vom gleichen Objektiv erzeugt werden. Allerdings ist die Konstruktion solcher Kameras aufwendig. Die Belichtungszeit muss relativ lang sein, da jedem Teilbild nur ein Drittel der durch das Objektiv kommenden Lichtmenge zugeführt wird.

Zur Wiedergabe eines Farbbildes nach dem additiven Prinzip werden Diapositive von den drei Auszugsnegativen hergestellt. Diese werden deckungsgleich übereinander projiziert. Der Rotauszug wird durch ein rotes Lichtfilter, der Grünauszug durch ein grünes Lichtfilter und der Blauauszug durch ein blaues Lichtfilter projiziert. Dem Prinzip der additiven Farbmischung folgend, werden die Farben des Bildes auf der Leinwand aus den jeweiligen Lichtfarben ermischt. Durch die Helligkeitsabstufungen in den Teilbildern wird der Anteil der jeweiligen Komponente gesteuert. Die Transmissionseigenschaften der Projektionsfilter müssen nicht zwangsläufig denen der Aufnahmefilter gleichen. Zur Wiedergabe ist keine exakte Reproduktion des Lichtspektrums erforderlich.<sup>5</sup> Schmalbandige<sup>6</sup> Lichtfilter haben den Vorteil, Grundfarben mit hoher Farbsättigung zu liefern. Sie können günstig auf die Empfindlichkeitsmaxima der Sinneszellen der Netzhaut abgestimmt werden. Nachteilig wirkt sich aus, dass solche Filter wegen ihres engen Durchlassbereiches viel Lichtenergie absorbieren und daher ein verhältnismäßig dunkles Bild ergeben. Aus praktischen Gründen sind daher in vielen technischen Anwendungen die Projektionsfilter doch eher breitbandiger ausgeführt, um eine hellere Projektion zu ermöglichen.<sup>7</sup>

---

<sup>3</sup> Vgl. MARCHESI 1998, S. 102.

<sup>4</sup> Filternummern nach MARCHESI, 1998, S. 102. Messwerte anhand von Proben gewonnen, die freundlicherweise von der Firma GÖTTINGER FARBFILTERFABRIK zur Verfügung gestellt wurden.

<sup>5</sup> Vgl. SCHULTZE 1951, S. 14.

<sup>6</sup> Schmalbandige Lichtfilter lassen einen eng begrenzten Spektralbereich passieren.

<sup>7</sup> Vgl. HUNT 1967, S. 36.

## 2.3 Überblick zur Entwicklung der additiven Dreifarbenfotografie

Der Physiker JAMES CLERK MAXWELL (1831–1879) übertrug als erster Prinzipien der additiven Farbmischung und der Farbwahrnehmung auf die Fotografie. 1861 hielt er vor der Royal Institution in London den Vortrag „Über die Theorie der drei Grundfarben“ und illustrierte ihn mit einem Experiment zur additiven Farbmischung.<sup>8</sup> Er verwendete drei Projektoren, die mit einem roten, grünen und blauen Lichtfilter bestückt waren. Damit projizierte er drei Schwarzweiß-Diapositive übereinander, die der Fotograf THOMAS SUTTON von einem bunt gestreiften Ordensband aufgenommen hatte. Die Aufnahmen waren jeweils durch einen Glastrog mit rot, grün und blau gefärbtem Wasser als Lichtfilter aufgenommen worden.<sup>9</sup> Auf der Leinwand ergab sich durch Überlagerung der drei Diapositive ein farbiges Bild. Allerdings waren die Farben des Motivs nicht wirklichkeitsgetreu wiedergegeben. Da das von SUTTON verwendete Aufnahmematerial, nach dem nassen Kollodiumverfahren beschichtete Glasplatten, nur für ultraviolettes und blaues Licht empfindlich war, hätte sich eigentlich für die Aufnahme durch Grün- und Rotfilter überhaupt kein Bild ergeben, da das wirksame kurzwellige Licht von diesen Filtern zurückgehalten wird. Dass sich auf der Aufnahme durch Grün- und Rotfilter dennoch ein Bild abzeichnete, lag an der extrem langen Belichtungszeit, die Sutton für diese beiden Aufnahmen verwendete.<sup>10</sup> So konnte ein Rest von blauem Licht das grüne Filter passieren. Der Rotfilter ließ neben dem langwelligen roten Licht auch noch einen geringen Anteil ultravioletten Lichtes durch, das die Belichtung der entsprechenden Platte bewirkte.

Wenn auch die theoretischen Grundlagen der additiven Farbfotografie durch MAXWELL im Prinzip gegeben waren, konnte die Anwendung in der Praxis durch die ungenügende Sensibilisierung des Aufnahmematerials für alle Farben des Spektrums noch nicht realisiert werden.

1873 fand der Chemiker HERMANN WILHELM VOGEL<sup>11</sup> einen Weg, die spektrale Empfindlichkeit des Aufnahmematerials über den Bereich des blauen Lichtes hinaus zu erweitern. Er versetzte die Emulsion (auf Kollodymbasis<sup>12</sup>) mit synthetischen organischen Farbstoffen, die die Silberhalogenide auch für Grün sensibilisierten.

Die Sensibilisierung von Bromsilber-Gelatine-Material mit dem Farbstoff Eosin wurde 1882 von PIERRE ALPHONSE ATTOUT und JOHN CLAYTON patentiert.<sup>13</sup> Bis zum Ende des Jahrhunderts wurde die Farbenempfindlichkeit des Schwarzweißmaterials von Blau über Grün bis Orange

---

<sup>8</sup> Nach BAIER 1980, S. 374 f.

<sup>9</sup> Er verwendete Eisensulfocyanidlösung für den Rotfilter, Kupferchloridlösung für den Grünfilter und Kupferammoniumlösung für den Blaufilter (nach BAIER 1980, S. 374 f).

<sup>10</sup> Die Filtereigenschaften und daraus resultierende Ergebnisse des Experiments wurden 1961 von RALPH M. EVANS im Kodak Forschungslabor untersucht. Vgl. COE 1979, S. 32 und KOSHOFER 1981 a, S. 24.

<sup>11</sup> VOGEL (1834–1898) ist der Vorgänger MIETHES am Lehrstuhl für Photochemie und Spektralanalyse der Technischen Hochschule Berlin.

<sup>12</sup> Kollodium ist ein Bindemittel auf der Basis von Zellulosenitrat.

<sup>13</sup> Nach MARCHESI 1993 a, S. 24.

## **Jens Wagner: Die additive Dreifarbenfotografie nach A. Miethe - Untersuchung des Verfahrens und Wege zur Wiedergabe von Dreifarbendiapositiven**

Diplomarbeit 2006 – TU München, Studiengang Restaurierung, Kunsttechnologie und Konservierungswissenschaft  
12/88

gesteigert. 1902 gelangten ADOLF MIETHE und ARTHUR TRAUBE durch die Verwendung von Isocyaninfarbstoffen die Sensibilisierung im Orange-Rot-Bereich.

Einer der ersten Fotografen, der erfolgreich nach dem Dreifarbenverfahren arbeitete, war LOUIS DUCOS DU HAURON (1837–1920). Ab den 1860er Jahren entwickelte er Methoden für die Aufnahme und Wiedergabe. Er konzipierte ein „Chromoscope“, ein Betrachtungsgerät, in dem die drei Teilbilder als Diapositive durch eine Kombination von teildurchlässigen Spiegeln vereinigt wurden. Zur Anfertigung von Papierbildern nach dem Prinzip der subtraktiven Farbmischung verwendete er fotografische Pigmentdruckverfahren. Auf der Pariser Weltausstellung 1878 präsentierte er diese drucktechnisch erzeugten Farbfotografien.<sup>14</sup>

Ab 1888 stellte FREDERICK EUGEN IVES (1856–1937) in den USA eine Reihe von Verfahren zur additiven Dreifarbenfotografie vor, die er erfolgreich auf den Markt brachte.<sup>15</sup> Die von ihm konstruierte „Kromskop“-Kamera arbeitete mit einem System aus Prismen und Spiegeln, um die drei Teilbilder zu erzeugen. Zur Wiedergabe entwickelte er einen speziellen Projektor, das „Lantern Kromskop“. Ein Betrachtungsgerät („Chromoscope“), in das die drei schwarzweißen Teilbilder eingelegt wurden, ließ durch die Kombination von Lichtfiltern und Spiegeln ein Farbbild erscheinen.

---

<sup>14</sup> Nach MARCHESI 1993 a, S. 13.

<sup>15</sup> Nach COE 1979, S. 39.



### 3 Das Verfahren der additiven Dreifarbenfotografie nach ADOLF MIETHE

MIETHE griff für sein Verfahren auf bereits etablierte Prinzipien der Dreifarbenfotografie zurück und entwickelte diese weiter. Seine Leistungen zur technischen Weiterentwicklung der Methode umfassen die Konzeption einer speziellen Kamera für die Aufnahme der Bilder, die Verbesserung der Farbempfindlichkeit des Aufnahmematerials und die Perfektionierung der Projektionstechnik. Bereits in den Jahren 1901 und 1902 entstanden nach MIETHEs Angabe „wohl an die 500 farbige Landschaftsaufnahmen“<sup>16</sup>. Bei zahlreichen Vorträgen zeigt er eigene Dreifarbenkopien mit dem von ihm entwickelten Projektor.

MIETHE stellt die Dreifarbenfotografie in enge Beziehung zu den physiologischen Gegebenheiten der menschlichen Farbwahrnehmung. Dabei beruft er sich auf die YOUNG-HELMHOLTZSCHE<sup>17</sup> Hypothese der Trichromasie, die das Farbsehen durch das Zusammenwirken dreier farbempfindlicher Rezeptoren im Auge erklärt. MIETHE spricht von der „[...] Phase der Analyse der drei Grundfarben im Auge und der Phase der Synthese der Mischfarben im Gehirn“<sup>18</sup>. Die Anfertigung der Farbauszüge auf Schwarzweiß-Material sei demnach die Analyse, die Zusammenführung der Teilbilder zu einem Farbbild die Synthese einer Farbe. Für diese „Farbsynthese“ sind zwei Wege möglich. Die Anfertigung von Abzügen oder Papierbildern nach dem Prinzip der subtraktiven Farbmischung erforderte zur Zeit MIETHEs aufwändige und langwierige Prozesse. Er entwickelt deshalb ein technisch anspruchsvolles Verfahren zur Dreifarbenprojektion, um die Synthese durch additive Farbmischung zu erreichen.

---

<sup>16</sup> MIETHE 1902 c, S. 17.

<sup>17</sup> Der Arzt und Physiker THOMAS YOUNG (1773–1829) formulierte erstmals die Hypothese, dass die Farbwahrnehmung durch drei lichtempfindliche Organe im Auge zustande kommt. Der Physiker HERMANN LUDWIG VON HELMHOLTZ arbeitet YOUNGs Hypothese aus und entwickelt die Dreifarben Theorie für das Sehen.

<sup>18</sup> MIETHE 1919, S. 375.

### 3.1 Biographische Daten zu ADOLF MIETHE<sup>19</sup>



**Abb. 2:** Bildnis MIETHES (aus: FRITSCH 1928, S. 123)

- 1862 Geburt ADOLF MIETHES am 25. April in Potsdam, sein Vater ALBERT MIETHE ist Stadtrat.
- 1883 Reifeprüfung am Viktoria-Gymnasium Potsdam. Aufnahme des Studiums der Astronomie, Mathematik und Physik an der Universität und der Gewerbe-Akademie in Berlin.
- 1887 Eintritt in das astrophysikalische Observatorium bei Potsdam, Forschung zur Anwendung der Fotografie in der astronomischen Forschung. Konstruktion eines fotografischen Objektivs (anastigmatischer Aplanat). Erfindung des Magnesiumblitzlichtes.
- 1888 Fortsetzung des Studiums in Göttingen.
- 1889 Abschluss des Studiums mit der Promotion „Zur Actinometrie astronomisch-photographischer Fixsternaufnahmen“.
- 1889–1893 Herausgeber der Zeitschrift „Photographisches Wochenblatt“.
- 1891 Wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Professor HARTNACK in Potsdam, anschließend Mitarbeiter in der optischen Anstalt SCHULZE und BARTELS in Rathenow. Konstruktion eines Teleobjektives für fotografische Anwendungen.

---

<sup>19</sup> Zusammengestellt nach BAIER 1980, S. 255 f und EMMERICH 1910, S. 437.

- 1893 Herausgeber der Zeitschrift „Atelier des Photographen“ (Nachfolger von „Photographisches Wochenblatt“).
- 1895–1899 wissenschaftlicher Mitarbeiter, später Direktor der Aktiengesellschaft Voigtländer & Sohn in Braunschweig.
- 1899 Berufung auf den Lehrstuhl für Photochemie und Spektralanalyse an der Königlichen Technischen Hochschule Berlin Charlottenburg als Nachfolger von H. W. VOGEL, Leiter des Photochemischen Laboratoriums. Bis 1927 Forschungen über wissenschaftliche und praktische Fotografie, fotomechanische Reproduktionsverfahren, Optik, Spektralanalyse und Aktinometrie.<sup>20</sup>
- 1899–1920 Herausgeber der „Zeitschrift für Reproduktionstechnik“.
- 1901 Mitglied des künstlerischen Beirates der Kaiserlichen Reichsdruckerei.
- 1902 Verbesserung der panchromatischen Sensibilisierung von Silbergelatine-Fotomaterial durch Isocyanin-Farbstoffe.  
Entwicklung einer Dreifarbenkamera mit Wechselschlitten für die Plattenkassette und die Farbfilter in Zusammenarbeit mit W. BERMPHOHL. Erste Dreifarbenfotografien nach dem von ihm entwickelten Verfahren.<sup>21</sup>
- 1903 Konstruktion eines Dreifarbenprojektors, Bau durch die Firma OPTISCHE ANSTALT C. P. GOERZ, Berlin.
- 1904 Rektor der Technischen Hochschule Berlin Charlottenburg.  
Dreifarbendia MIETHES werden auf der Weltausstellung in St. Louis mit dem von GOERZ gebauten Projektor vorgeführt.
- 1908 Teilnahme an einer Forschungsexpedition nach Ägypten.<sup>22</sup>
- 1910 Teilnahme an einer Forschungsexpedition nach Spitzbergen.<sup>23</sup>
- ab 1920 Forschungen über die Herstellung synthetischer Edelsteine und Versuche zur Umwandlung von Quecksilber zu Gold.<sup>24</sup>
- 1925 verunglückt MIETHE bei einem Eisenbahnunfall.
- 1927 Tod MIETHES am 5. Mai nach Krankheit.

---

<sup>20</sup> Nach FRITSCH 1928, S. 123 f.

<sup>21</sup> MIETHE 1902 d, S. 455 f.

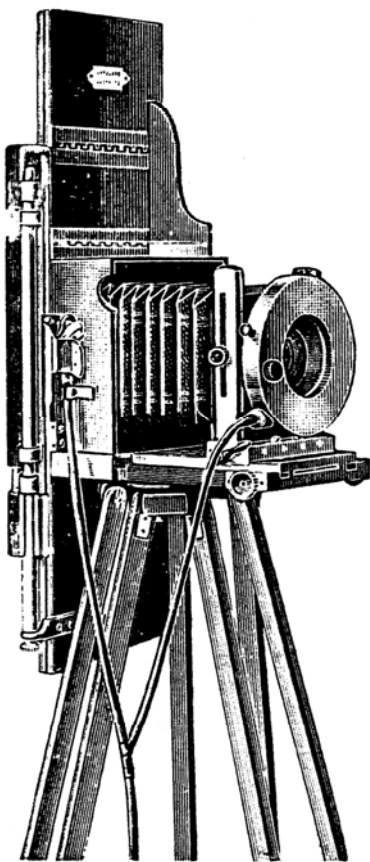
<sup>22</sup> MIETHE 1922.

<sup>23</sup> MIETHE 1911.

<sup>24</sup> Nach Meyers Grosses Konversationslexikon 1908.

## 3.2 Aufnahme der Fotografien

MIETHE konstruiert 1901 eine Dreifarbenkamera, die nach seinen Angaben von der Kunstschlerei BERMPHOHL in Berlin in Serie gebaut wird. 1902 stellt er diese Kamera in Fachzeitschriften vor.<sup>25</sup> MIETHE entscheidet sich für eine Kamera, mit der die Aufnahmen nacheinander aufgenommen werden.<sup>26</sup> Abbildung 3 zeigt die von WILHELM BERMPHOHL ab 1904 gebaute Dreifarbenkamera mit einem auf das Objektiv aufgesteckten Verschluss.



**Abb. 3:** Dreifarbenkamera (Deutsches Museum, Archiv, FS WILHELM BERMPHOHL ... ca. 1906 (FS 000398 A1), S. 5

Die von MIETHE konstruierte Dreifarbenkamera ist eine kompakte Laufbodenkamera<sup>27</sup> mit Wechselschlitten für den Lichtfilter- und Plattenwechsel. Im Folgenden wird der technische

---

<sup>25</sup> MIETHE 1902 d; MIETHE 1902 a.

<sup>26</sup> Die Alternative wäre eine Kamera, die die Bilder gleichzeitig aufnimmt. MIETHE verwendet eine Kamera mit drei Objektiven für farbige Luftbildaufnahmen vom Fesselballon aus (MIETHE 1916 S. 83). Damit macht er vermutlich die ersten farbigen Luftbilder in der Geschichte der Fotografie. Konstruktionen mit einem Objektiv und Strahlenteilung spricht MIETHE 1904 noch die Praxistauglichkeit ab (MIETHE 1904, S. 25). Ab 1929 baut dann BERMPHOHL allerdings eine Strahlenteilerkamera nach MIETHE.

<sup>27</sup> Eine Laufbodenkamera hat ein kastenförmiges Gehäuse. Im zusammengeklappten Zustand nimmt es den gefalteten Balgen und die Objektivstandarte auf. Zum Gebrauch wird die Front des Gehäuses (der Laufboden) waagrecht nach

Aufbau skizziert, soweit er für das Verständnis des Aufnahmevorgangs erforderlich ist. (Zur ausführlichen Beschreibung der MIETHE-BERMPHOHL-Dreifarbekamera des Deutschen Museums siehe Kapitel 4.1.)

BERMPOHL konzipiert 1904 einen Mechanismus, mit dem die Auslösung des Objektivverschlusses mit der Weiterschaltung des Wechselschlittens gekoppelt wird.<sup>28, 29</sup> Abbildung 4 zeigt die Abfolge der drei Positionen des Wechselschlittens bei der Aufnahme.

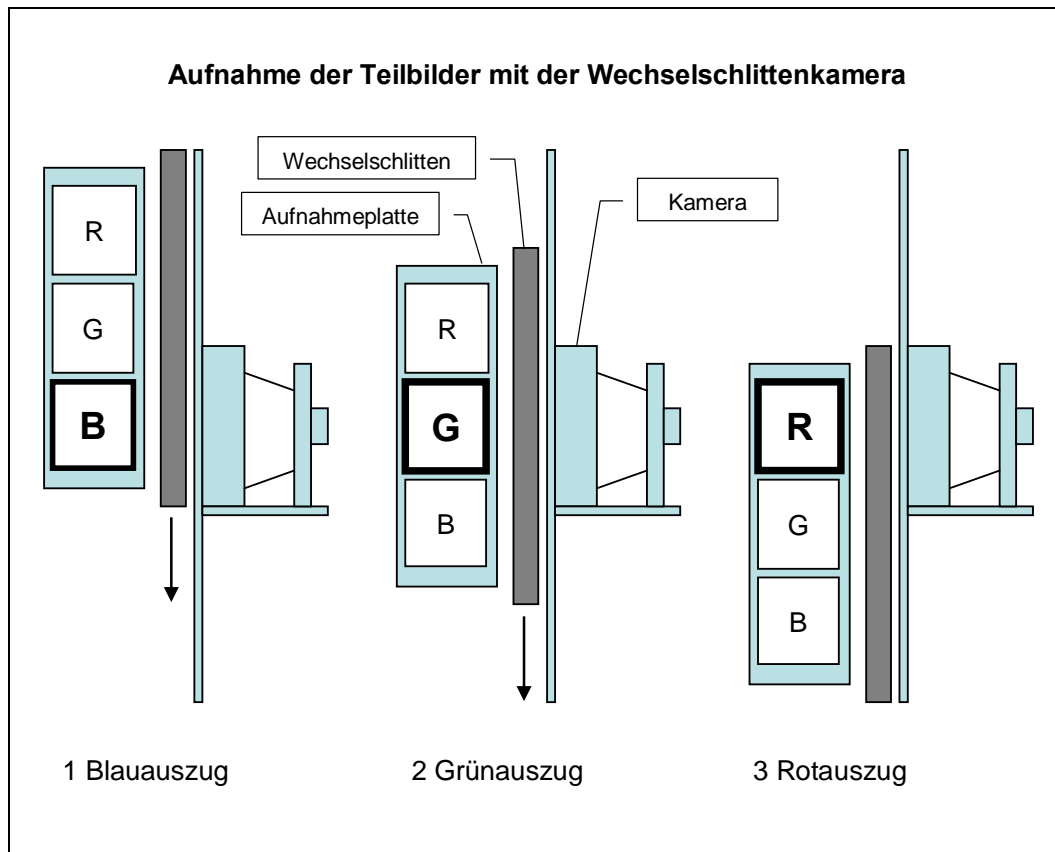


Abb. 4: schematische Darstellung der Aufnahmeplatte neben dem Wechselschlitten

Für die erste Aufnahme wird der Wechselschlitten in die obere der drei möglichen Positionen gebracht. Durch Druck auf einen Gummiball wird über einen gegabelten Schlauch pneumatisch der Objektivverschluss ausgelöst und nach der Aufnahme die Feststellung des Wechselschlittens gelöst. Der Schlitten sinkt durch die Schwerkraft herab und arretiert sich in der zweiten Position. Die zweite Aufnahme erfolgt und der Schlitten sinkt nach unten in die dritte Position. Hier wird die dritte Aufnahme ausgelöst. Alles, was der Fotograf zu tun hat, ist dreimal den Gummiball zu drücken.

vorn aufgeklappt, die Objektivstandarte aus dem Gehäuse gezogen und in die schienenförmige Aufnahme des Laufbodens gesetzt.

<sup>28</sup> Deutsches Museum, Archiv, FS Wilhelm Bernpohl ... ca. 1906 (FS 000398 A1).

<sup>29</sup> Kaiserliches Patentamt: Patentschrift Nr. 157781 Klasse 57a; Wilhelm Bernpohl in Berlin; Vorrichtung, insbesondere für Mehrfarbencameras zum selbsttätigen Auslösen der Platten- und Filterwechsellvorrichtung beim Schließen des Objektivverschlusses. Patentierte im Deutschen Reiche vom 3. März 1904 ab.

Das Bildformat beträgt 8 x 9 cm im Querformat. Aufnahmematerial ist ein Glasplattennegativ im Hochformat 9 x 24 cm, auf das die drei Bilder übereinander belichtet werden. Der Wechselschlitten sitzt vertikal verschiebbar an der Rückwand der Kamera. Er trägt die Lichtfilter, die in einem Rahmen übereinander angeordnet sind, und die Kassette mit der Aufnahmeplatte. Die drei Lichtfilter liegen jeweils vor einem Drittel der Fläche der Aufnahmeplatte, dadurch sind auf der Platte drei Bildfelder definiert. Durch Verschieben des Wechselschlittens werden nacheinander die drei Farbauszüge auf die gleiche Platte belichtet.

Für eine Aufnahme bei Tageslicht nennt MIETHE 1902 eine „*Gesamt-Expositionszeit für alle drei Aufnahmen von 6-7 Sekunden*“.<sup>30</sup> Zwei Jahre später gibt er eine Zeitspanne von drei bis vier Sekunden<sup>31</sup> an, ein Fortschritt, der der Verbesserung des Aufnahmematerials zu verdanken ist. Je nach Empfindlichkeit des Aufnahmematerials und eingestellter Blende variiert diese Zeitspanne, ist aber ausreichend kurz, um auch Bilder von Menschen aufzunehmen, sofern diese für einige Sekunden ruhig stehen.

Zur Beschaffenheit der Lichtfilter für die additive Dreifarbenfotografie gibt MIETHE an, dass diese das Spektrum in drei etwa gleiche Teile zerlegen müssen. Das Blaufilter lasse Licht der Wellenlänge 400 bis 500 nm durch, das Grünfilter Licht von 500 bis 600 nm und das Rotfilter Licht von 600 bis 700 nm.<sup>32</sup> Die Lichtfilter bestehen aus Glas, das mit einer eingefärbten, transparenten Gelatineschicht überzogen ist. Durch Aufkitten einer zweiten Glasplatte mit Kanadabalsam wird die Gelatineschicht geschützt und die Planparallelität beider Oberflächen gewährleistet. Solchen Filtern spricht MIETHE die besten Eigenschaften zu.<sup>33</sup> Zur Wahl der Filterfarbstoffe konnten keine Angaben in den recherchierten Schriften MIETHES gefunden werden. In der zeitgenössischen Literatur finden sich jedoch mehrere Rezepte unter Verwendung synthetischer organischer Farbstoffe.<sup>34</sup> Unterschieden wird jeweils zwischen Filtern für additive und subtraktive Verfahren. Auf die Erfordernis, die Transmissionseigenschaften der Filter der Sensibilisierung des Aufnahmematerials anzupassen, weist MIETHE hin.<sup>35</sup>

Nicht nur die gerätetechnischen Aspekte der Dreifarbenfotografie werden von MIETHE bearbeitet. Er erkennt, dass die neuen Ausdrucksmöglichkeiten, die die Farbfotografie bietet, bei der Wahl der Motive und der Lichtsituation berücksichtigt werden müssen. Sein Werk *Dreifarbentfotografie nach der Natur* enthält das Kapitel *Zur Ästhetik der farbenphotographischen Aufnahmen*<sup>36</sup>. Hier äußert er sich über die Unterschiede bei der Motivauffassung, die zwischen konventioneller Schwarzweiß- und Farbfotografie gemacht werden müssen. Beispielsweise sollen in der Farbfotografie zugunsten einer besseren Farbwirkung hohe Beleuchtungscontraste vermieden werden. Bedeckter Himmel

---

<sup>30</sup> MIETHE 1902 d, S. 457.

<sup>31</sup> MIETHE 1904 a, S. 78.

<sup>32</sup> MIETHE 1904 a, S. 35.

<sup>33</sup> MIETHE 1901, S. 462.

<sup>34</sup> Vgl. HÜBEL 1910, S. 104, KÖNIG 1904 S. 67 und Deutsches Museum, Archiv, FS FARBWERKE HOECHST, VORMALS MEISTER, LUCIUS ... Präparate ... (FS 505117/4), S. 31.

<sup>35</sup> MIETHE 1903, S. 66.

<sup>36</sup> MIETHE 1906, S. 74.

oder das Sonnenlicht am Morgen und am Abend seien das günstigste Licht für gute Farbaufnahmen.

1903 wird MIETHE von staatlicher Seite beauftragt, mit seinem Verfahren Lichtbildvorträge für die Weltausstellung 1904 in St. Louis vorzubereiten.<sup>37</sup> Er soll Farbaufnahmen deutscher Städte, Landschaften und Landwirtschaftsbetriebe anfertigen. Über diese Kampagne berichtet MIETHE: *„Ich reiste mit meinem neuen Gerät in deutsche Ur- und Kunstwälder, besuchte die staatlichen Weinberge an der herrlichen Mosel und am Rhein, sammelte Bilder von Burgen, Stadtansichten und besonders eigenartige Landschaftsformen, arbeitete [...] in den Laubwäldern des Mittelgebirges, in den süddeutschen Flusstälern der Altmühl, der Donau, der Isar und des Oberrheins und schaffte so in kurzer Zeit eine einzigartige Sammlung von Bildern deutscher Landschaften und Wirtschaftsformen, wobei ich selbst mit vollen Zügen die Schönheit dieser richtigen Künstlerreisen genoß.“*<sup>38</sup>

Weitere Bilder entstehen bei wissenschaftlichen Forschungsreisen nach Ägypten im Jahr 1908 und nach Spitzbergen 1910. MIETHE veröffentlicht diese Aufnahmen in literarisch verfassten Reiseberichten.<sup>39</sup> Damit stellt er die Praxistauglichkeit seines Verfahrens heraus, da es bei den Expeditionen auch unter gelegentlich widrigen Bedingungen angewendet werden konnte.

Sein Nachfolger an der Technischen Hochschule Berlin, Professor ERICH STENGER, hält fest, dass der Nachlass MIETHES tausende von Negativen der Dreifarbenfotografie umfasse.<sup>40</sup>

### **3.3 Sensibilisierung des Aufnahmematerials**

Zu den Leistungen MIETHES hinsichtlich der Vervollkommnung der Dreifarbenfotografie gehört die Weiterentwicklung der spektralen Sensibilisierung des Aufnahmematerials. In der Zeit um 1900 waren Silber-Gelatine-Emulsionen noch nicht für das volle Spektrum des sichtbaren Lichts empfindlich. Es ist eine Grundvoraussetzung für den farbfotografischen Prozess, dass das Aufnahmematerial auch den gesamten Bereich des sichtbaren Lichtes aufzeichnen kann. Silberhalogenide, die die lichtempfindliche Substanz in der Emulsion darstellen, sind jedoch nur für ultraviolettes und blaues Licht empfindlich, der Wellenlängenbereich ab ca. 550 nm wird deshalb nicht mehr aufgezeichnet.

MIETHE forschte an der Technischen Hochschule Berlin über Sensibilisierungsfarbstoffe für Silber-Gelatine-Aufnahmematerial. 1902 gelang ihm zusammen mit ARTHUR TRAUBE die Sensibilisierung für den Bereich Orange bis Rot durch Isocyaninfarbstoffe.

Das Prinzip der Erweiterung der spektralen Empfindlichkeit durch Sensibilisierungsfarbstoffe lässt sich – vereinfacht – folgendermaßen erklären: Die Farbstoffmoleküle lagern sich an der Oberfläche der Silberhalogenid-Kristalle an. Bei Belichtung absorbiert der Sensibilisierungsfarbstoff

---

<sup>37</sup> Darstellung nach MIETHES Autobiographie, in Auszügen bei BAIER 1980, S. 379.

<sup>38</sup> Zit. aus MIETHES Autobiographie, in Auszügen bei BAIER 1980, S. 379.

<sup>39</sup> MIETHE 1911, 1922 und 1925.

<sup>40</sup> Brief von Prof. STENGER an das Deutsche Museum vom 24. Juli 1933, Deutsches Museum, Archiv, VA 1871.

Strahlungsenergie des Lichtes im grünen bis roten Bereich und gibt diese Energie an die Silberhalogenide weiter. Die Anregung der Silberhalogenide durch diesen Energieimpuls führt zur Ausbildung eines latenten Bildes, wie es durch die Belichtung mit blauem Licht erzeugt werden würde.<sup>41</sup>

MIETHE bezeichnet den von ihm gefundenen Sensibilisator als „Äthylrot“ und spricht ihm „eine geradezu ideale Sensibilisierung von Bromsilber-Gelatine-Trockenplatten“<sup>42</sup> zu. Vor allem die über den erforderlichen Spektralbereich weitgehend kontinuierlich verlaufende hohe Empfindlichkeit wird von ihm herausgestellt.<sup>43</sup> Die Eigenschaft von Aufnahmematerial, über den gesamten sichtbaren Spektralbereich empfindlich zu sein, wird als panchromatisch bezeichnet. HÜBEL definiert 1902: „Panchromatisch nennt man Platten, welche für alle Farben empfindlich sind, wobei jedoch das Empfindlichkeitsverhältnis für die einzelnen Strahlengattungen sehr verschieden sein kann. Durch Vorschalten von Filtern lässt sich ihr Sensibilisierungsband dem jeweiligen Zwecke entsprechend umformen.“<sup>44</sup>

Für die Dreifarbenfotografie ergibt sich dadurch der Vorteil, alle drei Teilbilder mit dem gleichen Aufnahmematerial machen zu können. Vor MIETHE'S Entdeckung war es gebräuchlich, für die drei Farbauszüge unterschiedlich Platten zu verwenden, die im jeweiligen Spektralbereich hinreichend sensibilisiert sind.<sup>45</sup> Durch die zwangsläufig unterschiedlichen fotografischen Eigenschaften der verschiedenen Platten entstehen so Teilbilder, die sich im Kontrast und der Charakteristik der Grauwertabstufungen unterscheiden. Daraus resultieren Fehler bei der Zusammenführung der Teilbilder, die sich auf die naturgetreue Farbwiedergabe auswirken. Diese Fehler kann MIETHE ausschließen. Da er mit seiner Dreifarbenkamera die Teilbilder auf eine gemeinsame Platte belichtet, sind auch Unterschiede der Teilbilder durch Schwankungen, die bei der Entwicklung von einzelnen Platten auftreten könnten, ausgeschlossen.

Der Prozess der Sensibilisierung kann auf zwei Arten durchgeführt werden: Entweder durch Baden einer gewöhnlichen, unsensibilisierten Platte in einer wässrigen Lösung des Farbstoffes, oder durch Beimengen des Farbstoffs zur Emulsion vor dem Guss auf die Glasplatte. MIETHE hebt die höhere Empfindlichkeit der „Badeplatten“ hervor.<sup>46</sup> Die Präparation mit der Farbstofflösung muss allerdings vom Fotografen selbst in einem aufwändigen Vorgang vorgenommen werden. Eine industrielle Fabrikation der farbenempfindlichen Platten nach MIETHE'S Angaben wird von der Firma OTTO PERUTZ in München bereits 1902 aufgenommen.<sup>47</sup> Sie brachte das mit „Äthylrot“ sensibilisierte Material unter dem Handelsnamen „Perchromo-Platte“ auf den Markt.

---

<sup>41</sup> Darstellung nach MARCHESI 1993, S. 93 ff.

<sup>42</sup> MIETHE 1904 a, S. 12.

<sup>43</sup> MIETHE 1905, S. 13 und MIETHE 1904 a, S. 13 f.

<sup>44</sup> HÜBEL 1902, S. 125.

<sup>45</sup> MIETHE 1904 a, S. 5.

<sup>46</sup> Ebd. S. 23.

<sup>47</sup> MIETHE 1902 d, S. 456.



CALLIER untersuchte 1904 mehrere auf dem Markt befindliche fotografische Platten, darunter auch die „Perchromo-Platte“, auf ihre spektrale Sensibilisierung. Es zeigte sich, dass die Empfindlichkeit dieses Material im Rotbereich noch erheblich geringer ist als für grünes und blaues Licht.<sup>48</sup>

In der Dreifarbenfotografie nach MIETHE wird die ungleichmäßige Empfindlichkeit durch die Beschaffenheit der Lichtfilter und unterschiedliche Belichtung der Teilbilder ausgeglichen. Mit der vor 1904 erhältlichen „Perchromo-Platte“ und MIETHES Dreifarbenkamera ergeben sich für „*Helles Sommerlicht*“<sup>49</sup> und Blende 1:4,5 Belichtungszeiten von 1/10 Sekunde für den Blau- und Grünauszug, die Belichtungszeit für den Rotauszug beträgt 1/4 Sekunde. „*Helle Interieurs*“ erfordern bei Blende 4,5 entsprechende Belichtungszeiten von 2,5 Sekunden für den Blau- und Grünauszug, 5 Sekunden für den Rotauszug.

### **3.4 Wiedergabe der Fotografien**

Die Aufnahme nach dem Dreifarbenverfahren liefert zunächst Farbauszugsnegative. Zur Wiedergabe nach dem additiven Verfahren werden davon durch Umkopieren im Kontaktverfahren Diapositive angefertigt. Die Platte mit den drei Negativen wird auf eine gleich große Silber-Gelatine-Aufnahmeplatte gelegt, belichtet und entwickelt. Es entstehen drei Schwarzweiß-Diapositive im identischen Format. Da die Positive wiederum gemeinsam belichtet und entwickelt werden, bleibt das Verhältnis von Helligkeit und Kontrast in den Teilbildern erhalten. Zur Beschaffenheit der Diapositive und deren Auswirkung auf die Farbwiedergabe stellt MIETHE fest „[...] *daß allzu zarte Diapositive matte Farben, allzu kräftige Diapositive klecksig-farbige harte und unschöne Projektionsbilder ergeben*“<sup>50</sup>.

Mittels eines Betrachtungsgerätes oder der Dreifarbenprojektion werden die Diapositive zu einem Farbbild zusammengeführt. Das Betrachtungsgerät oder „Chromoskop“ besteht aus einer Anordnung von Spiegeln und Lichtfiltern in einem treppenartig geformten Gehäuse mit einem seitlichen Einblickschacht. Als Lichtquelle dient Tageslicht. Abbildung 5 zeigt ein von BERMPOHL<sup>51</sup> hergestelltes Chromoskop.

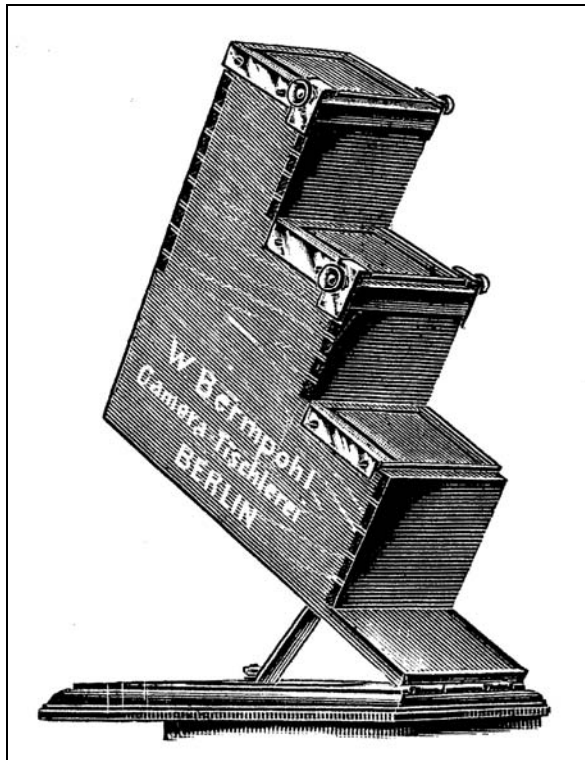
---

<sup>48</sup> CALLIER 1904, S. 50.

<sup>49</sup> MIETHE 1904 a, S. 40. MIETHE stellt hier eine Tabelle mit Belichtungszeiten vor, die für verschiedene Lichtsituationen als Anhaltswerte zu verstehen seien. Alle Werte haben etwa das gleiche relative Verhältnis.

<sup>50</sup> MIETHE 1904 a, S. 56.

<sup>51</sup> WILHELM BERMPOHL führte eine Kameratschlerei in Berlin. Ein Chromoskop von MIETHE / BERMPOHL befindet sich im Besitz des Deutschen Museums (Inv. Nr. 13370).



**Abb. 5:** Chromoskop (aus: Deutsches Museum, Archiv, FS Wilhelm Bärmohl ... ca. 1906 (FS 000398 A1), S. 12)

Um die Dreifarbenbilder einem größeren Publikum zeigen zu können, konstruiert MIETHE spezielle Diaprojektoren. Ein kleinerer Apparat wird von BERMPOHL hergestellt, ein großer Projektor von der Firma C. P. GOERZ.<sup>52</sup>

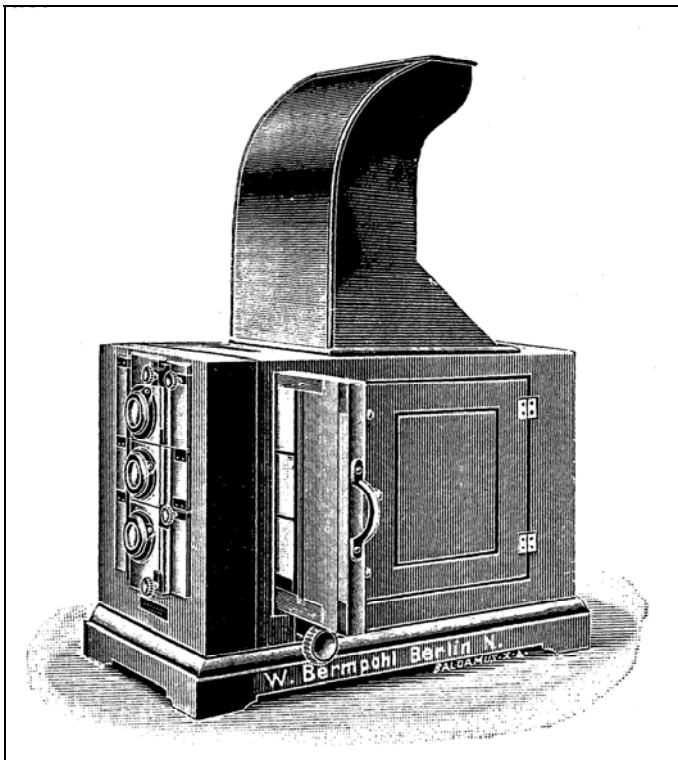
Beiden Geräten gemeinsam ist das Prinzip, drei Projektionssysteme in einem Gehäuse zu vereinen. Jedes System hat seine eigene Lichtquelle, die Lichtfilter sitzen auf den Objektiven. Die Projektionsachsen verlaufen parallel. Um die Teilbilder auf der Leinwand zur Deckung zu bringen, werden die jeweils äußeren Projektionsobjektive parallel zur Bildebene nach innen verschoben. Damit lässt sich die Position der projizierten Teilbilder auf der Leinwand justieren, ohne die Abbildungsgeometrie zu verändern. Als Projektionsfläche schlägt MIETHE weißes Papier oder eine Malleinwand vor, mit einer matten Grundierung aus Barytweiss in Gelatinelösung. Der Rand derselben soll mit einem Streifen aus schwarzem Samt gefasst sein.<sup>53</sup>

Der von BERMPOHL gebaute kleinere Projektor nimmt die unzerteilte Platte mit den drei Diapositiven auf. Damit ist die Anordnung der Projektionssysteme übereinander vorgegeben. Mit Kohlebogenlicht von 15 Ampère Stromaufnahme konnten die Bilder auf bis zu vier Quadratmeter Größe projiziert werden<sup>54</sup> (vgl. Abbildung 6).

<sup>52</sup> CARL PAUL GOERZ (1856–1923) gründete 1898 eine Fabrik für optische Geräte in Berlin Friedenau. Die Firma besteht in Berlin bis in die Mitte der 1920iger Jahre. Vgl. KINGSLAKE 1989 S. 231. Ein Modell des kleinen Projektors befindet sich im Deutschen Museum (Inv. Nr. 72119)

<sup>53</sup> MIETHE 1904 a, S. 53.

<sup>54</sup> MIETHE ebd. S. 55.



**Abb. 6:** Dreifarbenprojektor. (aus: Deutsches Museum, Archiv, FS Wilhelm Bernpohl ... ca. 1906 (FS 000398 A1), S. 12)

Der große Projektor wurde ab 1903 von der Firma C. P. GOERZ gebaut.<sup>55</sup> Die Diapositive werden einzeln nebeneinander in einen Rahmen montiert und dieser in den Projektor eingesetzt. Dadurch ist die Position der Teilbilder zueinander fixiert und die Passgenauigkeit der Überlagerung kann bereits vor dem Einsetzen der Diarahmen in den Projektor festgelegt werden. Er kann mit Kohlebogenlicht von jeweils bis zu 35 Ampère Stromaufnahme pro Lampe betrieben werden.<sup>56</sup> MIETHE gibt die Leistungsfähigkeit des Beleuchtungssystems bei Volllast als ausreichend an, um auf eine Fläche von 20 Quadratmetern projizieren zu können.<sup>57</sup> Aufgrund der massiven Metallkonstruktion mit präzise gefertigten Justiermöglichkeiten und der starken Beleuchtungseinheit kann der Apparat als Hochleistungsgerät bezeichnet werden. Dies schlägt sich im Preis nieder, der 1912 mit 4000 Mark angegeben wird.<sup>58</sup> Die kostspielige Technik bedingt, dass die Anwendung der Dreifarbenprojektion, zumindest mit dem großen Projektor, wenig Verbreitung findet.

Lichtbildprojektion findet in der Zeit um 1905 vor allem im Rahmen öffentlicher Veranstaltungen statt. Dabei illustrieren die Bilder Vorträge zu den verschiedensten Themen. Der „Vortrag mit Lichtbildern“ nimmt einen Platz im öffentlichen Leben ein wie Theater oder Konzert, spricht aber

<sup>55</sup> Zur ausführlichen Beschreibung des im Deutschen Museum erhaltenen Projektors siehe Kapitel 4.2.

<sup>56</sup> Bei einer Betriebsspannung von 45 Volt ergibt sich eine Leistungsaufnahme von 1575 Watt für jede der drei Kohlebogenlichtquellen.

<sup>57</sup> MIETHE 1904 a, S. 59.

<sup>58</sup> Optische Anstalt C. P. GOERZ Aktiengesellschaft Berlin, Preisliste 1912, S. 141.

ein breiteres Publikum an.<sup>59</sup> Als Rektor der Technischen Hochschule Berlin kann MIETHE die Gelegenheit wahrnehmen, sein Verfahren auch höheren gesellschaftlichen Kreisen vorzustellen. Er berichtet von mehreren Vorführungen seiner Farbfotografien im Kaiserhaus: *„Der Kaiser war begeistert von deren Naturschönheit und sprach über den Einfluß, den diese Lichtbilder vielleicht auch auf die Künstler haben würden. Er gab dabei der Meinung Ausdruck, daß gewisse Auswüchse der Farbgebung der jüngsten Malerschulen an dieser echten Farbenpracht gesunden könnten.“*<sup>60</sup>

Daneben ist die Anwendung in Lehre und Forschung hervorzuheben, wo die Möglichkeit genutzt wurde, Fotografien, die für Demonstrations- und Unterrichtszwecke angefertigt wurden, zu zeigen. Diese von MIETHE ausdrücklich intendierte Anwendung<sup>61</sup> findet beispielsweise an der Technischen Hochschule Berlin statt. Über die dortige Einrichtung der Projektionstechnik mit dem von GOERZ hergestellten Projektor gibt STENGER an, dass aus einer Entfernung von 9,5 Metern eine Projektionsfläche von 2,3 x 1,9 Meter Größe bespielt werde.<sup>62</sup>

1903 erwirbt die Urania in Berlin, eine Institution, in der unter anderem Lichtbildvorträge zu wissenschaftlichen Themen stattfinden, einen Dreifarbenprojektor.<sup>63</sup> Mit dem von der Firma ERNECKE, Berlin, gebauten Gerät werden Dreifarbenfotografien zum Zweck der *„naturwissenschaftlichen Belehrung“*<sup>64</sup> gezeigt. Hierbei komme der Farbfotografie ein besonderer Stellenwert zu, denn *„Naturwahrheit in Form und Farbe wünscht aber die belehrende Wissenschaft zuallererst“*<sup>65</sup>.

OTTO WIENER, Professor für Physik an der Universität Leipzig, berichtet von einer Dreifarbenprojektionsvorführung auf einer Tagung von Naturwissenschaftlern im Jahr 1908: Dort seien mit dem GOERZ-Projektor *„die Mietheschen Bilder in dem großen Gürzenichsaale in Cöln, wo der Vortrag stattfand [projiziert worden] sie fanden den besonderen Beifall der Versammlung“*<sup>66</sup>.

Auf der Weltausstellung in St. Louis im Jahr 1904 werden mit dem gleichen Projektor Vorführungen im Rahmen der deutschen Unterrichts-Ausstellung gegeben. In einem Hörsaal werden Serien zu je ca. 50 Bildern zum deutschen Weinanbau, Forstwesen, *„malerische Ansichten“*<sup>67</sup> aus deutschen Dörfern und Stimmungsbilder aus den Dolomiten und vom Gardasee gezeigt. Die Leinwand hat eine Größe von 10 Quadratmetern, worauf sich, nach MIETHES Angaben, die Bilder *„mit äusserster Helligkeit und Farbenbrillanz projiciren lassen“*<sup>68</sup>.

---

<sup>59</sup> Nach KEMP 1978, S. 31.

<sup>60</sup> Zit. aus MIETHES Autobiographie, in Auszügen bei BAIER 1980 S. 379.

<sup>61</sup> Vgl. MIETHE 1905, S. 15.

<sup>62</sup> Brief von Prof. STENGER an das Deutsche Museum vom 7. Juli 1933, Deutsches Museum, Archiv, VA 1871.

<sup>63</sup> Nach DONATH 1903, S. 94 ff. Das Gerät wurde nach Angaben MIETHES konstruiert.

<sup>64</sup> DONATH 1903, S. 94.

<sup>65</sup> DONATH 1903, S. 97.

<sup>66</sup> WIENER 1909, S. 22.

<sup>67</sup> Miethe 1904 b, S. 474.

<sup>68</sup> Ebd. S. 474.

### **3.5 Bewertung des Verfahrens**

Das Verfahren der additiven Dreifarbenfotografie nach MIETHE gehört zu Beginn des 20. Jahrhunderts zu den ersten ausgereiften farbfotografischen Prozessen. MIETHE schöpft die technischen Möglichkeiten seiner Zeit aus, um Farbbilder mittels Projektion in hoher Qualität zu zeigen. Prinzipbedingte Mängel des Systems führten dazu, dass es sich auf lange Sicht gegen konkurrierende Verfahren nicht durchsetzt.

Auch wenn die Wechselschlittenkamera eine wesentlich beschleunigte Aufnahmefolge ermöglicht, schränkt die sukzessive Aufnahme der Teilbilder die Anwendung doch auf statische Motive ein. Die relativ leichte und kompakte Kamera ermöglichte es MIETHE, Farbaufnahmen außerhalb des Ateliers zu machen.<sup>69</sup> Diese seien entstanden „*weil er seinerzeit als erster den glücklichen Versuch gemacht hat, das Verfahren so auszugestalten, daß es den Schritt aus dem Laboratorium in Gottes freie Natur wagen konnte*“<sup>70</sup>, wie MIETHE 1922 über seine Arbeiten anmerkt.

Die Herstellung der drei Diapositive erfolgt in einem verhältnismäßig einfachen Verfahren, denn die Anfertigung der Projektionsvorlagen wird im konventionellen Schwarzweiß-Prozess durchgeführt. Detailreichtum, Kontrast und Feinheit der Helligkeitsabstufung in den Teilbildern lassen sich folglich in hoher Qualität darstellen.

Nachteil des Verfahrens ist der hohe technische Aufwand für die Dreifarbenprojektion. Die Probleme, die sich durch die Anforderung ergeben, die Teilbilder deckungsgleich übereinander zu projizieren, wurden von MIETHE gelöst. Die Projektoren sind jedoch aufwändig in der Herstellung. Ein Kritiker urteilt bereits 1905: „*Wenn nun auch [...] durch den neuen, dreifachen Projektionsapparat eine sehr vollkommene Projektion möglich wird, so ist doch im Prinzip nichts geändert. Das ganze Verfahren liefert [...] keine direkt farbigen Bilder und erfordert recht teure Apparate zur Demonstration und Projektion, so daß es kaum geeignet erscheint, die subtraktiven Methoden zu ersetzen und zu verdrängen.*“<sup>71</sup>

MIETHE äußert sich 1919 im Rückblick zu seiner Methode: „*Die so erzeugbaren farbigen Projektionsbilder sind von der höchsten technischen Vollendung, aber [...] hier sind komplizierte, kostspielige, durchaus nicht leicht zu bedienende Apparate erforderlich, so dass dieses Verfahren sich trotz der bewunderungswürdigen Ergebnisse in der Praxis kaum eingebürgert hat.*“<sup>72</sup>

---

<sup>69</sup> Davon zeugen seine zahlreichen Landschaftsfotografien, insbesondere die in Norwegen und Ägypten aufgenommenen.

<sup>70</sup> MIETHE 1922, S. 7.

<sup>71</sup> KAISERLING 1905, S. 22.

<sup>72</sup> MIETHE 1919, S. 378.



## 4 Kamera, Projektor und Diapositive zum additiven Dreifarbenverfahren im Deutschen Museum

### 4.1 MIETHE-BERMPOHL-Dreifarbekamera

Das Ensemble mit der Inventarnummer 69279 a-e besteht aus der Kamera, der Mattscheibe in Holzrahmen (b) und drei Glasplatten-Doppelkassetten (c, d, e). Eine quaderförmige Tragetasche aus grünem Segeltuch mit Lederbesatz bietet Platz für die Kamera, die Kassetten und die Mattscheibe. Laut Inventarkarte wurde die Kamera am 1. Mai 1939 dem Deutschen Museum von Professor Stenger, Technische Hochschule Berlin, gestiftet. Das elfenbeinfarbene Schild auf der Vorderseite des oberen Segments der Kamerarückwand trägt die Beschriftung „Prof. Dr. Miethes / Dreifarben-Camera“. Darunter ist der Prägestempel des Herstellers angebracht: „W. BERPPOHL / Kunst-Tischlerei / Berlin“. Das Baujahr der Kamera ist nicht genannt.

Die Dreifarben-Wechselschlittenkamera ist als kompakte Laufbodenkamera für das Plattenformat 9 x 24 cm (Bildformat 8 x 9 cm) ausgeführt, mit fest angesetzter, teilweise klappbarer Rückwand und vertikal verschiebbarem Wechselschlitten mit pneumatischer Dämpfung. Sie entspricht im Aufbau der von MIETHE 1902 vorgestellten Version.<sup>73</sup> Der Mechanismus, der das Auslösen des Verschlusses mit der Bewegung des Wechselschlittens koppelt, wurde 1904 vom Hersteller WILHELM BERMPOHL zum Patent angemeldet.<sup>74</sup>

Fotografien der Kamera sind im Bildteil der Arbeit, S. 1-3 enthalten.

#### 4.1.1 Beschreibung der Bauelemente

##### *Gehäuse*

Das Gehäuse ist 12,3 cm breit, 14,8 cm hoch und 6 cm tief. Es ist aus braunem Tropenholz gefertigt und mit einer glänzenden, transparenten Lackierung versehen. Die Stärke der hölzernen Gehäuseteile beträgt 5 mm, die Eckverbindungen sind schwalbenschwanzförmig gezinkt. Am Gehäuseboden ist eine 4,5 cm tiefe, mit seitlichen Messingschienen versehene Platte montiert, auf der die Objektivstandarte bei geschlossener Kamera ruht.

An der rechten Seitenwand ist der Mechanismus zur Entriegelung des Wechselschlittens angebracht. Er entspricht bis ins Detail dem im Jahr 1904 von BERMPOHL patentierten System.

Auf dem klappbaren hölzernen Laufboden wird in Messingschienen ein zweiter, ausziehbarer Laufboden geführt, der mittels einer Zahnstange und zwei Drehknöpfen, welche am vorderen Ende des Deckels seitlich angebracht sind, vor und zurück geschoben werden kann. Damit wird die Scharfstellung vorgenommen. Die Messingschienen sind mit je fünf Senkkopf-Schlitzschrauben

---

<sup>73</sup> MIETHE 1902 d, S. 455-456.

<sup>74</sup> Kaiserliches Patentamt: Patentschrift Nr. 157781 Klasse 57a; Wilhelm BERPPOHL in Berlin; Vorrichtung, insbesondere für Mehrfarbenkameras zum selbsttätigen Auslösen der Platten- und Filterwechsellvorrichtung beim Schließen des Objektivverschlusses. Patentiert im Deutschen Reiche vom 3. März 1904 ab.

auf dem Boden befestigt. Ein 3 cm langer schwenkbarer Hebel aus Messing arretiert den oberen Laufboden. Unterer und oberer Laufboden sind mit je einer kreisrunden Öffnung von 6,5 cm Durchmesser versehen. Im zusammengeklappten Zustand ragt hier das Objektiv hinein.

Die Objektivstandarte ist 9,2 cm breit und 12,5 cm hoch. Mit einem Schwenkhebel an der rechten unteren Seite lässt sich ihre Position auf dem Laufbodenauszug fixieren. In die Standarte ist das 7,8 cm breite und 8,5 cm hohe Objektivbrett eingelassen. Es ist vertikal verstellbar. Messingschienen verstärken den oberen und unteren Rand. Eine Einrastposition für die Mittelstellung ist nicht vorhanden, die geschätzte Aufteilung des Verstellweges von 4,3 cm beträgt ein Viertel nach unten und drei Viertel nach oben.

Der lederne Balgen weist 15 Faltungen auf und vergrößert sich konisch vom Objektivbrett zur Kamerarückwand. Am Objektivbrett beträgt der Durchmesser 7,5 x 7,5 cm, an der Rückwand 10 x 10 cm. An den vorderen 12 Falten, die aus dem Gehäuse ragen, ist die farbgebende braune Appretur des Leders partiell abgerieben und verblasst. Die Anordnung der Haarlöcher im Leder lässt auf die Verwendung von Ziegenleder schließen.<sup>75</sup>

#### *Objektiv*

In die kreisrunde Montageplatte aus schwarz lackiertem Metall ist das Objektiv fest eingebaut. Die Montageplatte trägt die weiß ausgelegte, gravierte Beschriftung „C. P. GOERZ BERLIN“. Der Drehring zur Einstellung der Blende ist graviert und weiß ausgelegt: „Doppel-Anastigmat Typ B. D.R.P. Serie 1 B. No. 1. F = 150 m/m No. 126357“. Bei der Blende handelt es sich um eine Irisblende mit 15 Lamellen. Die Skala ist wie folgt unterteilt: 2,3 / 3 / 4 / 6 / 12 / 24 / 48 / 96 / 192 / 384. Die Linsenfassung aus Messing ist mit einem dünnen schwarzen Lack überzogen, der im vorderen Bereich stark berieben ist. Ein Verschluss ist nicht in das Objektiv eingebaut.<sup>76, 77</sup>

#### *Wechselschlittenaufnahme*

Über und unter dem Bildfenster ist die 12,2 cm breite Rückwand der Kamera um jeweils 18,5 cm vergrößert auf eine Gesamthöhe von 44,5 cm. An dieser Rückwand kann der Wechselschlitten entlang gleiten, sie deckt die Vorderseite des Schlittens gegen Lichteinfall ab. Die rückseitige Fläche ist mit einer leicht glänzenden, schwarzen Lackierung versehen. Um die Kamera für den Transport verkleinern zu können, ist der obere Teil der Rückwand in zwei klappbare Segmente geteilt, die mit Scharnieren aus Messing verbunden sind. Zur Stabilisierung und gegen Lichteinfall sind die Kanten der Segmente mit Nut und Feder gearbeitet. Die Teilung der Segmente ist so bemessen, dass nach dem Umklappen das 6,8 cm lange untere Teil auf der Oberseite des Gehäuses liegt und das 8,2 cm lange obere Teil sich nach vorne an den geschlossenen Laufboden anlegt. Ein klappbarer Winkel aus Holz in geschwungener Form stabilisiert die aufgeklappte Rückwand.

---

<sup>75</sup> Charakteristisch für Ziegenleder ist die sichelförmige Anordnung von jeweils fünf bis sieben Haarlöchern nebeneinander.

<sup>76</sup> Die Lackschäden an der Objektivfassung weisen auf einen ehemals vorhandenen aufsteckbaren Verschluss hin. BERMPOHL empfiehlt für die Kamera aufsteckbare Verschlüsse (Deutsches Museum, Archiv, FS Wilhelm Bernpohl ... ca. 1906 (FS 000398 A1), S. 8).

<sup>77</sup> Die Glasflächen des Objektivs erscheinen trübe, sie sind dünn mit Staub und Mycel von Pilzbefall bedeckt.



### *Wechselschlitten*

In den Wechselschlitten wird die Kassette für die Aufnahmeplatte eingeschoben. Er ist aus dem gleichen Holz wie das Kameragehäuse gefertigt. Die drei Farbfilter sind so im Wechselschlitten montiert, dass sie unmittelbar vor der Aufnahmeplatte liegen. An der Kamerarückwand ist der Wechselschlitten vertikal verschiebbar. Durch einen Einrastmechanismus arretiert er in drei Positionen, die jeweils den durch die Filterposition vorgegebenen Höhen entsprechen. Der Wechselschlitten ist 2,5 cm tief, 28,3 cm hoch und 12,5 cm breit. Die beiden Seitenflächen werden von U-Profilschienen aus Messing (2,5 x 0,1 x 0,3 cm) verstärkt. Mit einem eingesetzten Rahmen aus Weichholz sind die drei Lichtfilter gefasst, die Ausschnitte für die Bildfenster sind jeweils 8,7 cm breit und 7,4 cm hoch. Die Filterscheiben sind 9,2 cm breit und 8 cm hoch. Oben im Schlitten ist der Blaufilter, in der Mitte der Grünfilter und unten der Rotfilter angeordnet. Die Filter bestehen aus zwei miteinander verkitteten Glasplatten, die Innenseite einer oder beider Platten ist mit gefärbter Gelatine überzogen.

Eine pneumatische Federung dämpft den Schlitten beim Herabsinken zwischen den Aufnahmen. Hierfür ist an der rechten Seite an der Messingleiste ein Messingrohr mit zwei angelöteten Montageplatten mit je einer Schraube befestigt. Der Durchmesser des Rohres beträgt 1 cm, eine aufgeschraubte Kappe mit einer kleinen seitlichen Öffnung von einem Millimeter Durchmesser verschließt das Rohr nach oben. An der Unterseite der Rückwand ist ein 0,6 cm dicker Stab aus Messing befestigt, der in das Rohr ragt. Sinkt der Schlitten nach unten, schiebt sich der Stab in das Rohr und komprimiert, ähnlich einer Fahrrad-Luftpumpe, die Luft im Inneren. Durch die Öffnung in der Verschlusskappe entweicht die Luft langsam und lässt den Schlitten mit definierter Geschwindigkeit sinken.

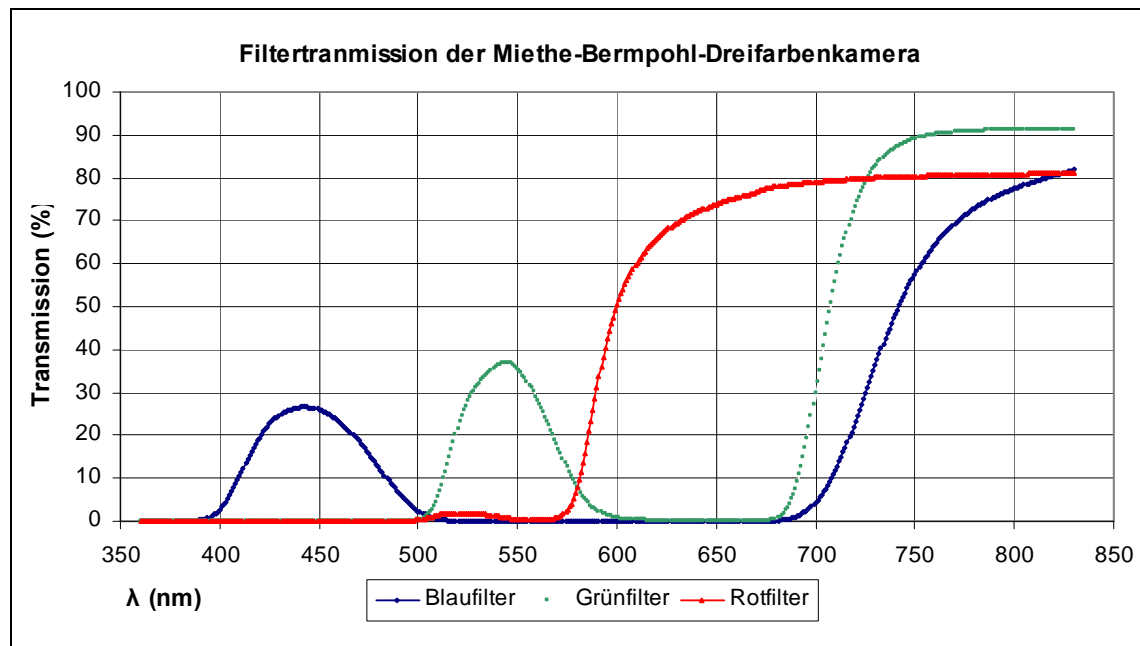
### *Transmissionseigenschaft der Filter*

Mittels spektralfotometrischer Messung wurden die Eigenschaften der Lichtfilter bestimmt. Diagramm 2 zeigt die Transmission gegen Luft in Prozent über einen Wellenlängenbereich von 350–850 nm. Blau- und Grünfilter zeigen einen glockenförmigen Verlauf der Transmissionskurve im Arbeitsbereich. Das Blaufilter lässt Lichtstrahlung von 400–500 nm Wellenlänge passieren, das Grünfilter Lichtstrahlung von 500–600 nm. Bei ca. 575 nm Wellenlänge setzt der Transmissionsbereich des Rotfilters ein.

Die Charakteristik der ersten beiden Filter entspricht der von Miethe für die additive Dreifarbenfotografie geforderten, der Rotfilter ist etwas stärker orange.<sup>78</sup> Oberhalb von 680 nm werden Blau- und Grünfilter wieder durchlässig, was allerdings für die Fotografie nicht relevant ist, da das damals verwendete Aufnahmematerial in diesem Bereich nicht empfindlich ist. Die Filter sind verhältnismäßig schmalbandig, ihre Durchlassbereiche überlappen sich kaum. Blau und Grünfilter sind erheblich dunkler als der Rotfilter. Diese Abstimmung wurde gewählt, um der geringen Rotempfindlichkeit des Aufnahmematerials Rechnung zu tragen.

---

<sup>78</sup> MIETHE 1904 a, S. 35.



**Diagramm 2**

### *Mattscheibe*

Die Mattscheibe ist in einen schwarz lackierten Holzrahmen (12,2 cm Breite, 28,1 cm Höhe und 0,8 cm Stärke) gefasst. Seitlich sind Nuten eingearbeitet, womit sie, statt der Plattenkassette, in den Wechselschlitten geschoben werden kann. Die Glasscheibe mit der Abmessung 9,7 x 24 cm wird an den Ecken von jeweils einem schräg in den Rahmen eingesetzten rechteckigen Stück Messingblech gehalten. Die sichtbare Bildfläche beträgt 8,5 x 23,3 cm.

### *Kassetten*

Die drei Doppelkassetten sind aus dem gleichen Holz gefertigt wie das Kameragehäuse. Sie sind 12,2 cm breit, 29,5 cm lang und 1,6 cm stark und können mit je zwei Glasplatten im Format 9 x 24 cm bestückt werden. Eingelassene Winkel aus Messingblech verstärken die unteren Ecken. Beidseitig befindet sich je eine runde, elfenbeinfarbene Plakette, welche die drei Kassetten fortlaufend von eins bis sechs numeriert. Die Kassettschieber, die die Glasplatten vor und nach der Aufnahme abdecken, sind aus 3 mm dickem Holz. Ein Verriegelungsmechanismus aus einem federnden Blechstück sichert die Schieber gegen versehentliches Herausrutschen. Für die Aufnahme wird der Schieber bis zum Anschlag herausgezogen. Ein eingeleimtes schwarzes Stoffstück bildet ein Gelenk, mit dem der Schieber sich um 180° zurückklappen lässt, so dass er an die Kamerarückwand anliegt.

Um die Kassette zu laden, werden die seitlichen vier Verschlusslaken aus Messingblech zurückgeklappt, die Kassette lässt sich nun über die Schmalseite wie ein Buch aufklappen. Eine Andruckplatte aus Stahlblech mit zwei aufgenieteten flachen Streifen aus Federstahl fixiert die Glasplatte in der Schärfenebene.

### *Veränderungen*

Die Kamera ist auf einen Ständer aus grau lackiertem Stahlrohr montiert. In die Bodenplatte des Gehäuses sind zwei Löcher von ca. 8 mm Durchmesser gebohrt. Stahlschrauben mit Sechskantkopf halten die Kamera auf der Montageplatte des Ständers. Sie sind mit der Montageplatte verschraubt. Die Schraubenköpfe blockieren im Gehäuse den Verschiebeweg für die Objektivstandarte. Dadurch lässt sich die Objektivstandarte nicht mehr in das Gehäuse schieben und der Laufboden nicht zuklappen.

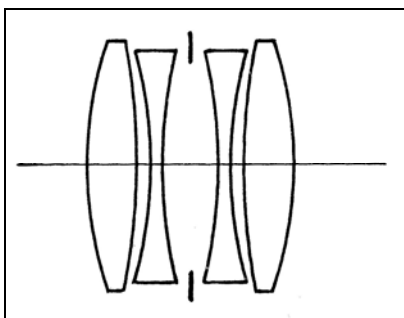
## **4.1.2 Bewertung der Konstruktionsmerkmale**

### *Mobilität*

Das relativ kleine Aufnahmeformat von 8 x 9 cm, die teilweise bewegliche Rückwand, die sich im zusammengeklappten Zustand an das Kameragehäuse anschmiegt und der einklappbare Laufboden machen die Kamera kompakt. Dadurch ist sie bequem zu transportieren und kann als leichte Reisekamera bezeichnet werden.

### *Zeitliche Einordnung und Qualität des Objektivs*

Anhand der Bezeichnung „Doppel-Anastigmat Typ B. D.R.P. Serie 1 B. No. 1.“ lässt sich das Objektiv identifizieren. Nach KINGSLAKE wurde der Objektivtyp von EMIL VON HÖEGH für GOERZ errechnet und 1899 auf den Markt gebracht.<sup>79</sup> „Doppel-Anastigmat“ bezieht sich auf den symmetrischen Aufbau aus zwei Gliedern, in denen jeweils der Abbildungsfehler des Astigmatismus korrigiert ist. Es ist aus vier einzelnen Linsen symmetrisch aufgebaut. Die äußeren Linsen sind bikonvex, die inneren bikonkav. Abbildung 7 zeigt einen Querschnitt des Linsensystems.



**Abb 7:** Linsenschnitt Goerz Celor (aus KINGSLAKE 1989, S. 101)

Der BERMPHOHL-Katalog listet dieses GOERZ-Objektiv unter dem Handelsnamen „Celor“. Die Bezeichnung „Celor“ ist dem Objektiv von GOERZ erst 1904 gegeben worden. Daraus kann abgeleitet werden, dass das Objektiv der Kamera aus der Zeit vor 1904 stammt und der BERMPHOHL-Katalog (ohne Jahr) aus einem folgenden Jahr.

---

<sup>79</sup> KINGSLAKE 1989, S. 100.

Die Abbildungsleistung eines typgleichen Goerz Doppel Anastigmat Typ B Serie I B Nr.1; D.R.P. 109283 mit Seriennummer 119368 wurde 1968 von DIEHL untersucht. Er bescheinigt dem Prüfmuster: „*Die MÜF* [Modulationsübertragungsfunktion, Maß für Schärfe- und Kontrastleistung des Objektivs] ... zeigt bereits für die großen Öffnungen einen guten Kontrast und nur sehr geringe Zonenfehler“.<sup>80</sup> Im Vergleich mit Doppel-Anastigmat-Objektiven anderer Hersteller aus dieser Zeit hat das Celor die besten Abbildungseigenschaften in Bezug auf Schärfe und Kontrast.<sup>81</sup> Daraus folgt, dass das Objektiv der BERMPOHL-MIETHE Dreifarbenkamera zu den hochwertigsten Objektiven gehört, die zur Zeit der Entstehung der Kamera auf dem Markt waren.

#### *Aufnahmefolge*

Die Verschiebung des Wechselschlittens kann mit der Auslösung eines Objektivverschlusses gekoppelt werden. Der an der rechten Seitenwand des Kameragehäuses angebrachte Arretierungsmechanismus entspricht dem von BERMPOHL 1904 patentierten Typ. Diese Vereinfachung des sukzessiven Aufnahmeprinzips gestattet es, die drei Aufnahmen ohne weitere Justierung an der Kamera innerhalb weniger Sekunden anzufertigen.

---

<sup>80</sup> DIEHL 1968, S. 108.

<sup>81</sup> Ebd. S. 195.

## **4.2 MIETHE-GOERZ-Dreifarbenprojektionsapparat**

Der Apparat beinhaltet drei Projektionssysteme, die nebeneinander auf einer Grundplatte angeordnet sind. Er ist im Deutschen Museum unter der Nummer 66023a inventarisiert. Zur Projektion der drei Diapositive werden diese auf einer gemeinsamen Metallplatte montiert eingesetzt. Laut dem Deutschen Museum wurde der Projektor am 17. Juli 1933 von der Technischen Hochschule Berlin gestiftet.<sup>82</sup> Ein Messingschild auf der Vorderseite trägt die gravierte und schwarz ausgelegte Beschriftung: „*Optische Anstalt C. P. Goerz Berlin Friedenau / Projektionsapparat für Dreifarbenphotographie / Nach Prof. Dr. A. Miethe*“. Das Baujahr des Gerätes ist nicht angegeben. MIETHE stellt seine Konstruktion 1904 vor, so dass die Entstehung in dieses Jahr oder kurz davor zu datieren ist.<sup>83</sup> Die Preisliste der Optischen Anstalt Goerz von 1912 enthält den Projektor noch in einer den Angaben MIETHEs entsprechenden Ausführung.<sup>84</sup>

Zubehör ist eine Schalttafel für die Stromversorgung der ursprünglichen Kohlebogenlampen.

Fotografien des Projektors befinden sich im Bildteil S. 4-6.

### **4.2.1 Beschreibung der Bauelemente**

Der Apparat besteht aus einem Lampenhaus, das die Lichtquellen aufnimmt, einem Kondensorsystem aus Glaslinsen, die die Lichtführung steuern, mit integrierter Kühlkuvette und drei Objektiven mit aufgesetzten Lichtfiltern. Die Länge beträgt 120 cm, die Breite 70 cm und die Gesamthöhe 60 cm. Der Apparat wiegt ca. 80 Kilogramm.

#### *Grundplatte*

Die o. g. Baugruppen sind auf einer Grundplatte aus Gusseisen montiert, deren Umriss der Breite der Baugruppen angepasst ist. Zwischen dem Lampenhaus und den Schienen für die Objektive ist eine Verbreiterung für die Kühlkuvette und die Kondensoren. Jeweils unterhalb des Lampenhauses und unterhalb der Kondensoren ist die Platte mit drei rechteckigen Durchbrüchen versehen, zwischen den Objektivschienen liegen zwei Durchbrüche. Um die Struktur zu stabilisieren sind auf der Unterseite Versteifungsrippen eingeschweißt.<sup>85</sup> Standfüße sind an den beiden hinteren Ecken und vorne mittig angebracht. Sie heben die Oberfläche der Platte um 16,5 cm von der Stellfläche, sind an der Platte direkt angegossen und um sieben cm mit geschwungener Form ausgestellt. In den Füßen sind Dorne aus verchromtem Metall eingeschraubt. Der vordere Dorn ist mit einer Gewindestange von 1,8 cm Durchmesser und einem Stellrad von 11,5 cm Durchmesser versehen, damit lässt sich der Projektor vorne um ca. 6 cm in der Höhe verstellen. Die Dorne laufen in eine Kugel von 1,6 cm Durchmesser aus. Vermutlich waren sie in Platten befestigt, die das Gewicht des Apparates auf den Untergrund verteilen. Solche handtellergroßen Platten zeigt die Abbildung in der

---

<sup>82</sup> Nach Angabe auf der Inventarkarte.

<sup>83</sup> MIETHE 1904 a, S. 57.

<sup>84</sup> Optische Anstalt C. P. GOERZ Aktiengesellschaft Berlin, Preisliste 1912, S. 140.

<sup>85</sup> Die Schweißnähte in den Kehlungen sind deutlich an ihrer leicht welligen Struktur zu erkennen.

Preisliste von GOERZ.<sup>86</sup> Die Grundplatte ist mit einem braunen, leicht glänzenden Lack über dicker grauer Grundierung beschichtet. An der umlaufenden oberen Kante ist mit goldfarbener Bronze eine 2 mm breite Linie gezogen.

#### *Lampenhaus*

Das Lampenhaus für die drei Lichtquellen ist aus gebläutem Eisenblech gefertigt. Es ist 56 cm breit, 34 cm tief und 47 cm hoch. Montiert sind die Bleche mit Flachkopfnieten aus Kupfer und Schrauben mit halbkugelförmigen geschlitzten Köpfen. In die Gehäuserückseite sind drei Türen eingebaut, in die beiden Seitenwände je eine Tür. Diese sind mit je zwei Scharnieren befestigt und mit Schwenkriegeln verschließbar. In den seitlichen Türen sind runde Kontrollfenster für die Lichtquellen von 3,2 cm Durchmesser aus dunkelrotem Glas eingelassen. Die drei Abteilungen des Lampenhauses werden von Blechen getrennt. Diese weisen ebenfalls die runden verglasten Kontrollfenster auf. Die Vorderwände der Lampenhausabteilungen sind innen jeweils mit einer 3mm dicken Platte eines weißen, faserigen mineralischen Materials verkleidet, wahrscheinlich Asbest. Eine kreisrunde Lichtauslassöffnung mit ca. 10 cm Durchmesser liegt vor dem Kondensorsystem, darunter ist ein Belüftungsschlitz von 2 x 12 cm eingearbeitet. Der obere Teil des Lampenhauses verjüngt sich konisch auf eine Fläche von 49,5 x 24 cm. An drei Scharnieren ist der Deckel angelenkt, der sich nicht ganz schließen lässt, sondern durch einen Blechstreifen in leicht geneigter Stellung offen gehalten wird. So wird ausreichende Luftzirkulation zur Kühlung gewährleistet.

#### *Leuchtmittel*

Als Leuchtmittel sind drei Glühlampen mit 8,5 cm durchmessenden Glaskolben eingesetzt. Die Beschriftung des Sockels lautet: „OSRAM Nitra 220V 500W 57.7593 A e 19“. Die Befestigung für die Lampen ist in den Abteilungen gleich: auf einem Bodenblech sind zwei Schienen im Abstand von 7,5 cm genietet. Darin ist die Grundplatte für die Lampenhalterung eingebettet. Sie lässt sich auf einer Weglänge von ca. 10 cm vor und zurück schieben. Die Lampenhalterung ist aus augenscheinlich vernickeltem Metall. Sie trägt jeweils eine Befestigung für die Lampenfassung und den Reflektorspiegel. Darin lässt sich die Lampe axial um ca. 5 cm verschieben; der Spiegel vertikal um ca. 5 cm. Der Reflektorspiegel hat 10 cm Durchmesser, die Verspiegelung sitzt auf der Rückseite. Aus der Lampenfassung ist unten ein Stromkabel mit brauner Textilisolierung geführt. Die Stecker am Kabel aus braunem Kunststoff tragen das VDE Zeichen und den Firmenschriftzug „AEG, SE, 6/250“.

Bei Zugang ans Deutsche Museum 1933 war der Projektor mit Kohlebogenbeleuchtung ausgestattet.<sup>87</sup> Abbildung 8 zeigt eine Kohlebogenlampe, wie sie zur Entstehungszeit des Projektors gebräuchlich war.

---

<sup>86</sup> Optische Anstalt C. P. GOERZ Aktiengesellschaft Berlin, Preisliste 1912, S. 140.

<sup>87</sup> Brief von Prof. ERICH STENGER, Technische Hochschule Berlin, an das Deutsche Museum München vom 13. Juli 1933, Deutsches Museum, Archiv, VA 1871.

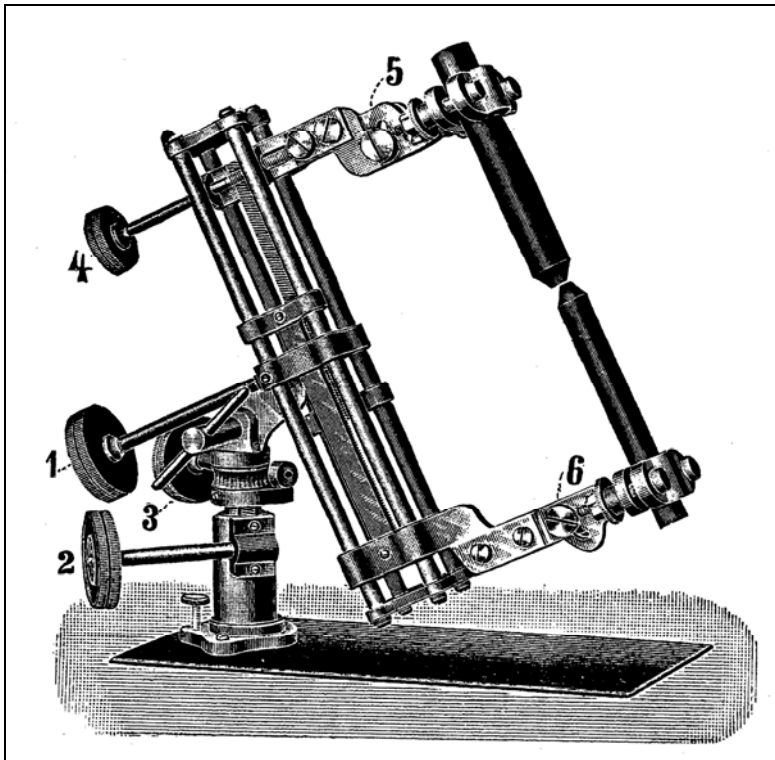


Abb 8: Kohlebogenlampe für Gleichstrombetrieb und Handregulierung (aus HAUBERRISSER 1912, S. 67)

Diese Lichtquellen werden über eine separate Schalttafel an das Stromnetz von 110 Volt Spannung angeschlossen und brennen mit 25 Ampère Stromstärke, als Elektroden, zwischen denen der Lichtbogen brennt, dienen „Siemenskohle 1a“<sup>88</sup>. Der Umbau auf Glühlampenlicht erfolgt vermutlich anlässlich der Eröffnung der neu gestalteten Abteilung Photographie<sup>89</sup> 1939, wo der Projektor für den Vorführbetrieb<sup>90</sup> genutzt wurde. Die Bedienung der originalen Kohlebogen Lichtquellen war wahrscheinlich zu umständlich, denn „Während des Betriebes muss man alle paar Minuten die Kohlestifte nachstellen; der erforderliche Abstand der Kohlen (etwa 3-5 mm) ergibt sich dabei von selbst. Ist der Abstand nämlich zu groß, so flammt die Lampe und brennt unruhig; sind die Kohlen einander zu nahe so zischt sie und es wächst von unten die Spitze in den Krater hinein. [...] Die Helligkeit des Lichtes wird erhöht, indem man die Kurbel des Widerstandes auf weitere Kontaktknöpfe stellt, und andererseits durch Zurückstellen wieder mindert.“<sup>91</sup>

#### Mittlere Baugruppe

Die mittlere Baugruppe des Projektors besteht aus dem Kondensorsystem mit drei Kondensoren, einer Kühlkuvette mit verglasten Fenstern, sowie der Einsteckvorrichtung für die Diarahmen. Ein

<sup>88</sup> Ebd.

<sup>89</sup> Im Mai 1939 wurde die neu gestaltete Abteilung Photographie im Deutschen Museum eröffnet. Anlass war das einhundertjährige Jubiläum der Bekanntgabe der Erfindung der Fotografie durch DAGUERRE in Paris. Professor ERICH STENGER, Leiter des Instituts für angewandte Photochemie an der Technischen Hochschule Berlin, nimmt als Gastkurator auf die Konzeption der Ausstellung wesentlichen Einfluss. Vgl. STENGER 1939 S. 131-156.

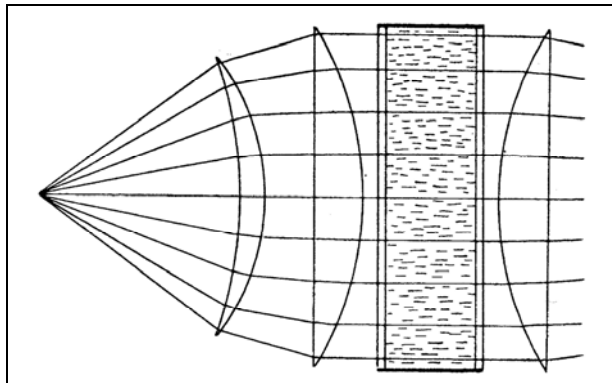
<sup>90</sup> Gezeigt werden neben den obligatorischen drei Farbkreisen rot, grün, blau, mit denen sich durch Überlagerung das Prinzip der additiven Farbmischung darstellen lässt, auch mehrere Dreifarbenbilder. Vgl. CONZELMANN 1941, S. 77.

<sup>91</sup> LETTNER 1905, S. 51.

Gestell aus massiven Metallplatten trägt die Bauteile. Die Oberfläche ist von matt silbriger Farbe mit grau-brauner Nuance. An bis auf den Untergrund abgeriebenen Stellen zeigt sich die charakteristische gelb-braune Farbe oxidiertes Kupferlegierung. Vermutlich handelt es sich um vernickeltes Messing. Zwei 5 mm dicke Metallplatten von 67 cm Breite und 25 cm Höhe werden jeweils von 4 Streben gehalten. Die Platten sind für den Strahlengang durchbrochen. Im Zwischenraum ist die Kühlkuvette eingesetzt. Die Streben sind auf der Grundplatte verschraubt.

In die vorderen Streben ist die Auflagefläche für die Diarahmen eingearbeitet. Vier federnde, mit Kork belegte Klemmen fixieren den Diarahmen. Mit einer schwenkbaren Klappe aus Blech kann das Bild beim Wechsel der Dias verdunkelt werden.

Die Kühlkuvette ist ein Wassertank mit Innenmaß 4,3 cm Tiefe, 53,4 cm Breite und 17 cm Höhe. Daraus ergibt sich ein Volumen von 3,9 Litern. Seine Aufgabe ist es, die Wärmestrahlung der Leuchtmittel zu absorbieren, bevor sie die hitzeempfindlichen Diapositive erreicht. Für den Strahlengang sind beidseitig je drei runde Glasscheiben eingesetzt, die mit grauem Kitt abgedichtet und mit einem verschraubten Metallring gehalten werden. Die Kühlkuvette kann aus der Haltevorrichtung herausgehoben werden. Dazu sind auf den Schmalseiten zwei Handgriffe an den Seitenwänden angebracht. Ein Deckel mit einem ringförmigen Griffstück verschließt die Kuvette. Das Innere des Tanks ist schwarz lackiert, um Lichtreflexe zu verringern. Abbildung 9 zeigt schematisch die Anordnung einer solchen Kühlkuvette im Strahlengang zwischen den Kondensoren. Die Lichtquelle ist auf der linken Seite positioniert. Die Form der Kondensoren entspricht derjenigen im GOERZ-Projektor.



**Abb.9:** Kondensorsystem mit Kühlkuvette im Querschnitt (aus: HAUBERRISSER 1912, S. 25)

Die Kondensoren bestehen aus jeweils drei Linsen pro Projektionssystem.<sup>92</sup> Zwischen die, von der Lichtquelle aus gesehen, zweite und dritte Linse ist die Kühlkuvette eingefügt, die erste und zweite sind von einer Blechhaube ummantelt. Die erste Linse in Meniskusform<sup>93</sup> weist mit der konkaven

<sup>92</sup> Aufgabe dieses Linsensystemes ist, das Projektionslicht so zu bündeln, dass das Diapositiv über seine gesamte Fläche gleichmäßig und annähernd senkrecht durchstrahlt wird. Durch Hinzunahme einer dritten Linse –einfachere Projektionsapparate kommen mit zwei Kondensoren aus – wird die Brennweite des optischen Systems verkürzt. Dadurch kann die Lichtquelle näher an der ersten Kondensorenlinse positioniert werden, was Streulicht verringert. Nach MIETHE 1919 S. 370.

<sup>93</sup> Eine meniskusförmige Linse ist eine im Querschnitt sichelförmige vergrößernde Linse.



Seite zur Lichtquelle, die zweite und dritte Linse sind plankonvex. Gefasst ist die dritte Linse von einem schwarzen Metallring, dessen Rand mit 24 Einkehlungen profiliert ist. Der Durchmesser der zweiten und dritten Linsen beträgt 14,5 cm.

### *Objektive*

Das vordere Drittel der Grundplatte des Apparates bildet die Aufnahme für die drei Projektionsobjektive. Auf drei schwalbenschwanzförmig profilierten Schienen aus Gusseisen von 37 cm Länge sind die Objektivhalterungen verschiebbar gelagert. Es ergibt sich ein axialer Verstellweg von ca. 20 cm. Es kann auf verschiedene Projektionsdistanzen fokussiert werden oder es lassen sich Objektive anderer Brennweite verwenden. Der Abstand der Objektivachsen beträgt 18,5 cm. Zur präzisen Einstellung der Bildschärfe ist ein zusätzlicher Verstellmechanismus integriert. Mit einem Drehknopf kann jede Objektivhalterung einzeln über einen Weg von 9 cm in Millimeterbruchteilen verschoben werden. In der Höhe können die Objektive mit einem Feintrieb um je 1,5 cm verschoben werden, die beiden äußeren Objektive sind mit einer Vorrichtung zur Verschiebung nach links und rechts um insgesamt 2,4 cm versehen. Die Überlagerung der projizierten Bilder auf der Leinwand kann damit sehr genau nachreguliert werden.

Auf den drei Objektiven ist der Schriftzug „Special-Objectiv / für / Dreifarbenprojektion / C. P. GOERZ BERLIN / F= 300 mm 1:7“ eingraviert, gefolgt von der Seriennummer 142904 für das linke, 142905 für das mittlere und 142906 für das rechte Objektiv. An der Rückseite jedes Objektivs ist ein trichterförmiger Blendschirm von 17 cm Durchmesser aus schwarz lackiertem Blech, der Streulicht abhält, aufgesteckt. Gefasst sind die Objektive in einem Rohr aus schwarz lackiertem Messing mit 5 cm Durchmesser einem Millimeter Wandstärke. Die Innenfläche ist mit einer mattschwarzen, rauen Beschichtung versehen, um Streulicht zu verringern. In der ringförmigen Halterung ist der Tubus mit einem aufgelöteten Gewinding verschraubt. Das Linsensystem besteht aus vier Linsen in zwei symmetrischen Gliedern von 4,2 cm Durchmesser. Diese sind in einer Messingfassung von 5 cm Durchmesser eingekittet und damit in den Tubus geschraubt. Die Außenseiten der Glieder sind konvex, die Innenseiten konkav gewölbt. Offensichtlich handelt es sich bei den Gliedern um zwei verkittete Linsen. Beide Glieder sind im Durchmesser gleich, die Krümmungsradien der Linsen augenscheinlich ebenfalls. Der Abstand der inneren Linsenflächen zueinander beträgt ca. 65 mm.

### *Lichtfilter*

Die Lichtfilter sind in einer Fassung aus schwarz lackiertem Messing auf die Objektive vorne aufgesteckt. In Projektionsrichtung sind der Rotfilter links, der Grünfilter in der Mitte und der Blaufilter rechts angeordnet. Rot- und Grünfilter sind als Gelatine-Glasfilter ausgeführt. Die gefärbte Gelatineschicht ist zwischen zwei Glasscheiben verkittet. Der Blaufilter ist ein in der Masse gefärbtes Glas. Diagramm 3 zeigt die ermittelten Transmissionseigenschaften der Filter.

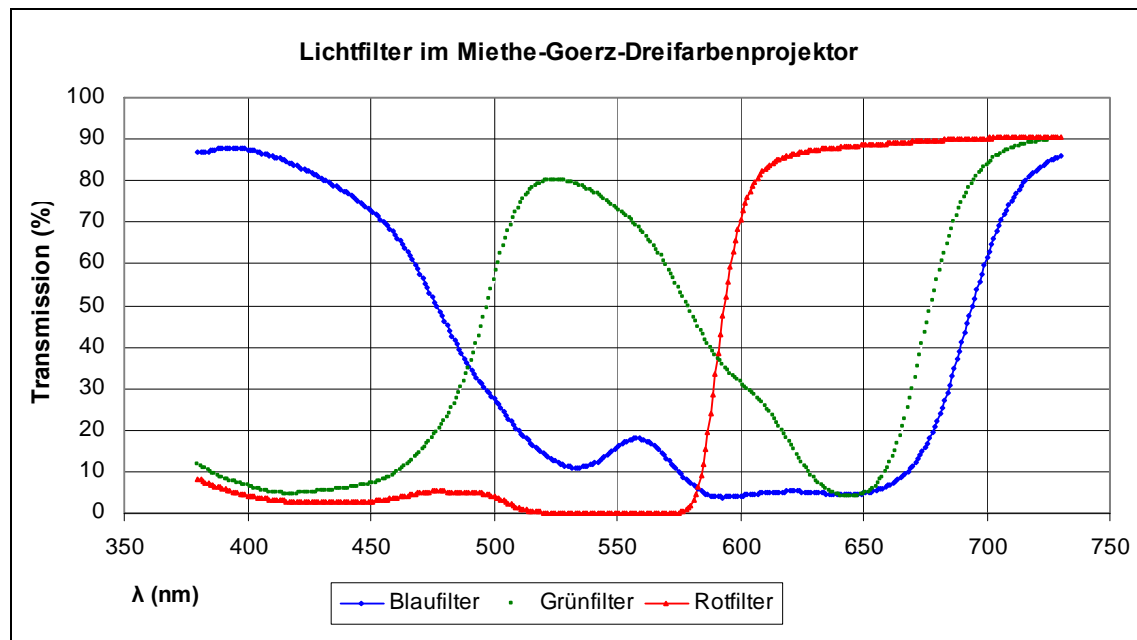


Diagramm 3

Der blaue Farbglasfilter weist eine schwach gesättigte, blasse Farbe auf, was sich im Diagramm durch die hohe und breitbandige Transmission zeigt. Der Überlappungsbereich mit dem Grünfilter ist ausgeprägt. Es handelt sich bei diesem für die Belange der Dreifarbenprojektion daher nicht optimalen Filter vermutlich um eine spätere Ergänzung. Die hohe und breitbandige Transmission des Grünfilters führt zu einer Überlappung sowohl mit der des Blau- wie mit der des Rotfilters.

#### 4.2.2 Bewertung der Konstruktionsmerkmale

In den wesentlichen Bauelementen als massive Metallkonstruktion ausgeführt, ist der Hochleistungsprojektor ein sorgfältig konstruiertes Präzisionsgerät für Vorführungen in Hörsälen oder ähnlich großen Räumen. Das ursprüngliche Beleuchtungssystem mit Kohlebogenlampen, die mit jeweils bis zu 35 Ampère Stromstärke betrieben werden konnten, erzeugt eine hohe Lichtleistung. Der aufwendige Kondensator sorgt zusätzlich für effiziente Lichtausbeute. So lassen sich Leinwände von bis zu 20 Quadratmeter Größe ausleuchten.<sup>94</sup> Durch die in das Kondensatorsystem integrierte Kühlkuvette werden die Diapositive vor zu starker Erwärmung geschützt. Dieser verglaste Wassertank reduziert die von der Lichtquelle ausgehende Wärmestrahlung.<sup>95</sup> Auf die Gefährdung der Objektivie durch Erwärmung weist HAUBERRISSER hin. Bei verkitteten Linsen könne das hierfür verwendete Kanadabalsam schmelzen und die Linsen

<sup>94</sup> Optische Anstalt C. P. GOERZ Aktiengesellschaft Berlin, Preisliste 1912, S. 140 f.

<sup>95</sup> Bei Vollastbetrieb der Kohlebogenlampen kann die Leistungsaufnahme des Gerätes bis zu 4700 Watt betragen (3 x 35 Ampère Stromstärke x 45 Volt Betriebsspannung) Nach HASSACK 1907 S. 39 beträgt die übliche Betriebsspannung für Kohlebogenlicht 45 Volt. Da die Wirkungsweise der Schalttafel und der Grad des Spannungsabfalls an den darin enthaltenen Vorwiderständen nicht ermittelt werden konnten, stellt diese Rechnung einen Anhaltswert für die maximale Leistungsaufnahme dar.

springen.<sup>96</sup> Um auch die Projektionsfilter vor Erwärmung zu schützen, sind sie weit entfernt von der Lichtquelle auf die Objektive montiert. MIETHE spricht den Filtermedien eine Betriebsdauer von etwa 100 Stunden zu, bevor sie zu erneuern seien.<sup>97</sup> Für einen reibungslosen Projektionsbetrieb sorgt die Montage der drei Diapositive auf einer gemeinsamen Metallplatte. So lässt sich die deckungsgleiche Überlagerung der Teilbilder von vornherein festlegen und der Bildwechsel kann mit einem Handgriff erfolgen.

Die aufwendige Bauweise schlägt sich im Verkaufspreis nieder, der vom Hersteller im Jahr 1912 mit 4000 Mark (inklusive 50 Diapositivrahmen) angegeben war.<sup>98</sup>

---

<sup>96</sup> HAUBERRISSER 1912, S. 39.

<sup>97</sup> MIETHE 1904, S. 59.

<sup>98</sup> Optische Anstalt C. P. GOERZ Aktiengesellschaft Berlin, Preisliste 1912, S. 140

### **4.3 Glasplattendiapositive von ADOLF MIETHE**

Der Bestand an Dreifarben-Glasdiapositiven mit der Inv. Nr. 66023c umfasst 34 Bildern, die sich aus je drei Farbauszügen zusammensetzen. Zwei der Bilder stammen nicht von MIETHE, sondern wurden im Deutschen Museum angefertigt. 1934 werden vier Serien mit insgesamt 35 Bildern von Prof. STENGER, Technische Hochschule Berlin, dem Deutschen Museum übereignet. Demnach sind drei von MIETHEs Bildern nicht mehr erhalten.

Je drei Teilbilder sind in Aluminiumplatten montiert und für die Vorführung mit dem GOERZ-Projektor vorgesehen. Aufbewahrt sind die Bilder in einer Holzkiste, die auch noch vier Aluminiumplatten ohne Bilder enthält. Den Bildern wurden Nummern zugewiesen, die der Reihenfolge in der Kiste von links nach rechts entsprechen.

Im Bildteil der Arbeit sind ein Diarahmen und von allen Diapositiven jeweils der Grünauszug gezeigt..

#### **4.3.1 Beschaffenheit**

Die Diarahmen aus Aluminiumblech sind 52 cm lang, 12 cm hoch und 0,2 cm dick. Am oberen Rand sind zwei Ösen aus verchromtem Draht als Griffe angebracht. Drei rechteckige Öffnungen von 8,4 cm Breite und 7,4 cm Höhe mit gerundeten Ecken sind eingestanz. Vor den Öffnungen sind die Glasplattendias mit je vier verschraubten Klemmhalterungen aus Metall befestigt. Die Schichtseite der Glasplatten liegt auf dem Rahmen auf. Hält man die Rahmen mit der Seite, auf der die Dias montiert sind, zum Betrachter und den beiden Ösen nach unten, so sind die Farbauszüge in der Reihenfolge Rot links, Grün mittig und Blau rechts angeordnet. In den Projektor werden die Rahmen mit den Ösen nach oben und der Seite, auf der die Dias montiert sind, in Richtung der Objektiv eingesetzt.

Das Format der Glasplatten beträgt 8 x 9 cm im Querformat. Die Bildschicht ist aus Gelatine, der Bildton aller Dias ist neutralgrau. Bis auf zwei Bilder (sechs Glasplatten) sind alle Diapositive auf der Schichtseite mit einem transparenten Lack überzogen. Diese sechs Platten weisen einen leichten Silberspiegel auf, die restlichen sind ohne ersichtliche Veränderung erhalten. Anhand der horizontalen Kanten lässt sich erkennen, dass je drei Teilbilder aus einer Platte im Format 9 x 24 cm geschnitten wurden. Hergestellt werden die Dias demnach durch Kopieren im Kontakt vom gleich großen Negativ. Nach der Entwicklung wird die längliche Platte in drei Teile getrennt.

Die Aufbewahrungskiste aus dunkelbraun gebeiztem Weichholz ist 79,3 cm breit, 57,6 cm tief und 18,4 cm hoch. Der Klappdeckel kann mit zwei Haken verriegelt und mit einem Schloss versperrt werden. An den Schmalseiten sind eiserne Tragegriffe montiert. Aufgenagelte dreieckige Stücke aus braunem Filz polstern die Ecken der Standfläche und der Oberseite. In die Längswände der Kiste sind 51 Schlitz eingearbeitet, in die die Diarahmen eingesteckt sind. Die Reihenfolge, in der die Bilder in der Kiste angeordnet sind, nimmt keinen Bezug auf die Motive.

### 4.3.2 Motive und Entstehungszusammenhang

Die Bilder aus verschiedenen Entstehungszusammenhängen zeigen größtenteils Landschaftsmotive, auf vier Fotografien sind Menschen zu sehen (Nr. 34: Dame in Sommerwiese; Nr. 40: Dame mit Sonnenschirm; Nr. 43 Landvermesser vor skandinavischer Landschaft; Nr. 49: zwei Herren neben Holzkonstruktion). STENGER, der die Bilder 1934 zusammenstellte, gliederte und benannte die vier Serien – mit Angabe der Anzahl der jeweiligen Bilder – folgendermaßen:<sup>99</sup>

<i>Deutsche Landschaften</i>	10
<i>Alpen</i>	4
Norwegen	15
Ägypten	6

MIETHES Tätigkeit als Wissenschaftler an der Technischen Hochschule Berlin ermöglichte ihm auch die Teilnahme an Forschungsreisen, wobei die Bilder der Ägypten-Serie und einige der Norwegen-Serie entstanden. Anhand des von ihm in mehreren Publikationen veröffentlichten Bildmaterials lässt sich die Entstehung von einigen Aufnahmen aus den Serien „Ägypten“ und „Norwegen“ zeitlich und räumlich einordnen.

Der 1922 in zweiter Auflage (Erstauflage 1909) von MIETHE veröffentlichte Reisebericht *Unter der Sonne Oberägyptens / neben den Pfaden der Wissenschaft* ist mit 44 Farbfotografien und 133 SW-Aufnahmen illustriert. Die Farbfotografien nach dem Dreifarbenverfahren sind jeweils auf einer Seite im Format 7,7 x 10,6 cm gedruckt, wobei die Schwarzweiß-Teilbilder als Vorlage für den Mehrfarbdruck dienten. Soweit dem Inhalt des Buches zu entnehmen ist, wurden die Bilder auf einer Forschungsreise mehrerer deutscher Wissenschaftler im Jahr 1908 aufgenommen. Sie führte von Kairo über Assuan, Luxor, Theben bis an die Grenze zu Nubien. Zweck der Reise waren physikalische, photochemische und meteorologische Forschungen.

Zwei der Motive aus der Ägypten-Serie sind in der o. g. Publikation abgebildet: Nr. 9 (S. 121) ist unternitelt mit *Felswand in der Sahara* und Nr. 41 (S. 165) mit *Im Tal der Königsgräber*. Bild Nr. 37 lässt sich der Tempelanlage von Luxor zuordnen, anhand eines SW-Bildes des gleichen Bauwerks aus anderem Blickwinkel (S. 144).

Den Bildband *Das Land der Pharaonen. Ägypten von Kairo bis Assuan. 24 Pastellbilder mit kurzen Geleitworten in Anlehnung an die Dreifarbenaufnahmen nach der Natur* veröffentlicht MIETHE 1925, zwei Jahre vor seinem Tod. Die von MIETHE selbst gemalten Pastelle sind – wie der Titel vermerkt – anhand von Dreifarbenbildern entstanden. Das Bild Nr. 39 aus dem Bestand des Deutschen Museums ist die Vorlage für das Pastell auf Tafel 11 mit dem Titel „Tempelwand in Medinet Habu“. MIETHES Bildunterschrift zu diesem Motiv lautet: „*Unser Bild soll eine Anschauung eines besser erhaltenen Wandgemäldes in einem Ägyptischen Tempel geben. Es*

---

<sup>99</sup> Brief von Prof. ERICH STENGER, Technische Hochschule Berlin Charlottenburg, Photochemisches Laboratorium, an das Deutsche Museum München vom 27. Januar 1934, Deutsches Museum, Archiv, VA 1871.

*stammt aus dem Tempel Ramses III. in Medinet Habu. Die Malereien, die hier stellenweise sehr gut erhalten sind, sind auf ursprünglich fein geglätteten Stuckwänden mit Kalk- und Wasserfarbe ausgeführt.“*

Die Serie „Norwegen“ entstand während mehrerer Reisen MIETHES nach Skandinavien. Bild Nr. 05, das ein Bergmassiv mit Gletscher zeigt, ist in Farbe in dem 1925 von MIETHE herausgegebenen Reisebericht *Spitzbergen, das Alpenland im Eismeer. Sommerfahrten und Wanderungen von A. Miethe* abgedruckt.<sup>100</sup> Das Buch ist mit 17 weiteren Farbaufnahmen und 64 Schwarzweissfotografien illustriert. Titel des Bildes ist *Aussicht vom Gräberplatz, Magdalenenbucht*; die Magdalenenbucht liegt an der Nordwestküste Spitzbergens. Zum Motiv äußert sich MIETHE: *„Wie könnte ich diese einfachen Schilderungen des Alpenlandes im Eismeer schöner schließen als mit der Beschreibung der kleinen Halbinsel im Grunde der Magdalenenbucht, die unsere Karte als Gräberplatz bezeichnet. Sie ist der Glanzpunkt Spitzbergens, das schönste, stimmungsvollste und ergreifendste Stück auf jener fernen Inselgruppe nahe dem Pol.“*<sup>101</sup>

MIETHE nimmt dieses Bild während einer achtwöchigen wissenschaftlichen Expedition im Sommer 1910 auf. Ziel der Expedition ist, neben verschiedenen landschafts- und naturkundlichen Studien, die Bedingungen für die Luftschiffahrt in der Arktis zu prüfen. Prinz Heinrich von Preußen übernimmt die Schirmherrschaft. Ferdinand Graf von Zeppelin leitet die Untersuchungen zur Vorbereitung der geplanten Flüge mit dem Zeppelin-Luftschiff in der Arktis. Der in Buchform veröffentlichte Bericht<sup>102</sup> mehrerer Teilnehmer ist neben etlichen SW Fotografien mit 32 Dreifarbenaufnahmen Miethes bebildert. Motive sind die Gebirgs- und Gletscherlandschaft Spitzbergens. Das Bild aus der Magdalenenbucht ist ebenfalls enthalten, allerdings schwarzweiß. Der Untertitel lautet *„Eckpfeiler des Gebirgsmassivs im Waggonway-Gletscher“*.<sup>103</sup>

---

<sup>100</sup> MIETHE 1925 b, S. 171.

<sup>101</sup> Ebd. S. 170 f.

<sup>102</sup> MIETHE 1911.

<sup>103</sup> Ebd. S. 207.

## **5 Wiedergabe von Dreifarbendiapositiven auf analogem Weg: Studien zur Rekonstruktion der Dreifarbenprojektion**

### **5.1 Ausgangssituation**

Die Dreifarbenprojektion ist die originale Präsentationstechnik der Diapositive von MIETHE. Sie ist Bestandteil des Verfahrens und daher von technikgeschichtlicher Bedeutung. Die Projektion der erhaltenen Bilder mit dem dazugehörigen Projektor scheidet allerdings aus Gründen der Bestandserhaltung aus. Erwärmung im Projektor belastet die Bildschicht der Diapositive. Um den Goerz-Projektor in Betrieb nehmen zu können, wären umfangreiche Veränderungen am Beleuchtungssystem erforderlich.

Mit einer Rekonstruktion der Dreifarbenprojektion ergibt sich die Möglichkeit, die Bilder in der ursprünglichen Wiedergabeform zu zeigen. Eine Anwendung wäre im Rahmen einer Ausstellung gegeben. Das Deutsche Museum plant die Wiedereröffnung der Ausstellung des Sammlungsbereiches Fotografie und Film für das Jahr 2007. Von der Sammlungsleiterin, Dr. Kemp, wurde Interesse an einer Installation zur Dreifarbenprojektion der Bilder von MIETHE geäußert. Damit kann das Prinzip der indirekten Farbfotografie und der additiven Farbmischung demonstriert werden.

Eine modellhafte Projektionseinrichtung erfordert die Reproduktion der Diapositive, die Auswahl geeigneter Farbfilter und die Einrichtung der Projektionstechnik. Methoden und Ergebnisse, die im folgenden Kapitel vorgestellt werden, sollen zur Konkretisierung der Planung einer solchen Installation dienen.

### **5.2 Reproduktion der Teilbilder**

Im folgenden Kapitel werden Verfahren beschrieben und diskutiert, die angewendet werden können, um von den originalen Glasplattendiaapositiven projizierbare Reproduktionen anzufertigen. Die Verfahren wurden exemplarisch durchgeführt, die Ergebnisse werden vorgestellt. In der Fototechnik wird als Reproduktion eine Kopie bezeichnet, die dem Original so weit wie möglich ähnlich ist. Der Herstellungsprozess und die Abmessungen können allerdings vom Original abweichen. Eine Verkleinerung des Formats ist bei der Reproduktion der Teilbilder unumgänglich. Das Format der originalen Diapositive beträgt 8 x 9 cm, wodurch eine Wiedergabe mit moderner, verfügbarer Projektionstechnik kaum möglich ist. Moderne Standardformate für Diaprojektion sind Kleinbild und Mittelformat 6 x 6 cm. Reproduktionen im Format 6 x 6 cm könnten Schärfe und Detailreichtum der Originale adäquat wiedergeben. Da für die Testreihen Kleinbildprojektoren zur Verfügung stehen und um den finanziellen Aufwand für die durchgeführten Reproduktionsversuche zu begrenzen, werden Kleinbilddiapositive angefertigt. Der Schwerpunkt

der Rekonstruktion liegt auf der Farbwiedergabe, deshalb wird der Qualitätsverlust bei Schärfe und Detailreichtum, der mit der Formatverkleinerung einhergeht, in Kauf genommen.

## **5.2.1 Anforderung an das Verfahren**

### *Allgemeine Anforderungen*

Das Verfahren soll die Bildinformationen möglichst originalgetreu übertragen. Wesentliche Parameter sind hierbei Schärfe oder Detailreichtum und Tonwertwiedergabe.

Um den Kopierverlust an Schärfe gering zu halten, erfordert die Erstellung von Reproduktionen im konventionellen fotografischen Prozess daher die Verwendung von feinkörnigem Filmmaterial mit hohem Auflösungsvermögen. Da einige Schwarzweißfilme, die in der Literatur zur Verwendung empfohlen werden, in den letzten Jahren vom Markt genommen wurden, stellte sich auch die Frage, welche der derzeit noch erhältlichen Produkte für diese Anwendung in Frage kommen und ob sie die Anforderungen an den Reproduktionsprozess erfüllen. Zur Aufnahme der Bilder ist ein Makro-Objektiv erforderlich.<sup>104</sup>

Sollen die Reproduktionen über den Zwischenschritt der Digitalisierung angefertigt werden, können die Diapositive gescannt und über einen Laser-Ausbelichter auf Diamaterial ausgegeben werden. Hier sind die Auflösung des Scanners und des Ausbelichtungsgerätes maßgeblich. Übliche Ausbelichtungsgeräte können ein Kleinbilddia mit 2732 x 4096 Bildpunkten erzeugen, was einem Pixelmaß von 11 Megapixeln entspricht. Diese Auflösung muss von den Scans mindestens erreicht werden. Um eine korrekte Tonwertwiedergabe zu gewährleisten, wird der Scanner kalibriert.

### *Kontrolle der Tonwertwiedergabe*

Tonwertumfang und Kontrast der Vorlage müssen in der Reproduktion unverändert wiedergegeben werden. Ziel ist eine lineare Tonwertübertragung, das heißt, die „Helligkeit“ einer Bildstelle der Vorlage muss in der Reproduktion den gleichen Wert aufweisen. Maß für die „Helligkeit“ oder den Tonwert einer Stelle im Diapositiv ist die optische Dichte. Sie errechnet sich aus dem Verhältnis von durchgelassenem Licht zu einstrahlendem Licht. DIN 4512<sup>105</sup> definiert den Transmissionsfaktor T als Quotient aus durchgelassenem Strahlungsfluß und dem Meßflächenfluß:  $T = (\text{durchgelassener Fluß}) \times (\text{Meßflächenfluß})^{-1}$ . Die meßflächenbezogene optische Dichte ist der Logarithmus zur Basis 10 des Kehrwerts des Transmissionsfaktors:<sup>106</sup>  $D_T = \lg T^{-1}$ .

Die Tonwertübertragungscharakteristik eines Reproduktionsverfahrens kann anhand einer standardisierten Vorlage überprüft werden. Dazu dient ein transparenter Stufengraukeil. Er ist ein streifenförmiges Stück Film mit einer Abfolge von Graustufen definierter optischer Dichte.

---

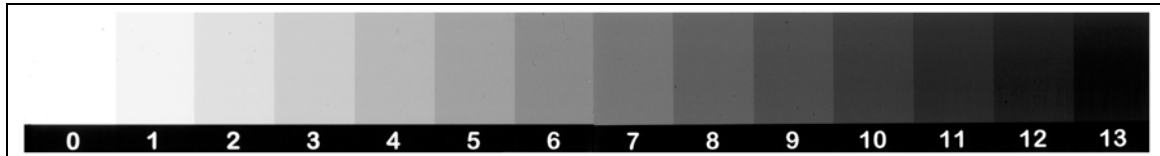
<sup>104</sup> Konventionelle Objektive haben im Nahbereich meist Abbildungsfehler, die in Verzeichnung oder mangelnder Schärfe in den Bildecken resultieren.

<sup>105</sup> DIN 4512 Photographische Sensitometrie, Bestimmung der optischen Dichte. Teil 8: Geometrische Bedingungen für Messungen bei Transmission (1993).

<sup>106</sup> Der Dichtebereich moderner Diafilme reicht beispielsweise von ca. 0,15 („Weiß“) bis 3,3 („Schwarz“).



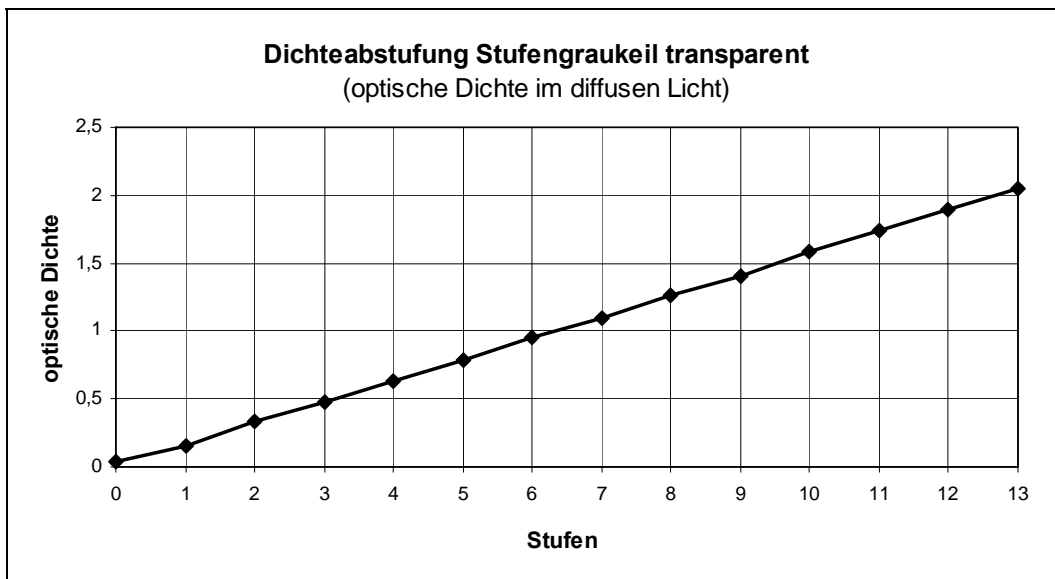
Abbildung 10 zeigt einen Stufengraukeil mit einem Dichteumfang von 0,04 bis 2,05. Die Felder haben eine Abstufung von ca. 0,15 Dichtewerten.<sup>107</sup> Die Abmessung beträgt 1,3 cm x 10 cm.



Dichteabstufungen der Felder des Stufengraukeils														
Stufe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
opt. Dichte	0,04	0,16	0,33	0,48	0,63	0,79	0,95	1,1	1,26	1,41	1,58	1,74	1,89	2,05

**Abb. 10:** Stufengraukeil

Diagramm 4 zeigt die lineare Abstufung der optischen Dichte der Felder des Stufengraukeils. Ermittelt wird die Abstufung durch Messung mit einem Densitometer. Verwendet wird das Gerät „X-Rite 310“. Die Reproduktion des Stufengraukeils wird ebenfalls mit dem Densitometer gemessen. Aus dem Vergleich der Wiedergabe des Stufengraukeils mit dem Original kann die Tonwertübertragung in der Reproduktion beurteilt werden.



**Diagramm 4**

<sup>107</sup> Bedingt durch den Herstellungsprozess weicht die tatsächliche Dichteabstufung vom Nennwert um bis zu 0,02 ab.

## 5.2.2 Mögliche Verfahren

### *Einstufige analoge Reproduktion*

Zur analogen Reproduktion wird die Vorlage abfotografiert. Im einstufigen Verfahren wird Diafilm bzw. Umkehrfilm verwendet. Da nur ein Umkopierprozess erforderlich ist, um wieder ein Positiv zu erhalten, bleiben Kopierverluste gering. Grundsätzlich können sowohl Farbdia- wie Schwarzweißdiafilm verwendet werden. Allerdings haben beide Materialien bei Standardverarbeitung einen hohen Kontrast. Dadurch ergibt sich in der Reproduktion eine Verfälschung der Tonwertwiedergabe. Durch einen angepassten Entwicklungsprozess kann bei Schwarzweißmaterial die Kontrastwiedergabe in gewissen Grenzen manipuliert werden. Von Standardprozessen abweichende Entwicklung erfordert die Selbstverarbeitung. Der Entwicklungsprozess ist „in Folge einer Vielzahl von Arbeitsschritten und der Verwendung kritischer sowie leicht oxidierender Chemikalien“<sup>108</sup> aufwändig und erfordert Erfahrung in der Fotolaborarbeit. Problematisch zu sehen ist, dass die so erzeugten Reproduktionen Unikate sind. Für eine erneute Reproduktion müssen jeweils die Originale als Vorlage benutzt werden.

### *Zweistufige analoge Reproduktion*

Für die zweistufige Reproduktion wird die Vorlage auf Negativfilm umkopiert, so dass ein Zwischennegativ entsteht. Davon wird wiederum ein Negativ erzeugt, das die positive Reproduktion ergibt.

Um in der Reproduktion eine weitgehend tonwertgleiche Wiedergabe des Originals zu erhalten, wird der Kontrast von Zwischennegativ und Repro-Positiv aufeinander abgestimmt. Im Vergleich zum einstufigen Verfahren lässt sich diese Steuerung leichter durchführen. Die Kopierverluste an Schärfe und Feinkörnigkeit sind größer als beim einstufigen Prozess, da jeder Umkopiervorgang eine Qualitätsminderung verursacht. Dem kann durch die Wahl eines möglichst großen Filmformates für das Zwischennegativ entgegengewirkt werden. Für hochwertige Reproduktionen großformatiger Glasplatten wird das Umkopieren daher im Kontakt-Verfahren durchgeführt.<sup>109</sup> Vorteil des zweistufigen Verfahrens ist, dass die Originale nur einmal, für die Anfertigung der Zwischennegative, herangezogen werden müssen. Weitere Reproduktionen können jeweils von den Zwischennegativen gemacht werden. Hochwertige Zwischennegative stellen eine „Sicherheitskopie“ des Originals dar.

### *digitale Reproduktion*

Für die digitale Reproduktion wird die Vorlage eingescannt. Die analoge Vorlage wird in einen digitalen Datensatz umgewandelt. Mit einem Ausbelichtungsgerät können dann davon Diapositive angefertigt werden. Vorteil des Verfahrens ist, dass eine korrekte Tonwertwiedergabe über standardisierte Einstellungen und kalibrierte Geräte prinzipiell leichter erzielbar ist als im analogen Prozess. Anpassungen der Wiedergabecharakteristik können über Bildbearbeitungsprogramme

---

<sup>108</sup> Vgl. STEIGERWALD 1995, S. 16.

<sup>109</sup> Für eine Kontaktkopie wird die Vorlage direkt auf den Film gelegt. Vgl. STEIGERWALD 1995, S. 16.

durchgeführt werden. Störende Schäden der Vorlage, wie Brüche oder Sprünge in der Glasplatte, lassen sich über „digitale Retusche“ mindern.

### 5.2.3 Zur Technologie des Reproduktionsverfahrens mit Schwarzweißmaterial

Bei der analogen Reproduktion sind zwei Eigenschaften des Filmmaterials für eine korrekte Tonwertübertragung von Bedeutung: Die nichtlineare Wiedergabecharakteristik, die allgemein ein Merkmal von Schwarzweißfilm ist, und der Kontrast oder die Gradation des Materials. Diese Eigenschaften sollen im Folgenden erläutert werden.

Lineare Tonwertwiedergabe würde bedeuten, dass relative Dichteabstufungen der Vorlage in der Reproduktion ebenso wiedergegeben werden. Die lineare Dichteabstufung eines Graukeils müsste in der Reproduktion zu einer ebenso linear abgestuften Schwärzung führen. Würde man die Dichtewerte des reproduzierten Graukeils in ein Diagramm eintragen, könnten sich die Messwerte mit einer geraden Linie verbinden lassen.

Die Umsetzung erfolgt jedoch nichtlinear. Stellt man das Verhältnis von Belichtung des Films zu resultierender Schwärzung des Films in einem Diagramm dar, ergibt sich ein kurvenförmiger Verlauf des Graphen, er wird als Schwärzungskurve<sup>110</sup> bezeichnet. Die Schwärzungskurve ist eine charakteristische Eigenschaft, in der sich Filmmaterialien unterscheiden. Diagramm 5 zeigt beispielhaft eine Schwärzungskurve.

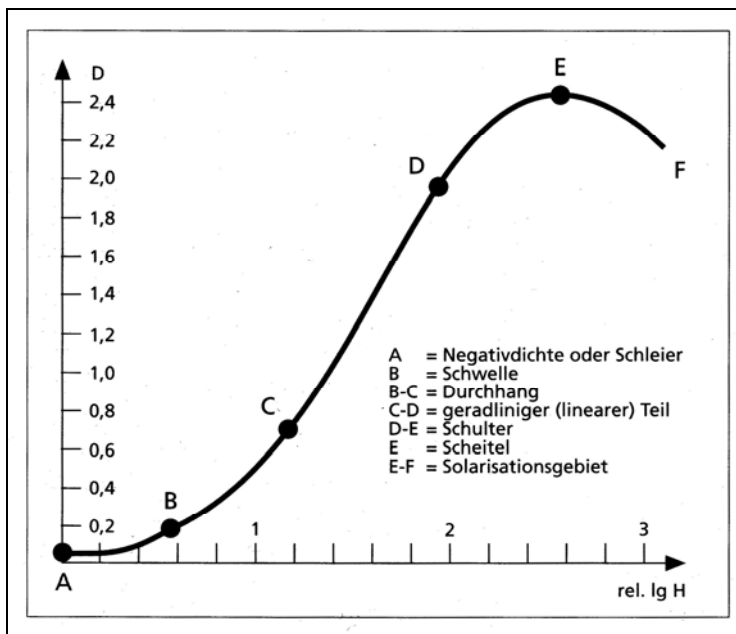


Diagramm 5: Schwärzungskurve eines Aufnahmematerials (aus: Marchesi II 1995, S. 23)

Auf der x-Achse des Diagramms wird die Belichtung H des Materials logarithmisch skaliert angetragen. Sie ist das Produkt aus Beleuchtungsstärke und Belichtungszeit. Die y-Achse zeigt die resultierende Schwärzung des Materials ebenfalls in logarithmischer Skalierung (optische Dichte

<sup>110</sup> Vgl. MARCHESI 1995, S. 21 f.

D). Als für den Reproduktionsprozess relevante Eigenschaften von Schwarzweißmaterial sollen hier nur folgende Punkte angesprochen werden: Der Graph beginnt mit einem nichtlinearem Teil geringerer Steigung (A-C) und geht in einen linearen Teil über (C-D), an den sich wiederum ein nichtlinearer Teil geringerer Steigung anschließt (D-E). Bereiche niedriger Dichte (dunkle Stellen in der Vorlage, Abschnitt A-C im Graphen) und Bereiche hoher Dichte (helle Stellen in der Vorlage, Abschnitt D-E) werden mit niedrigerem Kontrast wiedergegeben als die Mitteltöne.

Ein für die Reproduktion geeignetes Filmmaterial muss daher einen möglichst gering ausgeprägten Durchhang der Schwärzungskurve haben. Der Bereich linearer Wiedergabe muss ausreichend groß sein, um den Dichteumfang der Vorlage erfassen zu können.

Die Steigung des geradlinigen Abschnitts des Graphen ergibt eine Aussage zur Kontrastwiedergabe des Filmes: Je steiler der Verlauf, desto kontrastreicher die Wiedergabe. Maß für die Kontrastwiedergabe ist das Verhältnis eines Dichteintervalls des Negativs zu einem Dichteintervall der Vorlage. Dieses Verhältnis wird in der fotografischen Sensitometrie durch den Gammawert ausgedrückt.<sup>111</sup> Er wird folgendermaßen festgestellt: Man ermittelt die Dichtedifferenz zwischen zwei Punkten im geradlinigen Teil des Graphen. Diese Dichtedifferenz des Negativs wird durch die Dichtedifferenz der korrespondierenden Werte der Vorlage geteilt:  $\gamma = \Delta D \text{ Vorlage} / \Delta D \text{ Wiedergabe}$ . Um in der Wiedergabe den gleichen Kontrast wie in der Vorlage zu erreichen, muss der Gamma-Wert für die Reproduktion 1 sein. Bei der Reproduktion über Zwischennegativ sind zwei Arbeitsschritte erforderlich. Gamma-Wert für Zwischennegativ und davon angefertigtem Positiv müssen daher nicht zwingend jeweils 1 sein. Eine korrekte Übertragung der Tonwertabstufung ist auch gegeben, wenn das Produkt aus dem Gammawert des Zwischennegativs und dem Gammawert des davon angefertigten Positivs 1 ist. Dieses „Zielgamma“ wird beispielsweise erreicht, wenn im Zwischennegativ ein Gamma von 0,8 vorliegt und im Positiv ein Gamma von 1,25. Das Produkt beider Werte ist wiederum 1.

#### **5.2.4 Durchgeführte Testreihen**

Um die verschiedenen möglichen Verfahren auf ihre Eignung zu erproben, wurden Testreihen durchgeführt: analoge Reproduktion auf SW-Dia-Material und über ein Zwischennegativ sowie die digitale Reproduktion. Die digitale Reproduktion erfolgte durch Ausbelichten der gescannten Diapositive auf Kleinbild-Diafilm.

Zur analogen Reproduktion werden die Vorlagen im Durchlicht mit diffuser Beleuchtung (Leuchtpult) abfotografiert. Als Standard dient der erwähnte Stufengraukeil. Aus den Dreifarbenfotografien wurde exemplarisch Bild Nr. 40, „Dame mit Sonnenschirm“, gewählt. Um den zu übertragenden Tonwertumfang zu ermitteln, wird der Grünauszug mit einem Densitometer gemessen. Die Messung ergibt in den hellsten Stellen (Sonnenschirm) einen Wert von 0,29 optischer Dichte und in den dunkelsten Stellen (Schattenpartien) einen Wert von 1,40. Der

---

<sup>111</sup> Vgl. MARCHESI 1995, S. 26.

Dichteumfang  $\Delta D$  ist somit 1,11. Dieser verhältnismäßig geringe Wert resultiert aus dem insgesamt niedrigen Kontrast der Diapositive. Der zu übertragende Tonwertumfang wird festgelegt auf einen Bereich von 0,15 bis 1,5 optischer Dichte, entsprechend einem  $\Delta D$  von 1,35, um Reserve für die Wiedergabe von hellen und dunklen Bildstellen zu haben. Diese Eckpunkte entsprechen etwa den Feldern „1“ und „10“ im Stufengraukeil.

#### Einstufige Reproduktion mit Schwarzweiß-Diafilm

Fotografiert wurde im Kleinbildformat mit einem 105-mm Makro-Objektiv. Als Filmmaterial wird „Fomapan R“ des tschechischen Herstellers FOMA verwendet.<sup>112</sup> Die densitometrische Messung zeigt, dass der Film eine deutlich ausgeprägte nichtlineare Tonwertumsetzung hat.

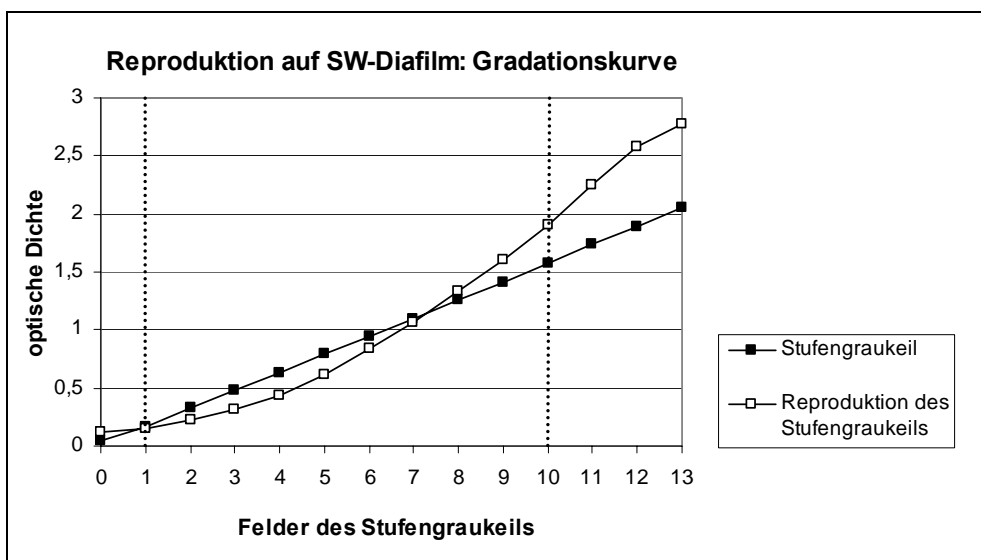


Diagramm 6

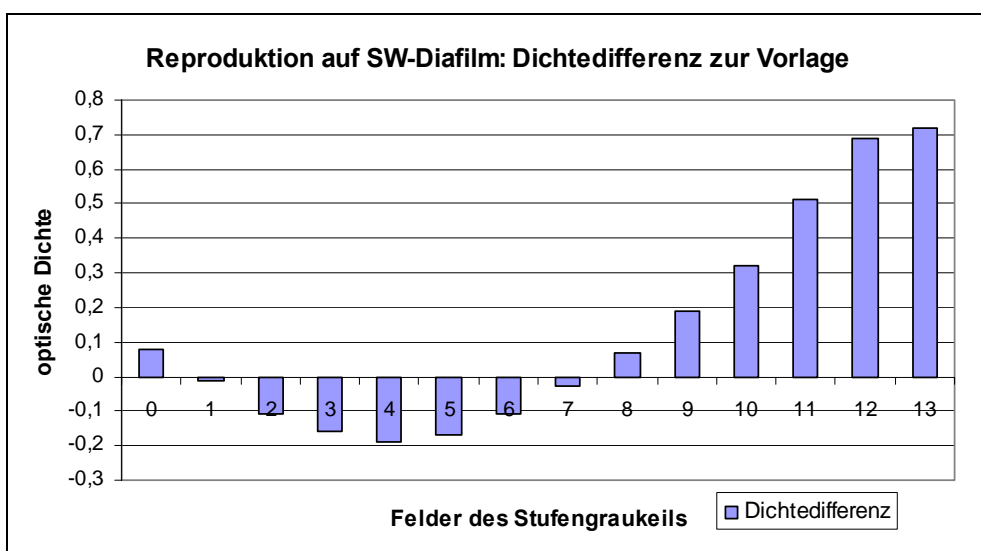


Diagramm 7

<sup>112</sup> Der weiter verbreitete SW-Diafilm „Agfa Scala“ wurde zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit vom Markt genommen.

Diagramm 6 zeigt die Darstellung der optischen Dichte der Felder des Stufengraukeils und, als Vergleich, die der Felder des reproduzierten Stufengraukeils. Die Belichtung wird so abgestimmt, dass im Bereich mittlerer optischer Dichte (Feld 7) die Reproduktion die gleiche Dichte wie die Vorlage hat.

Die Felder „2“ bis „6“ sind in der Reproduktion heller wiedergegeben, im Bereich von Feld „1“ bis Feld „4“ ist der Kontrast der Reproduktion niedriger. Ab Feld „8“ sind die Felder dunkler, der Kontrast steigt zu hohen Dichten stetig an. Der zu übertragende Tonwertumfang der Diapositive (mit gestrichelter Linie markiert) wird daher mit einer deutlichen, aber nicht gravierenden Veränderung wiedergegeben. Das Ausmaß der Abweichung zeigt Diagramm 7. Die Differenz zur Vorlage beträgt im relevanten Bereich maximal 0,3 Dichtewerte.

#### *Zweistufige Reproduktion über Zwischennegativ*

Im ersten Arbeitsgang wurden die Zwischennegative im Format 6 x 6 cm mit einem Makroobjektiv angefertigt. Mittelformat wurde angewendet, um Kopierverluste gering zu halten. Als Filmmaterial wird der Schwarzweißfilm „Fuji Neopan 100 Acros“ gewählt. Anhand der Reproduktion des Stufengraukeils im Abbildungsmaßstab 1:1 wird die Gradation und die Tonwertwiedergabecharakteristik ermittelt. Der Gammawert beträgt 0,7 bei normaler Entwicklung. Der Film zeichnet sich durch einen ausreichend großen Bereich linearer Tonwertwiedergabe aus. Wird die Belichtung so gewählt, dass die dunkelsten Stellen der Vorlage im Film mit einer Dichte von ca. 0,3 wiedergegeben werden, fällt der Dichtumfang der Vorlage in diesen Bereich.

Zur Anfertigung der Reproduktionen der Glasplattendiapositive ist festzuhalten, dass alle drei Teilbilder mit gleicher Belichtungseinstellung fotografiert werden müssen.

Die Repro-Positive wurden im Kleinbild-Format auf Dokumentenfilm „Maco ORT 25c“ angefertigt. Der erforderliche Kontrast, zu dem der Film durch angepasste Entwicklung gebracht wurde, beträgt 1,4. Es ergibt sich dann ein resultierendes Gamma der Reproduktion von 1. Das Ergebnis der Reproduktion des Stufengraukeils zeigt Diagramm 8.

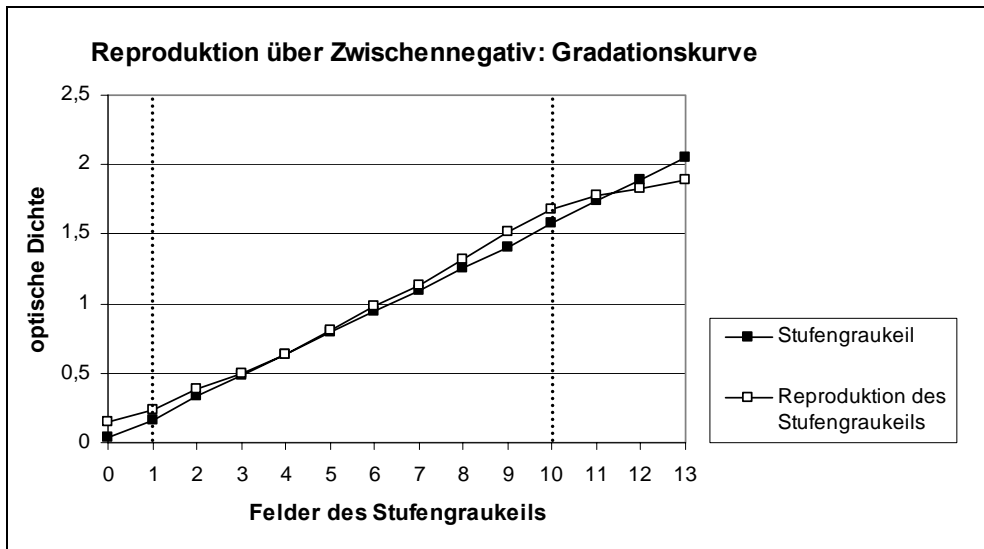


Diagramm 8

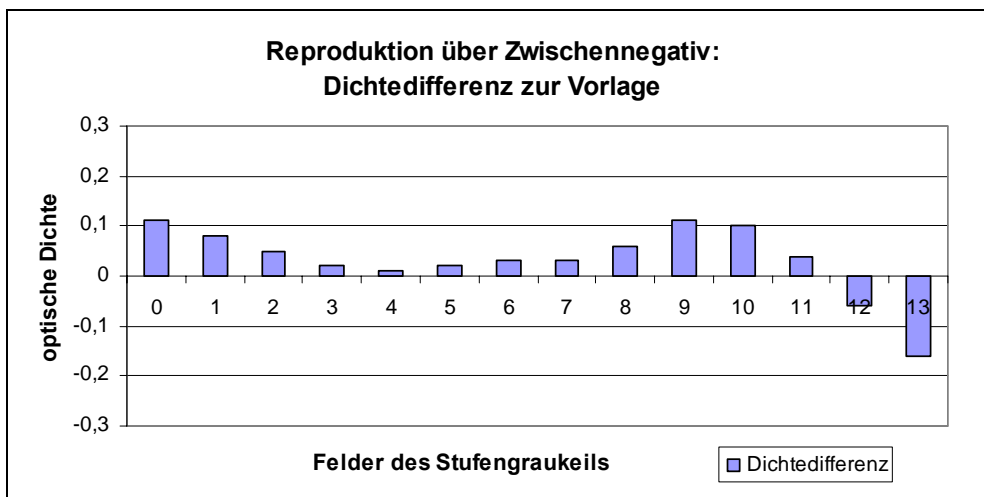


Diagramm 9

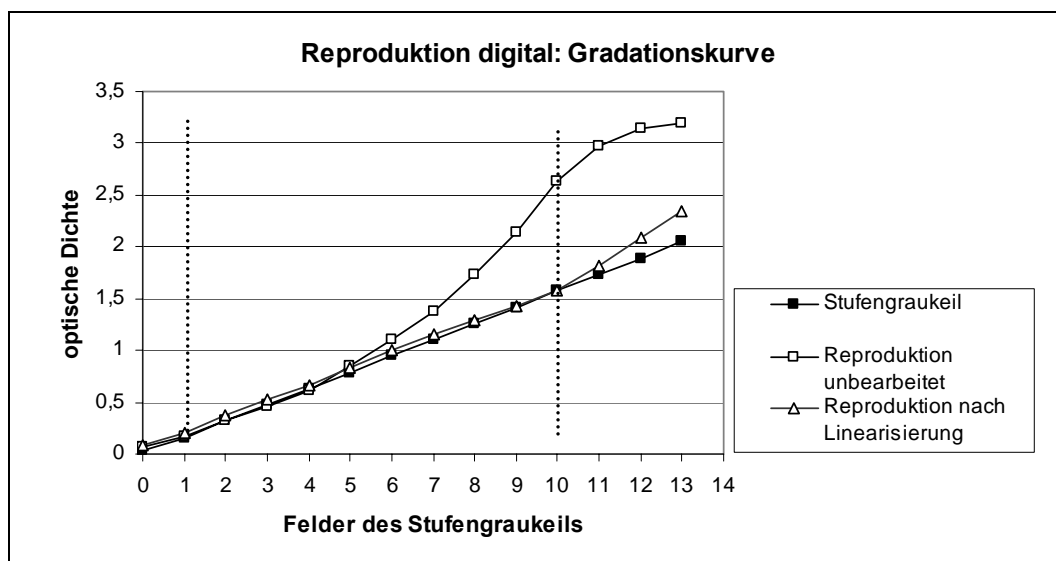
Die Felder des reproduzierten Stufengraukeils haben annähernd die gleiche optische Dichte wie in der Vorlage. Im Bereich niedriger Dichte (Feld „1“ und „2“) ist die Wiedergabe etwas dunkler, ebenso im Bereich höherer Dichte (Feld „8“ und „9“). Der Kontrast der Reproduktion ist in den Mitteltönen etwa gleich dem der Vorlage. Diagramm 9 zeigt die Dichtedifferenz zwischen Vorlage und Wiedergabe. Im relevanten Bereich liegt die maximale Abweichung bei einem Wert von ca. 0,11 Dichtewerten.

### *Reproduktion digital*

Zur Anfertigung von Reproduktionen auf digitalem Weg wurden die Diapositive zusammen mit dem Stufengraukeil gescannt.<sup>113</sup> Die Scanauflösung von 1814 Pixeln pro Zoll ermöglicht die Reproduktion der Glasplattendiapositive mit einem Pixelmaß von ca. 36 Megapixeln.

Zur Tonwertübertragung beim Scanvorgang konnten keine kalibrierten und durch Wiedergabepprofile festgelegten Voreinstellungen verwendet werden.<sup>114</sup> Daher wurde eine manuelle Einstellung gewählt, die den Dichteumfang des Stufengraukeils (0,04 bis 2,05 optischer Dichte) weitgehend linear erfasst. Zur Erstellung von Kleinbild-Diapositiven werden die Scans der Diapositive und des Stufengraukeils mit einem Laser-Ausbelichtungsgerät auf Farbdiafilm ausgegeben. Das Gerät belichtet auf eine Fläche von 24 x 36 mm 2732 x 4096 Bildpunkte, was einem Pixelmaß von 11 Megapixeln entspricht.<sup>115</sup> Um die Größe der Scans an das Ausgabegerät anzupassen, werden sie mit einem Bildbearbeitungsprogramm auf die Ausgabeauflösung umgerechnet.

Eine erste Ausbelichtung des Stufengraukeils zeigt eine Abweichung der Tonwertwiedergabe im Bereich hoher Dichte. Der Kontrast und die Dichte sind höher als in der Vorlage. Zur Korrektur wird im Bildbearbeitungsprogramm die Einstelloption *Gradationskurven* herangezogen. Diagramm 10 zeigt die Wiedergabe der beiden Tests.



**Diagramm 10**

Nach der manuellen Linearisierung ist die Wiedergabe der Vorlage – soweit messtechnisch erfassbar – angenähert. Dieser Optimierung ist allerdings nur scheinbar erfolgreich. In der

<sup>113</sup> Verwendet wurde ein Luftbildscanner des Bayerischen Landesamts für Vermessung und Geoinformation. Herr Dipl. Ing. Thomas Meier unterstützte freundlicherweise die Arbeit durch Bereitstellung des Gerätes und Einweisung in die Funktion. Der Vorgang des Scannens ist im Kapitel 6.3.2 beschrieben.

<sup>114</sup> Eine Erstellung von Wiedergabeprofilen wurde seitens des Herstellers des Gerätes noch nicht in vollem Umfang geleistet.

<sup>115</sup> Anfertigung der Ausbelichtungen und Information zur Auflösung des Gerätes von Fotolabor Mayer, München.



Projektion erscheinen die linearisierten Bilder deutlich kontrastärmer, „flauer“, als die unbearbeiteten Bilder und erheblich weicher als die Reproduktionen auf Schwarzweißmaterial, trotz annähernd gleicher densitometrischer Messwerte. Eine mögliche Ursache ist der Unterschied der Messgeometrie des verwendeten Densitometers zur Lichtführung im Diaprojektor. Das Densitometer arbeitet mit diffusem Licht, während das Dia im Projektor von gerichtetem Licht durchstrahlt wird. Da die Ausbelichtung auf Farbdiafilm angefertigt wird, ist der Unterschied zwischen gemessener Gradation und Erscheinungsbild in der Projektion in der Beschaffenheit des Filmmaterials zu suchen. Im Schwarzweißfilm wird das Bild aus Silberpartikeln aufgebaut, im chromogenen Farbdiafilm aus Farbstoffen. Der beobachtete Sachverhalt deutet darauf hin, dass die Absorptionseigenschaften beider Substanzen sich je nach Geometrie der Lichtführung unterscheiden.

Durch diese Störung ist eine direkte Vergleichsmöglichkeit zwischen der Reproduktion auf Schwarzweißfilm und der Wiedergabe durch Ausbelichtung auf Farbdiafilm mit der zur Verfügung stehenden Messtechnik nicht möglich. Die Wiedergabe der Testbilder ohne Gradationslinearisierung ergibt annehmbare Resultate, erscheint aber in der Projektion im Vergleich zum Schwarzweißfilm immer noch kontrastärmer.



## 5.3 Lichtfilter für die Dreifarbenprojektion

### 5.3.1 Auswahlkriterien

In der additiven Dreifarbenfotografie werden Rot-, Grün- und Blauauszug durch entsprechende Lichtfilter projiziert. Der jeweils erforderliche Spektralbereich der Lichtquelle im Projektor wird von den Lichtfiltern durchgelassen, der Rest des Spektrums absorbiert. Durch Überlagerung auf der Projektionsfläche erfolgt die additive Farbmischung aus den drei Spektralbereichen „Rot“, „Grün“ und „Blau“.

Für die Rekonstruktion der Dreifarbenprojektion nach Miethe wird eine Farbwiedergabe angestrebt, die der ursprünglichen weitgehend nahe kommt. Da die Farbwiedergabe in der Projektion von den Transmissionseigenschaften der Lichtfilter abhängig ist, stellt sich die Frage nach der Beschaffenheit der zur Zeit Miethes verwendeten Lichtfilter. Eine Möglichkeit wäre, sich an den erhaltenen Projektionsfiltern des von Goerz gebauten Dreifarbenprojektors des Deutschen Museums zu orientieren. Allerdings ist anzunehmen, dass diese sich in ihren Eigenschaften durch Alterung und Gebrauch soweit verändert haben, dass sie nicht mehr repräsentativ für den ursprünglichen Zustand sind.

MIETHE gibt an, dass die Projektionsfilter gleich den Aufnahmefiltern zu wählen seien: *„Die Farbfilter für den Projektionsapparat werden zweckmäßig wesentlich identisch mit den Aufnahmefiltern gewählt“*.<sup>116</sup> Deren Transmissionsbereiche seien 400–500 nm für den Blaufilter, 500–600 nm für den Grünfilter und 600–700 nm für den Rotfilter.<sup>117</sup> Diese Angaben können als Anhaltspunkt für die Auswahl von Lichtfiltern für die Projektion dienen.

Eine weitere Möglichkeit, die ursprüngliche Beschaffenheit der Projektionsfilter näher zu definieren, wird in der Rekonstruktion von Lichtfiltern mit originalen Filterfarbstoffen nach zeitgenössischer Vorschrift gesehen. Die „FARBWERKE HOECHST, VORM. MEISTER LUCIUS & BRÜNING“, Höchst am Main, stellten solche Farbstoffe für fotografische Zwecke her, eine Sammlung der Präparate aus der Zeit um 1910 befindet sich im Bestand des Deutschen Museums. Es bietet sich daher die Gelegenheit, die Anfertigung solcher Lichtfilter zu erproben und ihre Transmissionseigenschaften zu ermitteln. (Zur Herstellung der Lichtfilter siehe Anhang)

### 5.3.2 Transmissionseigenschaften rekonstruierter Filter

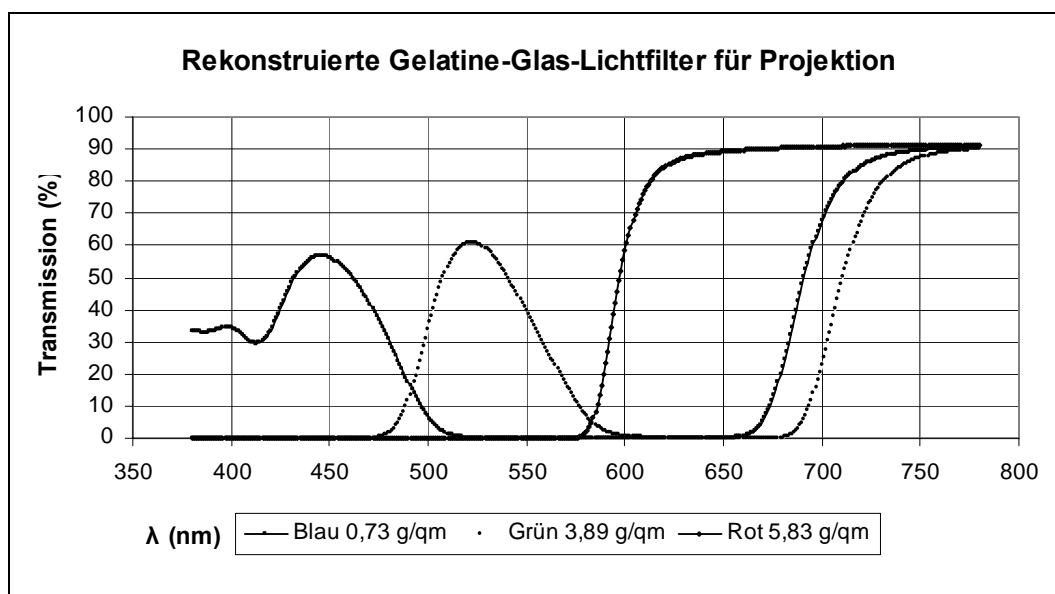
Zur Anfertigung der Lichtfilter werden die Präparate *Rapid-Filterrot II*, *Rapid Filtergrün II* und *Filterblau II* verwendet. Die Angaben der FARBWERKE HOECHST, VORM. MEISTER LUCIUS & BRÜNING, Höchst, zur erforderlichen Farbstoffkonzentration für die Lichtfilter der additiven Dreifarbenfotografie sind für die Verwendung der Filter als Aufnahmefilter ausgelegt. Blau- und

---

<sup>116</sup> MIETHE 1904 a, S. 55.

<sup>117</sup> Ebd. S. 35.

Grünfilter sind deshalb wesentlich dunkler als der Rotfilter.<sup>118</sup> Hierzu äußert sich MIETHE: „Man kann jedoch ohne jeden Schaden für die Farbwirkung und unter Gewinn einer erheblich größeren Lichtstärke die Farbfilter etwas weniger streng wählen. Es empfiehlt sich dies besonders bei dem Blaufilter, dessen Farbe für die Aufnahme ziemlich dunkel gewählt werden muss, während dies bei der Projektion nicht in diesem Maße der Fall ist.“<sup>119</sup> Für die Projektion sind diese Filter daher nicht geeignet. Der o. g. Angabe MIETHES folgend, werden Blaufilter und Grünfilter mit geringerer Farbstoffkonzentration hergestellt. Für den Blaufilter wird eine Farbstoffkonzentration von 0,73 g/m<sup>2</sup>, für den Grünfilter von 3,89 g/m<sup>2</sup> und für den Rotfilter von 5,83 g/m<sup>2</sup> gewählt. Glasplatten der Größe 5 x 5 cm dienen als Träger für die gefärbte Gelatinelösung. Diagramm 11 zeigt das Ergebnis der spektralfotometrischen Messung.



**Diagramm 11:** Transmission in % über einen Wellenlängenbereich von 380 nm bis 780 nm

Der Blaufilter erreicht maximale Transmission bei 445 nm, der Grünfilter bei 525 nm, der Rotfilter ist als Langpassfilter ausgeführt und erreicht bei 595 nm 50 % Transmission. Das Transmissionsmaximum des Blaufilters liegt bei 56 %, das des Grünfilters bei 61 %. Der Rotfilter erreicht bei ca. 750 nm eine Transmission von 93 %. Blau- und Grünfilter sind verhältnismäßig schmalbandig. Die Überlappungsbereiche der Filter sind gering. Blau- und Grünfilter werden ab ca. 670 nm wieder durchlässig.

Es stellt sich die Frage, wie die Transmissionseigenschaften dieser rekonstruierten Filter im Hinblick auf die Dreifarbenprojektion zu bewerten sind. Für die additive Farbmischung ist die spektrale Charakteristik der drei durch Filterung von Lichtquellen erzeugten Grundfarben von Bedeutung. Schmalbandige Filter ergeben Grundfarben hoher Farbsättigung.<sup>120</sup> Die rekonstruierten

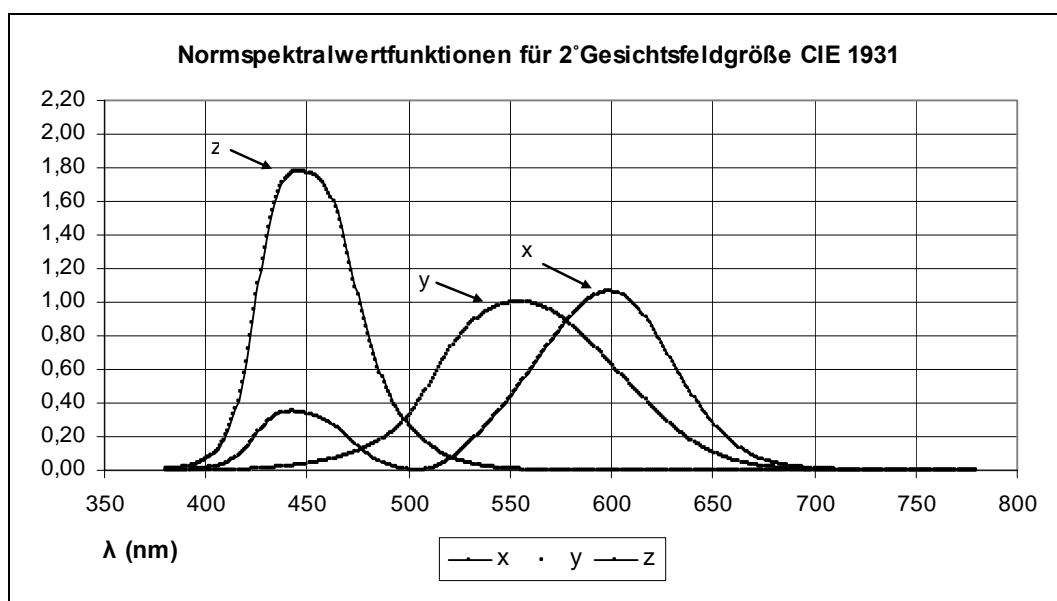
<sup>118</sup> Die Abstimmung der Filtertransmission ist der ungleichmäßig hohen Empfindlichkeit des Aufnahmematerials in den verschiedenen Spektralbereichen angepasst.

<sup>119</sup> MIETHE 1904 a, S. 55.

<sup>120</sup> Vgl. SCHULTZE 1951, S. 14.

Filter weisen diese Eigenschaft auf, daher sollten sich in der Projektion gesättigte Farben erzeugen lassen. Für eine exakte Farbproduktion wird von HUNT die Abstimmung der Maxima der Transmissionsbereiche der Filter auf die Empfindlichkeitsbereiche der Sinneszellen der Netzhaut als wesentlich genannt.<sup>121</sup> Diese Abstimmung erfordere allerdings keine exakte Übereinstimmung der Filtertransmission mit dem spektralen Verlauf der Lichtempfindlichkeit.<sup>122</sup> Berücksichtigt werden müsse unter anderem, dass sich die für Rot und Grün empfindlichen Zellen in ihren Empfindlichkeitsbereichen überlappen.

Diagramm 12 zeigt den Verlauf der spektralen Empfindlichkeit der Sinneszellen der Netzhaut in einer Aufbereitung und Skalierung, wie sie für farbmessische Zwecke verwendet wird.<sup>123</sup>



**Diagramm 12:** Normspektralwertfunktionen entsprechend DIN 5033 (Farbmessung) Teil 2 (1992) Normvalenz-Systeme

Das Empfindlichkeitsmaximum im blauen Spektralbereich liegt bei 450 nm und entspricht damit dem Transmissionsmaximum des rekonstruierten Blaufilters. Im grünen Spektralbereich liegt das Maximum bei 550 nm, im roten Spektralbereich bei 600 nm. Nach HUNT erfordert die Überlappung der Empfindlichkeit der Sinneszellen im grünen und roten Spektralbereich eine entsprechende Abstimmung der Lichtfilter.<sup>124</sup> Der Grünfilter soll sein Transmissionsmaximum bei 510 nm haben, um die für Grün empfindlichen Sinneszellen weitgehend, die für Rot empfindlichen jedoch nicht zu stimulieren. Zur Anregung der Sinneszellen im roten Bereich des Spektrums soll der Lichtfilter so beschaffen sein, dass er die für Grün empfindlichen Sinneszellen nicht mit anregt. Ein Transmissionsbereich des Filters ab 650 nm würde diesem Anspruch genügen.<sup>125</sup>

<sup>121</sup> HUNT 1967 S. 36.

<sup>122</sup> HUNT 1967 S. 39.

<sup>123</sup> Daten für die Erstellung des Diagramms unter: [http://www.cis.rit.edu/mcsl/online/CIE/all\\_1nm\\_data.xls](http://www.cis.rit.edu/mcsl/online/CIE/all_1nm_data.xls)

<sup>124</sup> HUNT 1967, S. 36.

<sup>125</sup> HUNT 1967, S. 36.

Der Transmissionsbereich des rekonstruierten Grünfilters (Maximum bei 525 nm) kommt der genannten Forderung nahe. Daher kann er als für die Erfordernisse der additiven Farbmischung gut geeignet bezeichnet werden. Der rekonstruierte Rotfilter ist bereits ab 595 durchlässig, sein Farbton tendiert nach Orange. Günstiger für die additive Farbmischung wäre ein Transmissionsbereich der im langwelligeren Teil des Spektrums einsetzt. Die Folge dieser Beschaffenheit ist, dass tiefrote Farben mit diesem Lichtfilter in der Dreifarbenprojektion nicht dargestellt werden können.

### **5.3.3 Eigenschaften möglicher Projektionsfilter**

Lichtfilter, die für die Dreifarbenprojektion in Frage kommen, müssen folgende Eigenschaften aufweisen: Sie müssen wärmebeständig sein, denn je nach Position im Strahlengang des Projektors werden sie einer Wärmebelastung ausgesetzt. Um die Schärfe der Bildwiedergabe nicht zu beeinträchtigen, müssen die Oberflächen der Filter planparallel sein. Die intensive Belichtung im Projektor erfordert hohe Lichtbeständigkeit. Im Folgenden werden Lichtfilter vorgestellt, deren Eignung im Rahmen der vorliegenden Arbeit getestet wurde.

#### *Gelatine-Glas-Filter*

Um dieser Ausführungsform von Lichtfiltern genügende optische Eigenschaften zu geben, ist es erforderlich, sie aus zwei Glasscheiben zu verkitten.<sup>126</sup> Die Verkittung nach historischem Vorbild mit Kanadabalsam<sup>127</sup> weist geringe Wärmebeständigkeit auf, die Gelatineschicht ist ebenfalls empfindlich gegen hohe Temperatur. Wenn solche Filter in einer modernen Projektionseinrichtung verwendet werden sollen, ist ein, die Wärmestrahlung absorbierender, Glasfilter vorzuschalten, gegebenenfalls eine separate Kühlvorrichtung für die Filter einzuplanen. Da die organischen Farbstoffe in den Filtern mittelfristig verblassen, ist eine geringe Lebensdauer zu erwarten. Die Filter müssten in regelmäßigen Abständen ersetzt werden. Der zu erwartende Verschleiß lässt die Verwendung der o. g. rekonstruierten Filter nicht zu. Zum einen ist die Herstellung mit hohem Aufwand verbunden, zum anderen ist die Benutzung der originalen Filterfarbstoffe zur Anfertigung von Verbrauchsmaterial abzulehnen. Eventuell können industriell hergestellte Varianten zum Einsatz kommen.<sup>128</sup> Aus den genannten Gründen sind Gelatine-Glas-Lichtfilter für die Rekonstruktion einer Dreifarbenprojektion nicht ideal.

#### *Gelatine-Folienfilter*

Gelatine-Folienfilter bestehen aus Gelatine oder mit Gelatine beschichteter Kunststoffolie. Sie sind mit organischen Farbstoffen gefärbt. Ihre optischen Eigenschaften sind günstig, weshalb sie als Aufnahmefilter in der Fotografie gebräuchlich sind. Die Wärmebeständigkeit ist für die Anwendung in einem Projektor nicht ausreichend. Durch Hitzeeinwirkung verwerfen sich die Folien. Somit sind sie als Projektionsfilter nicht geeignet.

---

<sup>126</sup> Die vorgestellten rekonstruierten Filter wurden ohne Verkittung hergestellt.

<sup>127</sup> Kanadabalsam ist ein Exsudat von Nadelbäumen.

<sup>128</sup> Die Firma Göttinger Farbfilterfabrik GmbH, 37120 Lengern, stellt solche Filter auf Anfrage her.

### Kunststofffolienfilter

Kunststofffolienfilter können in der Masse gefärbt sein oder durch Lackieren einer Trägerfolie mit gefärbtem Lack hergestellt werden. Dadurch ist eine große Bandbreite an möglichen Transmissionseigenschaften gegeben. Sie sind in verschiedenen Ausführungsformen auf dem Markt. Filter für die Anwendung in der Beleuchtungstechnik weisen gute Wärmebeständigkeit auf. Die optischen Eigenschaften reichen jedoch nicht an die von Farbglasfiltern heran. Da die Filter mit organischen Farbstoffen gefärbt sind, ist mit einem Verblässen durch intensive Belichtung zu rechnen. Für den Versuchsaufbau zur modellhaften Dreifarbenprojektion wurden aus dem Sortiment der Firma Lee verschiedene Folienfilter<sup>129</sup> gewählt und deren Transmissionseigenschaften ermittelt. Diese Filter bestehen aus beidseitig mit gefärbtem Lack überzogener Polyesterfolie. Sie werden in der Beleuchtungstechnik für Fotografie und Bühnenveranstaltungen eingesetzt. Ziel war, Filter zu finden, die den rekonstruierten Gelatine-Glasfiltern in den Transmissionseigenschaften nahe kommen. Diagramm 13 zeigt das Ergebnis der spektralfotometrischen Messung von drei Folienfiltern.

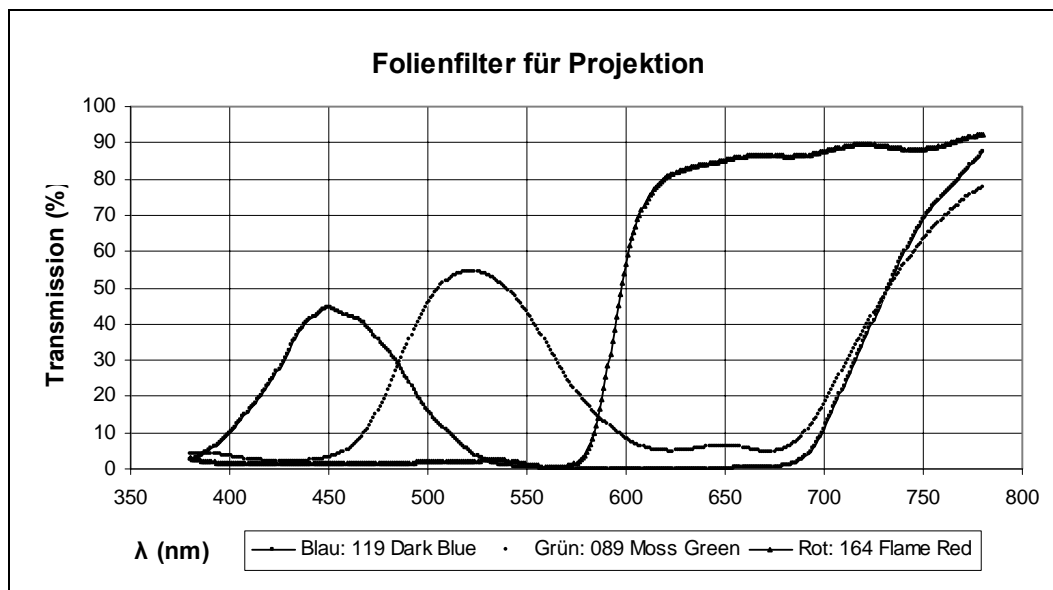


Diagramm 13: Transmissionsspektren (Lichtfilter von Lee Filters)

Die Lage der Transmissionsmaxima von Blau- und Grünfilter bei 450 und 525 nm entspricht weitgehend der der rekonstruierten Filter, die Absorptionsflanke des Rotfilters ebenfalls. Blau- und Grünfilter sind breitbandiger, sie überlappen sich stärker als die rekonstruierten Filter. Für die Farbwiedergabe in der Projektion ist daher eine etwas geringere Farbsättigung zu erwarten. Blau- und Grünfilter sind deutlich dunkler als der Rotfilter.

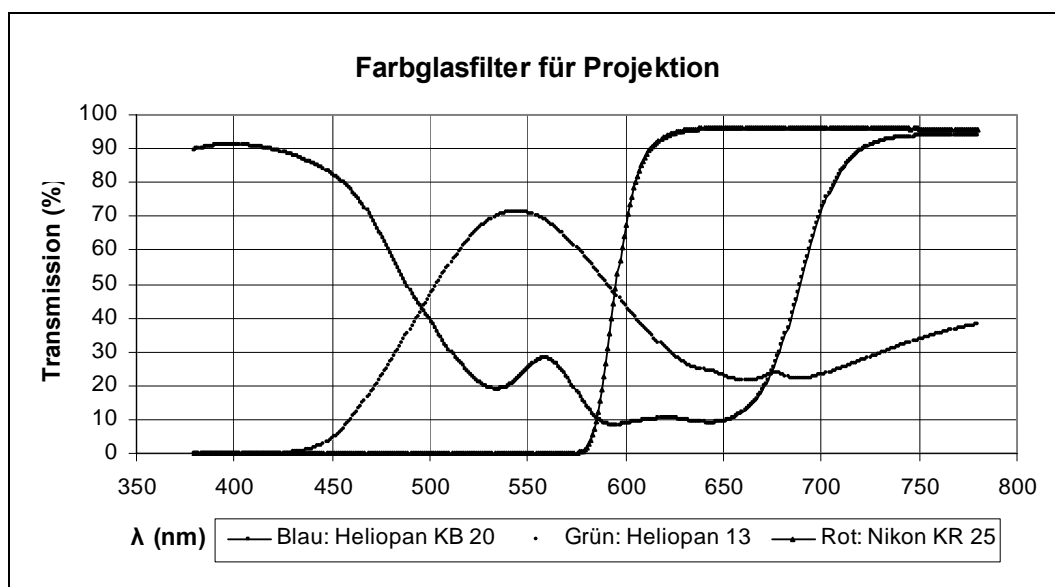
<sup>129</sup> Bezug durch Firma Haedler +Haedler, München (Preis ca. € 18 bis € 25 / m<sup>2</sup>).

### Farbglasfilter

Farbglasfilter sind in der Masse gefärbte Gläser. Ihre Transmissionseigenschaften werden durch die chemische Zusammensetzung und den Herstellungsprozess bestimmt.<sup>130</sup> In ionengefärbten Gläsern sind Ionen von Schwermetallen oder seltenen Erden in echter Lösung enthalten. Blaue und grüne Filtergläser gehören zu dieser Klasse. Gelbe, orange und rote Filtergläser werden als Anlaufgläser hergestellt. Diese Langpassfilter zeichnen sich durch steile Absorptionskanten aus. Die Farbe der zunächst farblosen Gläser wird durch eine Temperaturbehandlung hervorgerufen, bei der die farbgebenden Komponenten ihre Beschaffenheit entwickeln.

Farbglasfilter sind weitgehend licht- und wärmebeständig. Ihre optischen Eigenschaften sind von der Oberflächenbearbeitung abhängig. Durch Politur lässt sich Planparallelität der Oberfläche erzeugen. Die Transmissionseigenschaften können nicht in dem Umfang gesteuert werden, wie es bei Filtern auf Basis organischer Farbstoffe möglich ist.

Für die modellhafte Dreifarbenprojektion wurden drei Farbglasfilter erprobt. Die Auswahl beschränkt sich auf leicht verfügbare Filter, wie sie für die Anwendung als Aufnahmefilter in der Fotografie gebräuchlich sind. Diagramm 14 zeigt die Transmissionsspektren dieser Filter.



**Diagramm 14:** Transmissionsspektren handelsüblicher Farbglasfilter (fotografische Aufnahmefilter)

Der Transmissionsbereich des Blaufilters überlappt sich stark mit dem des Grünfilters. Sein Transmissionsmaximum von 92 % liegt bei ca. 400 nm. Der Grünfilter hat sein Transmissionsmaximum von 72 % bei ca. 545 nm. Er ist auch im langwelligen Bereich des Spektrums durchlässig. Der als Langpassfilter ausgeführte Rotfilter ähnelt in seinen Eigenschaften dem entsprechenden rekonstruierten Gelatine-Glasfilter. Blau- und Grünfilter weichen von der Transmission der Gelatine-Glas-Filter stark ab.

<sup>130</sup> Angaben zur Herstellung nach SCHOTT GLAS: Optische Filter; Glasfilter, Mainz 1997, S. 6.



## **5.4 Versuchsreihen zur modellhaften Dreifarbenprojektion**

### **5.4.1 Verwendete Geräte**

Zum Einsatz kamen drei Kleinbild-Diaprojektoren der Firma Leica: die Geräte *Pradovit Color 2*, *Pradovit P 200* und *Pradovit P 2002*. Sie unterscheiden sich in ihrer Typenbezeichnung, sind im Aufbau des Beleuchtungssystems aber weitgehend baugleich. (Abb. S. 15) enthalten. In alle Geräte werden neue Leuchtmittel<sup>131</sup> eingesetzt und justiert, um gleichmäßige Ausleuchtung des Bildfeldes zu gewährleisten.

Die Farbbalance der Lichtquellen der drei Projektoren wurde durch Messung der Lichttemperatur ermittelt.<sup>132</sup> In die Projektoren wurden gleiche Objektive vom Typ *Elmaron 1:3,4 / 200 mm* der Firma Leitz eingesetzt. Deren Bildwinkel ist ca. 11 Grad. Soll die Größe des projizierten Bildes ein Meter in der Höhe sein, beträgt die erforderliche Distanz zur Leinwand 5,5 Meter. Projiziert wurde auf eine handelsübliche Leinwand. Die Lichtfilter für die Dreifarbenprojektion wurden auf den Projektionsobjektiven befestigt.<sup>133</sup>

### **5.4.2 Überlagerung der Teilbilder**

Die Positionierung der drei Projektoren nebeneinander führt zu einem Abstand der Projektionsachsen von ca. 35 cm. Die Projektionsachsen der beiden äußeren Projektoren müssen nach innen geneigt werden, um die drei Teilbilder auf der Leinwand zur Deckung zu bringen. Durch die Neigung der Projektionsachse wird eine trapezförmige Verzerrung des projizierten Bildes verursacht. Dieses Problem kann in seiner Auswirkung durch die Wahl der Projektionsobjektive verringert werden. Der schmale Bildwinkel der verwendeten Objektive ermöglicht bzw. erfordert eine große Distanz zur Leinwand. Dadurch kann die Neigung der Projektionsachsen gering gehalten werden. Bei gegebener Projektionsdistanz fällt die Größe des projizierten Bildes allerdings verhältnismäßig klein aus. Standardobjektive mit 90 mm Brennweite ergeben ein mehr als doppelt so hohes Bild.

Eine Alternative wäre die Verwendung von PC-Objektiven.<sup>134</sup> Deren Linsensystem ist in der Fassung parallel zur Bildebene verschiebbar, wodurch die Position des projizierten Bildes auf der Leinwand verändert werden kann, ohne die Projektionsachse neigen zu müssen. Bei ausreichend großem Verschiebeweg können die Bilder der beiden äußeren Projektoren unverzerrt mit dem Bild des mittleren Projektors überlagert werden. Vorteil von PC-Objektiven gegenüber Objektiven langer Brennweite ist, dass auf kürzere Distanz größer projiziert werden kann, da PC-Objektive mit

---

<sup>131</sup> Typ Xenophot HLX 64655 / 24 V / 250 W, Firma Osram.

<sup>132</sup> Für den *Pradovit Color 2* ergeben sich 3430 Kelvin, für den *Pradovit P 2000* 3610 Kelvin und für den *Pradovit P 2002* 3400 Kelvin. Die Abweichungen werden auf unterschiedliche Beschaffenheit der Gläser für Kondensorenlinen und Wärmeschutzfilter zurückgeführt.

<sup>133</sup> Eine Fixierung mit Krepp-Klebeband erweist sich für die Testreihen als hinreichend zweckmäßig.

<sup>134</sup> PC steht für „Perspectiven Correctur“.

mittlerem Bildwinkel erhältlich sind. Für den Versuchsaufbau standen solche Objektive nicht zur Verfügung. Mit den verwendeten Objektiven der Brennweite 200 mm ist die Verzerrung der Bilder der beiden äußeren Projektoren bei einer Distanz von ca. acht Metern sehr gering.

Die Überlagerung der Teilbilder erfolgt durch Justieren der Projektoren. Durch Neigen der äußeren Projektoren nach innen können die projizierten Bilder in horizontaler Richtung zur Deckung gebracht werden. Mit den höhenverstellbaren vorderen Standfüßen der Projektoren kann der vertikale Versatz korrigiert werden.

### **5.4.3 Projizierte Fotografien**

Zur Projektion wurden die in der Testreihe zur Reproduktion der Teilbilder hergestellten Kleinbild-Diapositive verwendet. Unterschiede in der Beschaffenheit der Repro-Diapositive, die auf SW-Diafilm, über Zwischennegativ und als Ausbelichtung auf Farbdiamaterial angefertigt wurden, werden in der Dreifarbenprojektion beurteilt. Das Motiv *Dame mit Sonnenschirm* (Bild Nr. 40) wird in allen drei genannten Varianten projiziert. Drei weitere Bildsätze, die nach dem Zwischennegativ-Verfahren hergestellt wurden, werden ebenfalls verwendet: Bild Nr.7 *Blick über schiefergedeckte Dächer*, Bild Nr. 35 *Waldweg* und Bild Nr. 39 *Ägyptische Wandmalerei*.

## **5.5 Ergebnis der Versuchsreihen**

### **5.5.1 Reproduktionen der Teilbilder**

Zwischen den auf verschiedenem Weg angefertigten Reproduktionen besteht hinsichtlich der Schärfe kein sichtbarer Unterschied (Vgl. Abb. S. 16). In den auf Schwarzweißmaterial hergestellten Bildern ist eine sehr geringe Körnigkeit wahrnehmbar, die Ausbelichtungen auf Farbdiafilm sind praktisch kornfrei. Diese Unterschiede zeigen sich allerdings nur bei Projektion von einzelnen Diapositiven. Werden drei Teilbilder übereinander projiziert, verschwindet das Korn in der Überlagerung.

In den Tonwertabstufungen unterscheiden sich die über Zwischennegativ erstellten Dias von den auf SW-Diafilm angefertigten, was bereits messtechnisch nachgewiesen wurde. Letztere zeigen sich in der Projektion kontrastreicher. Die Ausbelichtungen auf Farbdiafilm unterscheiden sich im Kontrast erheblich von den auf SW-Material angefertigten Dias. Sie sind im Kontrast deutlich weicher, was zu einem „flauen“ Bildeindruck führt. Durch die Steuerungsmöglichkeiten, die die digitale Bildverarbeitung bietet, ließe sich der Kontrast anpassen.

## **5.5.2 Lichtfilter**

Alle erprobten Filter wurden unmittelbar vor die Objektive der Projektoren montiert. Allgemein ist zu bemerken, dass die Beurteilung der projizierten Dreifarbenfotografien hinsichtlich der Farbwiedergabe schwierig ist und bei den Testreihen nur ein subjektiv empfundener Eindruck gewonnen werden konnte. Gegebenheiten des Originalprozesses sowie Kopierverluste, die durch die Reproduktion der Diapositive entstehen, wirken in der modellhaften Installation zusammen.

Eine Fotodokumentation der projizierten Bilder durch abfotografieren von der Leinwand erwies sich als problematisch. Die verwendete Digitalkamera (Olympus E1) stellt die Unterschiede nicht deutlich heraus und liefert Bilder, die den Seheindruck nicht adäquat wiedergeben. Deshalb wird darauf verzichtet, die Ergebnisse aller erprobten Filterkombinationen fotografisch zu dokumentieren.

### *Gelatine-Glas-Lichtfilter*

Die Projektion durch Gelatine-Glas-Lichtfilter ergibt Bilder, die deutliche Unschärfe aufweisen. Ursache ist die nicht vollkommen ebene Gelatineschicht auf den Glasscheiben. Geringe Schlieren in der Oberfläche beeinträchtigen den optischen Strahlengang. Durch Verkitten mit einer zweiten Glasscheibe ließe sich diese Störung verringern.

Die Wiedergabe der projizierten Bilder ist durch intensive, gesättigte Farben gekennzeichnet. Bedingt durch die wesentlich geringere Transmission von Blau- und Grünfilter im Vergleich zum Rotfilter erscheinen die Bilder zunächst mit starkem Rosastich. Erst durch Kombination des Rotfilters mit einem grauen Folienfilter lässt sich die Farbbalance herstellen. Durch die geringe Transmission von Blau- und Grünfilter sowie das Abdunkeln des Rotfilters erscheinen die projizierten Bilder sehr dunkel.

### *Farbglasfilter*

Die Farbglasfilter beeinflussen die Bildschärfe nicht. Durch die breitbandige Transmission von Blau- und Grünfilter erscheinen die Bilder deutlich heller als mit den Gelatine-Glas-Filtern und sind von sehr geringer Farbsättigung. Die Farben in den so projizierten Bildern erscheinen unrealistisch blass.

### *Kunststofffolienfilter*

Unter Verwendung der Kunststofffolienfilter der Firma Lee bleibt die Bildschärfe erhalten. Obwohl diese Filter nicht für die Verwendung in einem optischen Strahlengang gedacht sind, lässt sich keine gravierende Beeinträchtigung der Wiedergabe beobachten.

In dem gewählten Filtersatz sind Blau- und Grünfilter deutlich dunkler als der Rotfilter. Wird der Rotfilter mit einem grauen Folienfilter kombiniert, kann eine ausgewogene Wiedergabe erreicht werden. Die so erzielte Farbwiedergabe erscheint hinreichend glaubwürdig. (Zu den Ergebnissen bei Projektion mit dem ausgewählten Kunststofffolienfiltersatz siehe Bildteil S. 17 und 18.)

### **5.5.3 Projektionseinrichtung**

Die Überlagerung der drei Teilbilder erweist sich als schwierig. Die Justage der Projektoren ist umständlich und zeitaufwändig. Für jeden Bildsatz müssen die Projektoren neu ausgerichtet werden. Die Schärfe der Teilbilder wird bereits durch geringste Fehljustage beeinträchtigt. Da sich dadurch Farbsäume an Kanten und markanten Bilddetails einstellen, leiden Farbwirkung und Bildkontrast erheblich (vgl. Bildteil S. 16). Es zeigt sich, dass die Position der Dias im Bildschacht der Projektoren ungenügend fixiert ist. Durch Vibrationen des Lüftermotors bewegen sich die Dias um Millimeterbruchteile, wodurch nach wenigen Minuten Standzeit ein erneutes Ausrichten der Geräte erforderlich ist. Auch leichtes Anstoßen an die Geräte führt sofort zum Verlust der Passgenauigkeit der Überlagerung.

Die spektrale Charakteristik der Glühlampen in den Projektoren unterscheidet sich von der der Lichtquelle des von GOERZ gebauten Projektors. Die modernen Glühlampen weisen eine Lichttemperatur von ca. 3400 bis 3600 Kelvin auf. Welche Lichttemperatur die Kohlebogenlampen im originalen Projektor hatten, konnte nicht ermittelt werden. SCHULTZE nennt für „Reinkohle-Bogenlampen“ einen Wert von 4200 Kelvin.<sup>135</sup> Im Vergleich zu diesem Wert ist das Licht der Glühlampen leicht gelblicher. Dass sich dieser Unterschied maßgeblich auf die Farbwiedergabecharakteristik in der Projektion auswirkt, ist nicht zu erwarten.

Um die Auswirkung verschiedener Lichtfilter zu testen und die Beschaffenheit der Reproduktionen zu evaluieren ist der Aufbau mit drei einzelnen Projektoren ausreichend. Für eine Installation zur Vorführung der Dreifarbenprojektion im Rahmen einer Ausstellung ist der erprobte Versuchsaufbau nicht geeignet. Zu verbessern ist die Fixierung der Dias im Bildschacht der Projektoren. Die Geräte selbst müssen auf eine stabile Unterlage gestellt werden. Zur Justage sind die höhenverstellbaren Füße an den verwendeten Geräten nicht ausreichend stabil.

Eine vorführtaugliche Verbesserung der modellhaften Dreifarbenprojektion würde den Bau eines speziellen Projektors erfordern. Wichtigstes Kriterium ist die Passgenauigkeit der Überlagerung der Teilbilder. Hierfür kann die Lösung, die MIETHE für den von GOERZ gebauten Projektor gefunden hatte, als Vorbild dienen. Montiert man drei Dias auf eine gemeinsame Grundplatte, bleibt die Passgenauigkeit der Überlagerung erhalten, auch wenn die Grundplatte sich im Projektionsgerät verschiebt. Der Projektionsapparat müsste aus drei Systemen in einem gemeinsamen Gehäuse bestehen. Mit verstellbaren PC-Projektionsobjektiven ist eine hinreichend präzise Justierung der Bilder zu erreichen.

---

<sup>135</sup> SCHULTZE 1953, S. 270.

## 6 Wiedergabe von Dreifarbendiapositiven auf digitalem Weg: Erstellung von digitalen Farbbildern aus Diapositiven der Dreifarbenfotografie

### 6.1 Ausgangssituation

Die Erzeugung von Farbbildern aus drei Schwarzweiß-Farbauszügen auf digitalem Weg ist kein neuer Ansatz. Die additive Dreifarbenfotografie erscheint sogar besonders geeignet, um zum farbigen Digitalbild überführt zu werden. Das zugrunde liegende Prinzip der additiven Farbmischung entspricht dem heutigen RGB-Farbmodell, welches im Bereich der digitalen Bildverarbeitung weit verbreitet ist und auf dem auch die Funktion von Computermonitoren, Fernseherbildschirmen und Digitalkameras basiert.

Realisiert wurde die Digitalisierung von historischen Dreifarbenfotografien bislang beispielsweise in einem Projekt der amerikanischen Library of Congress. 2001 wurden in der Ausstellung "The Empire That Was Russia: The Prokudin-Gorskii Photographic Record Recreated" Bilder vorgestellt, die aus den erhaltenen Negativen generiert („recreated“) wurden.<sup>136</sup> Auch einige von ADOLF MIETHES Dreifarbenfotografien sind bereits digital verarbeitet. Die Ergebnisse wurden in der Ausstellung „Faszination Farbe“ im Landeshaus des Landschaftsverbandes Rheinland, Köln, vom 28. 9. bis 19. 10. 2004 gezeigt.<sup>137</sup> Beide Ausstellungen sind mit Bildbeispielen im Internet vorgestellt.<sup>138</sup>

Teil der vorliegenden Arbeit ist ein Verfahren zur Erzeugung digitaler Farbbilder aus Schwarzweiß-Diapositiven der Dreifarbenfotografie. Diese Umsetzung des erhaltenen Bildmaterials wurde gewählt, da die ursprüngliche Präsentationsform mittels Projektion nur schwer zu verwirklichen ist. Die Digitalisierung ist ein Hilfsmittel, mit dem Bilder aus der Frühzeit der Farbfotografie wieder in Farbe visualisiert werden können.

Wie die Farbzuzuweisung in der Bildbearbeitung geschieht und welche Parameter hierauf Einfluss nehmen, wird im Folgenden dargelegt. Neu ist der Ansatz, die Farbwerte von rekonstruierten Projektionsfiltern als Basis für die Farbzuzuweisung zu verwenden.

---

<sup>136</sup> Der russische Fotograf SERGEI MIKHAILOVICH PROKUDIN-GORSKII (1863-1944) arbeitete in den Jahren vor dem ersten Weltkrieg mit einem Verfahren, das auf der von MIETHE publizierten Methode basiert. Die Aufnahmen zeigen Architektur und Menschen aus verschiedenen Gegenden Russlands. PROKUDIN-GORSKIIIS fotografisches Werk und das Verfahren der Digitalisierung sind vorgestellt von MINACHIN (2003).

<sup>137</sup> Die Photoingenieurinnen DOERTE BRÜGGEMANN und CONSTANZE WICHA fertigten im Rahmen der Diplomarbeit „Rekonstruktion und Ausgabe historischer Dreifarbenauszüge mittels moderner Technologien“ an der Fachhochschule Köln auf Basis von Dreifarben-Bildern Drucke an.

<sup>138</sup> Zu Prokudin-Gorskii unter <http://www.loc.gov/exhibits/empire/> (Stand Januar 2006); zu MIETHE unter <http://www.dreifarbenfotografie.de> (Stand Januar 2006)

## **6.2 Anforderungen an das Verfahren**

Das Verfahren zur Erzeugung eines digitalen Farbbildes aus drei Farbauszugs-Diapositiven lässt sich in drei Prozessstufen gliedern: Scannen der Glasplattendiapositive, passgenaues Überlagern der drei Graustufenbilder zu einem RGB-Bild und Steuerung der Farbwiedergabe. Die Anforderungen die an das Verfahren in den einzelnen Arbeitsschritten zu stellen sind, werden im Folgenden dargelegt.

### *Scannen*

Durch Scannen wird die Bildinformation der Vorlage ausgelesen und in ein Digitalbild überführt, das aus einzelnen Bildpunkten (Pixeln) besteht. Qualitätsbestimmende Kriterien sind die Auflösung des Scanners und die Art der Übertragung der Helligkeitsabstufungen der Vorlage. Die Auflösung wird üblicherweise angegeben in Pixel pro Zoll/Inch (ppi). Um auch feine Strukturen im Bild scharf wiederzugeben, muss die Auflösung ausreichend hoch sein. Der kontinuierliche Tonwertumfang der Vorlage wird übertragen in Helligkeitsabstufungen. Wird das Bild mit einer Farbtiefe von 8 Bit vom Scanner ausgegeben, sind  $2^8$ , also 256, Abstufungen codiert. Helligkeit und Kontrast der Vorlage müssen innerhalb dieser 256 Stufen exakt reproduziert werden. Selbst geringe Schwankungen in der Ausleuchtung der drei Teilbilder führen zu Fehlern in der späteren Farbwiedergabe, Verzerrungen der Vorlagengeometrie erschweren bei der Überlagerung der Teilbilder die Passung.

### *Überlagerung*

Zur Erzeugung eines digitalen Farbbildes werden die drei Teilbilder zu einem gemeinsamen RGB-Bild montiert. Die Konturen der einzelnen Auszüge müssen genau zur Deckung kommen. Unvollkommene Überlagerung resultiert in Farbsäumen an kontrastreichen Konturen und verringerter Bildschärfe. Sollen die Teilbilder manuell zur Deckung gebracht werden, können sie im Bildbearbeitungsprogramm gegeneinander verschoben und verdreht werden. Für eine automatische Überlagerung mit Hilfe von Software-Applikationen werden die Teilbilder anhand definierter Passpunkte übereinander gelegt. Hochwertige Berechnungsverfahren, die auf der Transformation von Bildkoordinaten beruhen, arbeiten subpixelgenau. Die Genauigkeit der Überlagerung ist dann besser als die Auflösung des Bildes.

### *Farbzuweisung*

Den drei monochromen Farbauszügen jeweils einen Farbkanal in einem RGB-Bild zuzuweisen, ist der erste Schritt bei der Erzeugung eines digitalen Farbbildes. Ziel ist, die Farbwiedergabe, die sich in der Projektion ergeben würde, zu simulieren. Bestimmt wird die Farbwiedergabe in der originalen Präsentationsform durch die Farbwerte der Projektionsfilter, der spektralen Charakteristik der Lichtquelle im Projektor und dem Kontrast der einzelnen Diapositive. Als wesentlicher Parameter für die Simulation der Farbigkeit in der Dreifarbenprojektion wird die Beschaffenheit der Filter angesehen.

## **6.3 Digitalisierung**

### **6.3.1 Auswahl und Vorbereitung der Fotografien**

Aus dem Bestand von 31 Dreifarbenbildern werden sechs Motive ausgesucht, anhand derer die Digitalisierung exemplarisch durchgeführt wird. Gewählt werden Bilder, die ausgewogene Farbigkeit erwarten lassen und die einen Eindruck von der Bandbreite des farbfotografischen Werks ADOLF MIETHES vermitteln sollen. Bild Nr. 5 ist eine Landschaftsaufnahme aus Spitzbergen: ein Bergmassiv mit Gletscher. Von den in Deutschland entstandenen Landschaftsaufnahmen zeigen Bild Nr. 7 die Aussicht über schiefgedeckte Fachwerkhäuser auf eine Flussbiegung und Bild Nr. 35 einen Waldweg im Nebel. Bild Nr. 39 ist eine Ansicht von ägyptischen Wandmalereien. Bild Nr. 40 und 43 sind zwei der vier Aufnahmen des Bestandes, auf denen Menschen abgebildet sind: eine junge Frau mit Sonnenschirm sowie ein Landvermesser am Messtisch.<sup>139</sup>

In die Metallrahmen fixiert können die Diapositive nicht gescannt werden. Durch die Dicke der Aluminiumplatte und die beiden aufragenden Drahtösen würde sich ein Abstand der Bildschicht zur Fokusebene des Scanners von zwei Millimetern ergeben. Die Demontage der Diapositive ist möglich, da die Fixierung durch geschraubte Klammern sich reversibel lösen lässt.

### **6.3.2 Scannen**

Die Diapositive wurden mit einem Luftbild-Scanner am Bayerischen Landesamt für Vermessung und Geoinformation gescannt.<sup>140</sup> Das Gerät „Photoscan“ des Herstellers Z/I Imaging zeichnet sich durch sehr hohe Genauigkeit in der Abtastgeometrie und Ausleuchtung aus. So ist gewährleistet, dass die Diapositive verzerrungsfrei und mit gleichmäßiger Helligkeit digitalisiert werden. Der große Scanbereich von 250 x 275 mm ermöglicht es, jeweils drei zusammengehörige Diapositive gemeinsam zu verarbeiten, wodurch etwaige Schwankungen in der Wiedergabe verhindert werden. Die interne Signalverarbeitung erfolgt mit 10 Bit Farbtiefe, als Farbtiefe für die Ausgabe wurde acht Bit gewählt. Mit der maximal möglichen optischen Auflösung von 7 µm Kantenlänge pro Pixel (3628 Pixel pro Zoll) können sehr hoch aufgelöste Scans realisiert werden. Für das Scannen der Diapositive wird eine Auflösung von 14 µm Kantenlänge pro Pixel gewählt, was 1814 Pixel pro Zoll entspricht.<sup>141</sup> Ein Diapositiv mit Nennformat 8 mal 9 Zentimetern wird so zu einem

---

<sup>139</sup> Von den insgesamt 18 Diapositiven sind vier schadhaf, vermutlich durch frühere unsachgemäße Behandlung. Der Rotauszug von Bild Nr. 5 weist einen drei Zentimeter langen Sprung auf. Der Rotauszug von Bild Nr. 7 ist mehrfach gesprungen; ein ovales Bruchstück im unteren Bildbereich wird durch die Spannung an den Bruchflächen noch gehalten, eine dreieckige Scherbe ist lose. An den Zwickeln der Bruchkanten ist die Bildschicht kleinflächig abgeplatzt. Im Blauauszug reicht ein Sprung vom rechten Rand zum unteren Rand. Von Bild Nr. 40 ist der Rotauszug in zwei Teile gebrochen.

<sup>140</sup> Herr Dipl. Ing. Thomas Meier unterstützte freundlicherweise die Arbeit durch Bereitstellung des Gerätes und Einweisung in die Funktion.

<sup>141</sup> Nach Tests mit 7 µm und 14 µm Auflösung zeigt sich, daß in der höheren Auflösung nicht mehr Details im Bild aufgelöst werden, allenfalls die Körnigkeit der Emulsion. Da die Verdoppelung der Auflösung von 7 µm auf 14 µm

Digitalbild mit einem Pixelmaß von 5714 mal 6429 Pixeln oder 36,7 Millionen Pixel. Mit 8 Bit Farbtiefe im unkomprimierten TIFF Format ergibt sich für die Graustufenbilder eine Dateigröße von 36,7 Megabyte. Auf die Scanfläche werden die Bilder in vertikaler Reihung in jeweils gleicher Abfolge positioniert: Blau-Auszug oben, Grünauszug mittig und Rotauszug unten. Bei den gebrochenen Diapositiven werden die Bruchstücke möglichst passgenau aneinandergelegt. Neben die Diapositive wird ein transparenter Stufengrau keil gelegt und mit einem Mikroskopie-Objektträger beschwert. Die Fläche, die so in einem Durchgang gescannt wird, beträgt ca. 11 mal 24,5 cm, das Pixelmaß für die so gewonnenen „Rohscans“ beträgt 136 Millionen Pixel (136 Megapixel).

Auf eine automatische Helligkeitsanpassung wurde verzichtet, da sonst jedes Bild mit unterschiedlicher Einstellung gescannt werden würde.

Als definierter Maßstab, anhand dessen die Belichtungssteuerung vorgenommen wird, wird der transparente Stufengrau keil verwendet. Die 13 Abstufungen sind in „optischer Dichte“ von 0,04 (transparenter Träger, Stufe „0“) bis 2,05 (dunkelstes Feld, Stufe „13“) angetragen. Der Dichteumfang der Glasdiapositive schwankt von Motiv zu Motiv und ist insgesamt nicht allzu hoch. Unter den sechs ausgewählten Bildern wurde als Referenz mit dem höchsten Kontrast der Grünauszug von Nr. 07 (Dächer) gewählt und mit einem Densitometer vermessen. Hier reicht der Dichteumfang von 0,17 o. D. in den hellsten Details bis 1,40 o. D. in den dunkelsten Bildstellen. Dieser Dichteumfang muss im Scan verlustfrei übertragen werden. Als Dichteumfang wurde in der Scansoftware ein Bereich von 0,03–1,67 o. D. eingestellt, um sicherzustellen, dass der Tonwertumfang der Vorlagen verlustfrei übertragen wird.

### **6.3.3 Überlagerung der Teilbilder**

Wie bei der Dreifarbenprojektion, müssen sich auch bei der Digitalisierung die drei Einzelbilder passgenau überlagern. Aus dem Rohscan, der die drei Glasplattendiapositive und den Stufengrau keil enthält, werden die einzelnen Bilder im Bildbearbeitungsprogramm ausgeschnitten und als einzelne Graustufenbilder gespeichert. Prinzipiell könnte man die einzelnen Bilder im Bildbearbeitungsprogramm zu einem RGB-Bild montieren, indem man die Auszüge nacheinander in die jeweiligen Farbkanäle eines „leeren“ RGB-Bildes von ausreichendem Pixelmaß kopiert. Durch Verschieben der einzelnen Teilbilder gegeneinander lässt sich Passgenauigkeit näherungsweise herstellen. Die Genauigkeit dieser manuellen Überlagerung erwies sich nach mehreren Versuchen als unzulänglich. Versatz der Teilbilder führte zu Farbsäumen an Kanten, Farbwiedergabe und Schärfe wurden durch diese Artefakte gemindert. Ursache für die manuell nicht erreichbare subpixelexakte Passgenauigkeit war wahrscheinlich die Positionierung der Diapositive auf dem Scanner. Bereits geringe Verdrehungen der einzelnen Bilder gegeneinander

---

auch zur vierfachen Dateigröße führen würde, wurde die niedrigere Stufe gewählt, um die Weiterverarbeitung der Bilddaten nicht durch eine übergroße Datenmenge zu erschweren.



bewirken einen Versatz, der sich im Bildbearbeitungsprogramm nur durch langwierige Korrekturen ausgleichen ließ.

Deshalb wurde entschieden, die Überlagerung mit Hilfe der professionellen Bildbearbeitungssoftware HALCON durchzuführen.<sup>142</sup> Die Überlagerung durch HALCON basiert auf der Transformation der Bildkoordinaten der jeweiligen Teilbilder.<sup>143</sup> Bildkoordinaten sind im digitalisierten Bild durch die Anordnung der Pixel in Reihen und Spalten gegeben, somit lässt sich jedem Pixel eine x- und eine y-Koordinate zuweisen. Die Transformation projiziert ein Ausgangsbild auf ein Zielbild, indem sein Koordinatensystem auf das des Zielbildes abgebildet wird. Um die Konturen der Teilbilder zur Deckung zu bringen, müssen Passpunkte definiert werden, die auf allen drei Bildern identisch sind. Diese Passpunkte können markante Bilddetails sein. Anhand dieser Punkte wird das Koordinatensystem des Ausgangsbildes so umgerechnet, dass die Lage der Passpunkte im Koordinatensystem des Ausgangsbildes der Lage der Passpunkte im Koordinatensystem des Zielbildes entspricht.

Zur Überlagerung der drei Teilbilder der Dreifarbenfotografie wurde der Grünauszug als Zielbild definiert, Rotauszug und Blauauszug werden auf den Grünauszug projiziert.

Das Programm HALCON führt die Umrechnung durch projektive Transformation durch. Die projektive Transformation oder Homographie erfordert prinzipiell vier identische Passpunkte pro Bild, aus denen sich acht Transformationsgrößen ergeben: Vier x- und vier y-Koordinaten. Mit diesen acht Größen können acht Bildänderungen durchgeführt werden. Zwei Translationen (Verschiebung in x- und y-Richtung), zwei Änderungen des Bildmaßstabes (Skalierungen), zwei Drehungen (Scherungen) um die Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  und zwei Bildneigungen (Längs- und Querneigung).

Zur Durchführung der Transformation mit den Operatoren des Programms HALCON muss in der Benutzeroberfläche HDevelop ein Ablaufschema programmiert werden.<sup>144</sup> Im Folgenden werden die wesentlichen Schritte im Ablauf der Bildüberlagerung erläutert.

Ausgangsbild ist der Scan der drei Diaplaten. Da die drei Platten gemeinsam nebeneinander gescannt wurden, werden die Einzelbilder zunächst aus dem Bild ausgeschnitten und separat gespeichert mit der Benennungs-Endung -red, -green, -blue. Die Bestimmung von Passpunkten geschieht über die Generierung von „Regions of Interest“ mit dem „Points Harris“ Operator. Mit diesem Operator werden im Bild einzelne Bereiche definiert. Diese müssen eine bestimmte markante Struktur haben, wie abrupte Helligkeitsänderungen an Kanten. Die Bereiche haben auf ein bestimmtes Pixelmaß begrenzte Größe. Da nur die Pixel dieser ausgewählten Bereiche für die Berechnung herangezogen werden, wird die Rechenzeit verkürzt. Über einen einstellbaren

---

<sup>142</sup> HALCON ist ein umfangreiches und komplexes Programm, das u. a. aus einer Sammlung von über 1150 Bildverarbeitungsoperatoren besteht. Die Software HDevelop stellt eine Benutzeroberfläche zur Verfügung, von der aus die erforderlichen Operatoren zusammengestellt werden. Eine Vielzahl an Aufgabenstellungen aus dem Bereich der maschinellen Bildverarbeitung, Bildanalyse und Bildauswertung kann damit bearbeitet werden. Anwendung findet das Programm beispielsweise in der industriellen Fertigungskontrolle. Herr Dr. Markus Ulrich, MVTec GmbH München, unterstützte freundlicherweise die Arbeit, Frau Dr. Karin Engelhardt, CGI Systems GmbH Seeshaupt, stellte dankenswerterweise eine Evaluierungslizenz zur Verfügung.

<sup>143</sup> Transformationen von Bildkoordinaten stellen in der Photogrammetrie eine wichtige Anwendung dar.

<sup>144</sup> Die Programmierung wurde freundlicherweise von Herrn Dr. Markus Ulrich, MVTec GmbH München, durchgeführt.

Schwellenwert kann die Anzahl der pro Bild erzeugten „Regions of Interest“ geregelt werden. Innerhalb der „Regions of Interest“ wird automatisch ein optimaler Punkt gewählt. Mehrere tausend Punkte pro Bild werden erzeugt. Durch die automatische Generierung werden auch Strukturen erkannt, die keinen Bezug zum abgebildeten Motiv haben und die auch nicht auf allen drei Platten zu finden sind: Staubkörnchen, Retuschen und Schäden in der Bildschicht wie Kratzer oder Schichtabplatzungen. Um solche für die Berechnung störenden Artefakte von der Passpunktdefinierung auszuschließen, werden alle Punkte automatisch nach vorgegebenem Schwellenwert einer Plausibilitätsprüfung unterzogen und unstimmmige Punkte verworfen.

Als Ergebnis dieser Prozessierung liegen wesentlich mehr Punkte in den drei Farbauszügen vor, als für die Berechnung der Homographie erforderlich (es werden minimal vier Punkte benötigt). Diese Überbestimmung der Transformation wird verwendet, um optimale acht Transformationsgrößen im Sinne möglichst genauer Übereinstimmung der Bilder zu berechnen.<sup>145</sup>

Flächen im Bild ohne Strukturen, wie beispielsweise „Himmel“ können keine verwertbaren „Regions of Interest“ zugeordnet werden. Hier wird die Überlagerung anhand der Punkte aus anderen Bildbereichen mit klaren Strukturen durchgeführt. Schließlich erfolgt die Transformationsberechnung der Bildkoordinaten. Die drei Teilbilder werden zu einem RGB-Bild vereint, in dem die neu berechneten Bildkoordinaten der Passpunkte des Rot- und Blau-Teilbildes mit den Bildkoordinaten der Passpunkte im Grün-Teilbild subpixelgenau zusammenfallen.

## **6.4 Steuerung der Farbwiedergabe**

### **6.4.1 Parameter für die Farbdarstellung im digitalen RGB Farbmodell**

Die überlagerten Scans der Auszugs-Diapositive werden durch entsprechende Zuweisung der drei einzelnen Graustufenbilder zu „Farbkanälen“ eines RGB-Bild. Da die Bilder mit acht Bit Farbtiefe gespeichert sind, ergeben sich für die drei Primärfarben der additiven Farbmischung Rot, Grün und Blau jeweils 256 Helligkeitsabstufungen (0–255). Je höher der numerische Wert pro Farbkanal, desto heller ist die jeweilige Primärfarbe. Liegt der Wert für RGB jeweils bei 255 ergibt sich Weiß, beträgt der Wert hingegen null, so ist die Darstellung Schwarz. Gelb wird durch Rot und Grün unter Abwesenheit von Blau gebildet, Magenta entsprechend aus Rot und Blau, Cyan aus Grün und Blau. Die Farbbalance wird vor allem durch die Helligkeit der drei ursprünglichen Diapositive bestimmt. Ist beispielsweise der Blauauszug insgesamt zu dunkel, ergibt sich ein Gelbstich, ist er zu hell, resultiert ein Blaustich.

Für die Farbwiedergabe ist entscheidend, wie die Zuweisung der Auszüge zu den Farbkanälen des Farbraumes erfolgt. Farbraum bezeichnet den Umfang der darstellbaren Farben. Bestimmt wird der Farbraum vor allem durch die Primärfarben Rot, Grün und Blau sowie dem Weißpunkt. Der

---

<sup>145</sup> Auf diesen Zusammenhang verwies Dr. Manfred Stephani (Lehrstuhl Photogrammetrie und Fernerkundung der TU München), der die Arbeit mit großer Hilfsbereitschaft unterstützte.

Weißpunkt ist für unterschiedliche Lichtquellen definiert und wird in den meisten Standardfarbräumen für Normlicht D65 (Tageslichtcharakteristik) angesetzt. Für verschiedene Arbeitsfarbräume sind jeweils verschiedene Primärfarben vorgegeben, die den Farbumfang und damit die Bandbreite codierbarer Farbwerte definieren.

Bei der Bearbeitung von konventionellen Bildern richtet sich die Wahl des geeigneten Farbraumes auch nach der gewünschten Ausgabe des Bildes. Standardfarbraum für Bilder, die vorwiegend am Bildschirm betrachtet werden (Windows-Anwendungen, Internet) ist *sRGB*. Seine Primärfarben basieren auf den Farbwerten der Leuchtphosphore in konventionellen Röhrenmonitoren. Er ist in der Norm DIN EN 61966-2-1 (2003)<sup>146</sup> definiert. Daneben gibt es eine Reihe anderer Farbräume mit verschiedenen, auf das jeweilige Ausgabemedium optimierten Eigenschaften. Das Bildbearbeitungsprogramm „Adobe Photoshop“ hält den eigenen Farbraum *Adobe RGB* bereit, der sich von *sRGB* vor allem durch eine größere Farbskala für Grüntöne unterscheidet. Er wird beispielsweise in der Druckvorstufe für den professionellen Offset Druck verwendet.

Für konventionelle Digitalbilder, wie sie von Farbscannern oder Digitalkameras erzeugt werden, kann die Farbwiedergabe im Ausgabemedium durch die Einbindung eines Profils in die Bilddaten gesteuert werden. Ein Profil ist eine Anweisung für die Umsetzung von RGB-codierten Farbwerten in darzustellende Farben. Es kann als Rechenvorschrift oder in Tabellenform vorliegen. Nach dem International Color Consortium, das die Vorgaben für die Erstellung solcher Profile festgelegt hat, spricht man von ICC-Profilen.

#### **6.4.2 Auswahl von Farbräumen**

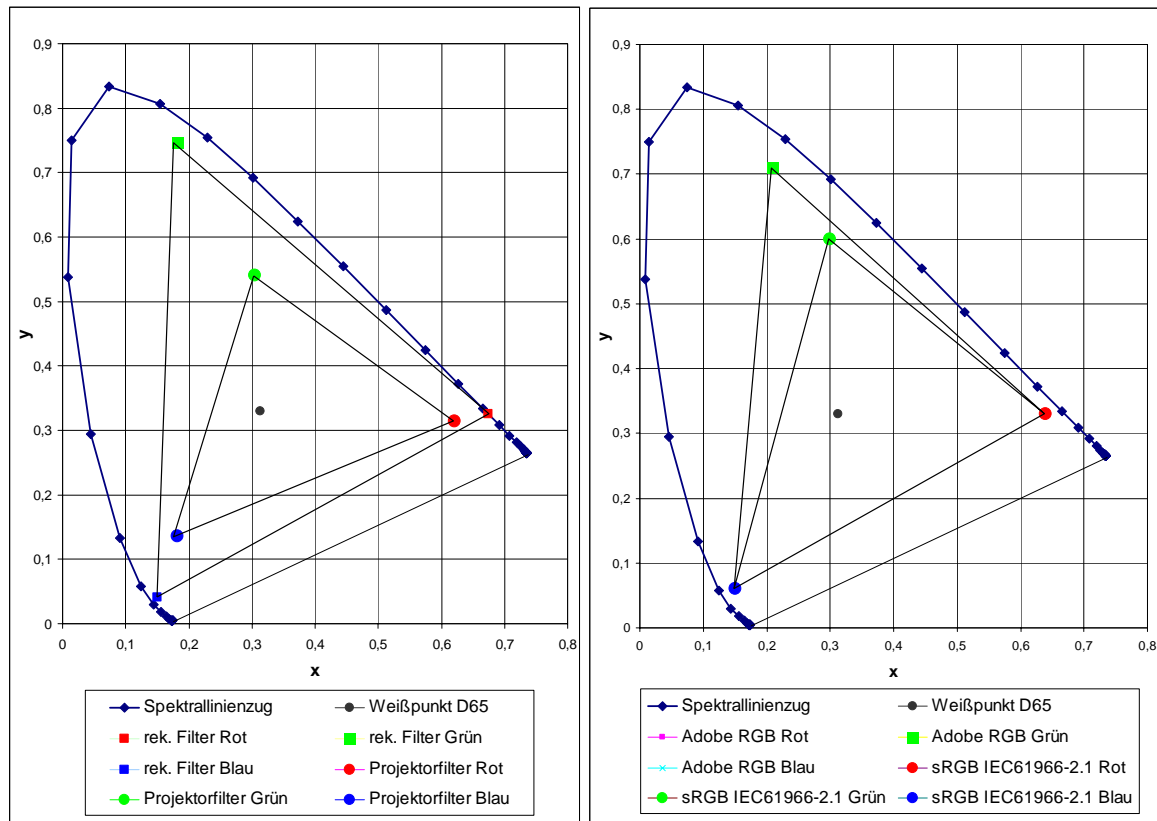
Das nach der Überlagerung entstandene RGB-Bild hat noch keine definierte Zuweisung zu einem Farbraum und kein Profil, das die Farbwiedergabe steuert. Öffnet man das Bild im Bildbearbeitungsprogramm, kann es in einen Arbeitsfarbraum konvertiert werden. Unterschiedliche Arbeitsfarbräume führen zu unterschiedlicher Farbzueweisung und damit zu unterschiedlicher Farbwiedergabe (vgl. die Versuchsreihe im Bildteil S. 22). Es entsteht eine vom Anwender vorgenommene willkürliche Zuweisung von Farbwerten. Es stellt sich die Frage, welcher Farbraum für die Digitalisierung der Dreifarbenbilder geeignet ist.

Erste Versuche werden mit den Farbräumen *sRGB* und *Adobe RGB* unternommen. Beide Farbräume ergeben eine Farbwiedergabe, die – nach subjektivem Empfinden – bereits gute Resultate liefert. Die Farben erscheinen weitgehend natürlich, die Farbbalance ist einigermaßen ausgewogen. Allerdings unterscheidet sich die Wiedergabe in den beiden Farbräumen; *sRGB* ergibt Bilder mit niedriger Farbsättigung, vor allem bei grünen Farbtönen, *Adobe RGB* ergibt Bilder mit höherer Farbsättigung und intensiven Grüntönen. Ursache für die intensiveren Grüntöne ist vor allem die höhere Sättigung der grünen Primärvalenz bei *Adobe RGB*. Der Unterschied der beiden

---

<sup>146</sup> DIN EN 61966-2-1; Norm 2003-09: Multimediasysteme und -geräte - Farbmessung und Farbmanagement - Teil 2-1: Farbmanagement; Vorgabe-RGB-Farbraum, sRGB.

Farbräume wird deutlich, wenn man die valenzmetrischen Farbmaßzahlen<sup>147</sup> der Primärfarben in der zweidimensionalen Darstellung des Farbraumes im CIE-x, y Diagramm anträgt (Diagramm 15, 16). Zur Methode der Ermittlung von valenzmetrischen Farbmaßzahlen siehe Anhang.



**Diagramm 15, 16:** Farbraumdarstellung im CIE x, y Diagramm (Darstellung für den farbmetrischen 2°-Normalbeobachter CIE 1931)

<sup>147</sup> Die x,y-Werte für den sRGB Farbraum wurden der Norm DIN EN 61966-2-1 entnommen, die x,y-Werte für Adobe RGB sind im Bildbearbeitungsprogramm Adobe Photoshop über das Menü „Farbeinstellungen“ abrufbar.

<b>valenzmetrische Farbmaßzahlen</b>			
rekonstruierte Gelatine-Glasfilter		Primärfarben von Standardfarbraum Adobe RGB	
Rot	x 0,674	Rot	x 0,64
	y 0,325		y 0,33
Grün	x 0,182	Grün	x 0,21
	y 0,747		y 0,710
Blau	x 0,151	Blau	x 0,150
	y 0,041		y 0,060
Filter im MIETHE-GOERZ-Projektor		Primärfarben von Standardfarbraum sRGB DIN EN 61966-2-1 (2000)	
Rot	x 0,620	Rot	x 0,64
	y 0,315		y 0,33
Grün	x 0,304	Grün	x 0,30
	y 0,541		y 0,60
Blau	x 0,182	Blau	x 0,15
	y 0,135		y 0,06

Angegeben sind die Farbwerte der Primärvalenzen als x/y Koordinaten. Diese Koordinaten bilden die Eckpunkte eines Dreiecks. Je größer die vom Dreieck überspannte Fläche, desto größer ist der im Farbraum darstellbare Farbumfang. Je stärker die erzielbare Farbsättigung der Primärvalenzen, desto weiter verschieben sich ihre x/y Koordinaten in Richtung des Kurvenzuges für die Spektralfarben. Diese Kurve beginnt in der linken unteren Ecke des Diagramms mit dem blauen Spektralbereich und läuft kontinuierlich über Grün (Scheitel der Kurve) nach Rot. Bei gleichen Werten für die Primärfarben Rot und Blau hat die Primärfarbe Grün im Farbraum *Adobe RGB* eine höhere Farbsättigung, da sie näher am Kurvenzug der Spektralfarben liegt.

Ziel bei der Farbgebung der Digitalbilder soll die Simulation der Farbwiedergabe sein, die sich in der Dreifarbenprojektion durch die Beschaffenheit der Lichtfilter im Projektor ergibt. Die Farbzueweisung mittels Standardfarbräumen ist daher als Methode unsicher.

Zunächst soll die farbmtrische Analyse der erhaltenen Lichtfilter im GOERZ-Projektor als Grundlage für die Farbzueweisung dienen.<sup>148</sup> Die Filter werden mit einem Spektralphotometer<sup>149</sup> vermessen und aus den Transmissionsspektren Farbwerte errechnet. Die Berechnung<sup>150</sup> erfolgte

<sup>148</sup> Alterungsbedingt weichen die Filter wahrscheinlich stark von der ursprünglichen Beschaffenheit ab. Es ist anzunehmen, dass der rote und grüne Gelatine-Glasfilter verblasst sind. Ob der blaue Glasfilter original oder eine spätere Ergänzung ist, ist ungewiss. Sie wurden trotzdem untersucht, um den gegenwärtigen Zustand zu dokumentieren und um Vergleichswerte zu erhalten.

<sup>149</sup> Frau Dr. Heike Stege ermöglichte freundlicherweise die Nutzung des Gerätes des Doerner Instituts der Bayerischen Staatsgemäldesammlungen.

<sup>150</sup> Alle Berechnungen wurden mit dem Tabellenkalkulation „Microsoft Excel“ durchgeführt.

nach dem von der COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE vorgegebenen Verfahren<sup>151</sup> sowie der Norm DIN 5033-4, 1992-07, Farbmessung; Spektralverfahren. In der Darstellung im CIE-x, y Diagramm ist deutlich, dass die Filter geringere Farbsättigung als die Primärfarben der Standardfarbräume aufweisen.

Um bei der Farbzuzuweisung für die digitalen Farbbilder näher an die originale Farbigekeit zu kommen, wie sie sich bei der Projektion ergibt, wurde ein anderer Weg beschritten. Anhand der Rekonstruktion von Projektionsfiltern soll die ursprüngliche Farbwiedergabe simuliert werden. Die Herstellung erfolgt mit originalen Filterfarbstoffmischungen nach zeitgenössischen Vorschriften unter Bezug auf Angaben MIETHES.<sup>152,153</sup> Die errechneten valenzmetrischen Farbmaßzahlen dienen als Grundlage für die Einrichtung eines eigenen Farbraumes.

### **6.4.3 Erstellung eines eigenen Farbraumes anhand rekonstruierte Projektionsfilter**

Im Bildbearbeitungsprogramm wird anhand der valenzmetrischen Farbmaßzahlen (x/y-Koordinaten) ein eigener Farbraum eingerichtet.<sup>154</sup> Weitere Parameter des Farbraumes sind Weißpunkt und „Gamma“<sup>155</sup>. Gewählt wird der Weißpunkt für Normlicht D65 (Tageslichtcharakteristik) und ein Gammawert von 2,2 wie er auch in anderen Farbräumen Standard ist. Die hohe Farbsättigung der rekonstruierten Filter lässt sich im CIE-x, y Diagramm anhand der nahe an den Spektrallinienzug reichenden Eckpunkte des Farbdreiecks ablesen. Es stellt sich heraus, dass die Primärvalenzen der Lichtfilter denen des Farbraums *Adobe RGB* nahe kommen.

Der so berechnete Farbraum wird gespeichert und im Bildbearbeitungsprogramm als Arbeitsfarbraum definiert. Öffnet man das Bild im Bildbearbeitungsprogramm, wird es in diesen Arbeitsfarbraum konvertiert, beim Speichern können die Werte des Arbeitsfarbraumes dem Bild als Profil zugewiesen werden. Das Profil stellt dann eine eindeutige Interpretationsvorschrift für die Umsetzung der RGB-Werte zu Farben dar. Bei der Weitergabe der Bilddaten an verschiedene Ausgabemedien kann so die Farbwiedergabe verbindlich definiert werden. Reproduzierbar ist diese Farbgebung allerdings nur, wenn das Ausgabe- oder Darstellungsgerät kalibriert ist und die Profilinformatoren umsetzen kann.

---

<sup>151</sup> COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE: Colorimetry; Publication CIE Nr. 15.2, Wien 1986.

<sup>152</sup> MIETHE 1908, S. 55.

<sup>153</sup> Zur Herstellung und farbmetrischen Analyse der Lichtfilter siehe Anhang.

<sup>154</sup> Das Programm *Adobe Photoshop 6* stellt über das Menü „Farbeeinstellungen“ ein Eingabefenster bereit, in dem die Werte festgelegt werden können.

<sup>155</sup> Der Gammawert ist ein Maß für die nichtlineare Codierung der Helligkeitsabstufungen oder des Kontrastes im Bild. Mit Hilfe dieser Codierung werden physikalisch intensitätslineare Helligkeitsabstufungen (Wie sie beim Scanvorgang erfasst werden) so skaliert, dass sie sich dem Helligkeitsempfindungsvermögen des menschlichen Auges anpassen. Erforderlich ist diese Umsetzung, da das Auge Helligkeitsabstufungen nicht linear, sondern logarithmisch gewichtet wahrnimmt. Angegeben als Gammawert wird üblicherweise nur der Kehrwert des Exponenten der Funktion  $y = x^{1/\text{Gamma}}$ . Standardwert für *Windows*-Applikationen ist 2,2, für *Apple Macintosh* 1,8.

## 6.5 Diskussion der Ergebnisse

Die Eigenschaften der nach der dargelegten Methode erzeugten Farbbilder sind auf die im Folgenden beschriebenen Parameter der einzelnen Prozessstufen zurückzuführen. Wiedergabe der Bilddetails mit hoher Schärfe und natürlicher Tonwertabstufung sind dem hochwertigen Scanner und der sorgfältigen Belichtungssteuerung beim Scannen zu verdanken. Würde man von den Digitalbildern Ausdrücke machen und setzt man als Maß für die Ausgabeauflösung einen Wert von 300 Pixeln pro Zoll an, könnten die Bilder in einer Größe von ca. 45 x 50 cm ausgegeben werden. Da alle Bilder mit der gleichen Einstellung gescannt werden, bleiben Unterschiede in Helligkeit und Kontrast erhalten. Der individuelle Bildkontrast, wie er durch das Motiv gegeben war oder durch den Fotografen abgestimmt wurde, ist somit für den Betrachter nachvollziehbar. Die Überlagerung mit dem Programm HALCON kann als perfekt bezeichnet werden.

Die Farbwiedergabe ist im Wesentlichen von dem jeweils zugewiesenen Farbraum abhängig. Die resultierende Farbsättigung im Bild steht im Zusammenhang mit den jeweiligen Primärfarben, was durch die graphische Darstellung im CIE-x, y Diagramm nachvollzogen werden kann. Aus den Farbwerten der rekonstruierten Filter einen Farbraum zu generieren, der die Farbwiedergabe bei der Projektion simuliert, ist weitgehend möglich. Die hohe Farbsättigung der rekonstruierten Filter führt erwartungsgemäß zu Bildern, die sich durch sehr intensive Farben, vor allem bei Grüntönen auszeichnen. Nimmt man die Farbwerte der erheblich schwächer gesättigten Filter des GOERZ-Projektors, entstehen Bilder mit „bläseren“ Farben.<sup>156</sup> Im Vergleich mit dem parallel durchgeführten Versuch zur Rekonstruktion der Dreifarbenprojektion zeigt sich, dass die Projektion durch die rekonstruierten Filter ebenfalls zu einer intensiven Farbwiedergabe führt, allerdings auf Kosten der Bildhelligkeit, denn die Eigenschaft der rekonstruierten Filter – hohe Farbsättigung – geht einher mit einem schmalbandigen Verlauf der Transmissionskurve: Die Filter lassen nur einen kleinen Teil des Spektrums passieren, sie „schlucken“ viel Licht. Es ist denkbar, dass zur Zeit MIETHES doch eher Filter mit breitbandigerer Transmission verwendet wurden, die zu einem helleren, wenn auch weniger farbintensiven Projektionsbild führten.

Einige Bilder weisen eine leichte, unterschiedlich stark ausgeprägte Verschiebung des Farbgleichgewichtes in Richtung Grün auf. Ursache könnte die Abstimmung der Glasdiapositive auf die originale Lichtquelle im GOERZ-Projektor sein. Wenn das Kohlebogenlicht im orange-roten Bereich des Spektrums eine höhere Strahlungsleistung als Tageslicht hat, gleicht sich der Farbstich aus. Eine Korrekturmöglichkeit für die Digitalbilder wäre durch selektive Abdunkelung des Grünkanals gegeben, wodurch sich die Farbbalance steuern lässt.

Wenn auch die oben vorgestellte Methode als gut geeignet erscheint, bleiben doch einige diskussionswürdige Aspekte. Zunächst ist festzustellen, dass die klaren und zum Teil intensiven Farben den Bildern eine lebhaft Brillanz geben, die man von „alten“ Farbfotografien nicht

---

<sup>156</sup> Es muss darauf hingewiesen werden, dass nicht die „natürliche“ Farbe des Motivs wiedergegeben werden soll, sondern der Farbeindruck in der Projektion.

gewohnt ist. Sehgewohnheiten und subjektive Erwartungen an die Farbwiedergabe sind zwar von Betrachter zu Betrachter unterschiedlich, werden aber durch das Aufeinandertreffen bzw. die Vereinigung von „alten“ Bildern und „modern“ wirkender Farbigkeit irritiert. In diesem Zusammenhang spielt auch die Wahl des Ausgabemediums eine Rolle: So sind beispielsweise ein Computerbildschirm oder hochglänzendes Fotopapier, das für die Ausbelichtung gewählt wurde, Medien, die mit der ursprünglichen Präsentation des projizierten Bildes nichts gemein haben. Der Umfang an darstellbaren Farben und Helligkeitsabstufungen unterscheidet sich bei dieser Ausgabeform ebenfalls von den Gegebenheiten der Dreifarbenprojektion. Festzuhalten ist, dass der Datensatz, mit dem das digitale Farbbild definiert ist, per se noch kein „Bild“ ist. Das Bild entsteht erst durch die Überführung in ein Ausgabe- oder Darstellungsmedium. Dessen Eigenschaften beeinflussen maßgeblich den Bildeindruck. Eine Annäherung an die originale Präsentationsform ist durch die Ausgabe als Farbdia positiv und dessen Projektion möglich.

Ein unkritischer Betrachter könnte die digitalen Farbbilder als „rekonstruierte Bilder“ auffassen. Bei der Digitalisierung wird jedoch lediglich auf Basis der rekonstruierten Filter eine Farbzuzuweisung durchgeführt. Damit kann zwar eine Annäherung an die originale Farbigkeit erreicht werden, der ursprüngliche Bildeindruck ist aber zwingend mit der Dreifarbenprojektion verbunden.

Das Funktionsprinzip der Dreifarbenfotografie und der dreifachen Projektion ist bei den digitalen Farbbildern nicht mehr unmittelbar nachvollziehbar. Sie unterscheiden sich nicht von anderen digitalisierten, historischen Farbfotografien. Dadurch besteht die Gefahr, den technikgeschichtlichen Entstehungszusammenhang zu verschleiern.

Als Vorteil und Chance der Wiedergewinnung der Farbigkeit auf digitalem Weg sind dagegen folgende Gesichtspunkte festzuhalten: Solange kein praxistaugliches Projektionssystem rekonstruiert ist, bietet die Digitalisierung die einzige Möglichkeit, die Aufnahmen als Farbfotografien wiedergeben zu können. Die Zugänglichkeit der Bilder wird durch eine Präsentation durch Projektion stark eingeschränkt. Ort, Zeit, Auswahl und Reihenfolge der Bilder sind bei einer Vorführung festgelegt und nur Wenige werden die Möglichkeit haben, die Bilder auf diese Weise betrachten zu können. Mit der Digitalisierung besteht ein Weg, die Fotografien einem größeren Publikum zu zeigen. Man kann sich leicht und effizient einen Überblick über den Bestand schaffen. Durch die Einbindung in eine computergesteuerte Bildschirmpräsentation würde sich die Möglichkeit ergeben, auch den theoretischen Hintergrund des originalen Verfahrens darzustellen.

Die digital gewonnenen Farbbilder können die Originale nicht ersetzen. Sie stellen ein adäquates Hilfsmittel dar zur Annäherung an das farbfotografische Werk MIETHES.



## **7 Fazit**

### **Das Verfahren der additiven Dreifarbenfotografie nach MIETHE**

MIETHES Verfahren der additiven Dreifarbenfotografie nimmt unter den frühen farbfotografischen Prozessen eine besondere Stellung ein, denn seine Leistungen reichen von naturwissenschaftlicher Forschung auf dem Gebiet der Fotochemie über die ingenieurmäßige Konstruktion von Kamera und Projektoren bis hin zur künstlerisch ambitionierten Landschaftsfotografie. In der vorliegenden Arbeit wird deutlich, dass MIETHE alle Prozessstufen von der Aufnahme bis zur Wiedergabe optimiert und damit die technischen Möglichkeiten seiner Zeit ausschöpft. Vor allem die Wiedergabe der Diapositive in der Projektion wird von ihm perfektioniert.

Bei der Aufnahme der Fotografien nimmt er die Beschränkungen des sukzessiven Aufnahmeprinzips in Kauf. Die von ihm verwendete Wechselschlittenkamera ermöglicht jedoch eine schnelle Aufnahmefolge der drei Teilbilder. Durch das verhältnismäßig kleine Aufnahmeformat, einklappbare Bauteile und den Verzicht auf aufwändige Verstellmöglichkeiten ist diese kompakte Laufbodenkamera leicht und mobil. Aufnahmen, die bei Expeditionen nach Ägypten und Norwegen entstanden sind, belegen die geringe Störanfälligkeit des Verfahrens auch unter extremen klimatischen Bedingungen.

Der von MIETHE 1903 konstruierte und von der Firma GOERZ gebaute Projektor aus dem Bestand des Deutschen Museums ist ein präzise gefertigtes Hochleistungsgerät. Mit dem ursprünglichen Beleuchtungssystem konnten die Diapositive auf bis zu 20 Quadratmeter Größe projiziert werden. Das Problem, die drei Teilbilder deckungsgleich übereinander zu projizieren, löst MIETHE, indem er die Diapositive in einen gemeinsamen Rahmen montiert. Darin wird ihre Justierung bereits vor der Vorführung festgelegt und fixiert. Der Bildwechsel ließ sich so schnell und ohne umständliches Nachregulieren vornehmen.

Dass die additive Dreifarbenfotografie nach MIETHE bald von anderen Verfahren abgelöst wurde, liegt an den prinzipbedingten Nachteilen, die die Methode aufweist. Die Zeitparallaxe bei der Aufnahme schränkt die Anwendung auf statische Motive ein. Zudem waren Dreifarbenprojektionsapparate durch ihren komplizierten Aufbau teuer und nur für wenige erschwinglich.

### **Methoden zur Wiedergabe der erhaltenen Diapositive als Farbfotografien**

Die Ergebnisse zur Konzeption einer modellhaften Dreifarbenprojektion und der Erstellung von digitalen Farbbildern aus den Diapositiven werden im Folgenden zusammengefasst. Sowohl bei der Auswahl geeigneter Lichtfilter für die Projektion wie zur Steuerung der Farbwiedergabe in der Digitalisierung wurde die Beschaffenheit der originalen Projektionslichtfilter als maßgeblich erachtet. Die im GOERZ-Projektor erhaltenen Lichtfilter können aufgrund von alterungsbedingter Veränderung hier nicht zu Grunde gelegt werden. Um Transmissionseigenschaften von Filtermedien aus der Zeit MIETHES ermitteln zu können, wurden Gelatine-Glas-Lichtfilter nach

zeitgenössischen Angaben angefertigt. Hierfür wurden originale Filterfarbstoff-Präparate für Dreifarbenfotografie der Farbwerke Höchst verwendet. Die spektralfotometrische Messung zeigte, dass die Transmissionseigenschaften der rekonstruierten Lichtfilter den Angaben MIETHES entsprechen. Aus den Transmissionsspektren wurden valenzmetrische Farbmaßzahlen errechnet.

### **Rekonstruktion der Dreifarbenprojektion**

Die durchgeführten Untersuchungen und Versuchsreihen zur modellhaften Dreifarbenprojektion ergeben folgende Ergebnisse. Um qualitätvolle Reproduktionen der Diapositive zu erhalten, liefert das „klassische“ zweistufige Verfahren über den Weg der Anfertigung von Zwischennegativen gute Resultate. Vorteil der Methode ist, dass vom Zwischennegativ beliebig Kopien angefertigt werden können, ohne die originalen Diapositive heranziehen zu müssen. Das gleiche gilt auch für die digitale Ausbelichtung von Schwarzweißdiapositiven der durch Einscannen gewonnenen Bilddateien. Allerdings zeigte sich, dass der hierfür verwendete Farbdiafilm in der Projektion einen anderen Bildeindruck ergibt als Schwarzweißmaterial: Die digital ausbelichteten Dias sind von geringerem Kontrast. Soll dieses Verfahren zur Anwendung kommen, muss der Bildkontrast für die Ausbelichtung auf chromogenem Filmmaterial entsprechend erhöht werden.

Das gewählte Kleinbildformat gibt den Detailreichtum der Vorlagen nur in reduzierter Form wieder. Reproduktionen in Mittelformat könnten die Schärfe der originalen Diapositive adäquat wiedergeben.

Bei den Versuchsreihen zur Auswahl geeigneter Projektionsfilter zeigte sich, dass Kunststofffolienfilter gut geeignet sind. Ausgewählt wurden Filter, deren Transmissionseigenschaften den rekonstruierten Gelatine-Glas-Lichtfiltern nahe kommen.

Die größte Schwierigkeit hinsichtlich der Projektion war die exakte Überlagerung der Teilbilder. Soll eine Installation zur Dreifarbenprojektion im Rahmen einer Ausstellung gezeigt werden, ist der versuchsweise durchgeführte Aufbau mit drei einzelnen Projektoren nicht geeignet. Das Einstellen der Geräte ist umständlich und die Passgenauigkeit der Überlagerung blieb durch Vibration der Geräte nur kurze Zeit erhalten. Die Dreifarbenprojektion erfordert daher den Bau eines speziellen Projektors, der sich in den Konstruktionsmerkmalen an den von GOERZ gebauten Apparat anlehnt. Eine gemeinsame Grundplatte für die drei Diapositive gewährleistet dauerhaft die einmal festgelegte exakte Überlagerung.

### **Erstellung von digitalen Farbbildern**

Von sechs Fotografien (18 Diapositive) wurden hoch aufgelöste Scans von je ca. 36 Megapixeln angefertigt. Der Detailreichtum der Vorlagen konnte so verlustfrei erfasst werden. Nachteil des Verfahrens ist, dass hierfür die Diapositive aus den Rahmen genommen werden mussten. Dies verändert die ursprüngliche Fixierung und ist mit dem Risiko einer Beschädigung verbunden. Sollen alle 31 Bilder des Bestandes digitalisiert werden, wird daher vorgeschlagen, die Diapositive mit einer Digitalkamera zu fotografieren. Die geringere erzielbare Auflösung im Vergleich zum Scannen ist für eine Bestandsübersicht und für Recherchezwecke als ausreichend zu bewerten.

Zur Überlagerung der Scans wurde das Programm HALCON verwendet, das durch projektive Transformation der Bildkoordinaten eine subpixelgenaue Übereinstimmung der Teilbilder erreicht. Über die Einrichtung eines eigenen Farbraums im Bildbearbeitungsprogramm wurde die Farbwiedergabe gesteuert. Unter der Prämisse, dass die mit originalen Farbstoff-Präparaten rekonstruierten Gelatine-Glas-Lichtfilter in ihren Farbwerten Projektionslichtfiltern aus der Zeit Miethes entsprechen, wurden ihre valenzmetrischen Farbmaßzahlen ermittelt und zur Definition dieses Farbraumes verwendet. Damit wurde die Farbzuzuweisung unter Bezug auf die ursprüngliche Wiedergabeform durchgeführt und auf subjektive Manipulation verzichtet.

Die so erzeugten digitalen Farbbilder zeichnen sich durch klare und weitgehend realistisch wirkende Farben aus. Die Schärfe übertrifft bei weitem die bei den Versuchen zur modellhaften Dreifarbenprojektion erreichte, da das Problem der passgenauen Überlagerung sich auf digitalem Weg vollkommen lösen lässt. Allerdings ist der Bildeindruck nicht mit dem in der Dreifarbenprojektion zu vergleichen. Der digitale Datensatz ist erst dann ein „Bild“, wenn er in ein Ausgabe- oder Darstellungsmedium überführt wird. Dessen Eigenschaften beeinflussen maßgeblich den Bildeindruck. Darstellung auf einem Bildschirm oder Ausbelichtung auf Fotopapier haben mit der ursprünglichen Wiedergabeform nichts gemeinsam. Die derart generierten Bilder lassen sich nicht von anderen digitalisierten historischen Farbfotografien unterscheiden; das zugrunde liegende Prinzip der additiven Farbmischung in der dreifachen Projektion wird nicht mehr deutlich. Der technikgeschichtliche Hintergrund der Dreifarbenfotografie kann so nicht unmittelbar nachvollzogen werden.

Vorteil der Digitalisierung ist, dass damit zurzeit die einzige Möglichkeit besteht, MIETHES Fotografien in Farbe darstellen zu können. Auch wenn eine vorführtaugliche Rekonstruktion der Dreifarbenprojektion gegeben wäre, würde diese Präsentation nur einen stark eingeschränkten Zugang zu den Fotografien ermöglichen, da Zeit und Ort der Vorführung festgelegt sind. Die digitalen Farbbilder können im Rahmen von Forschung und Vermittlung einem größeren Publikum zugänglich gemacht werden. Über die Einbindung des theoretischen Hintergrundes in eine computergesteuerte Bildschirmpräsentation ließe sich der Bezug zum originalen Verfahren verdeutlichen.

Rückblickend ist festzuhalten, dass beide „auf der Suche nach der verlorenen Farbe“ durchgeführten Methoden erfolgreich durchgeführt werden können, sich aber für jeweils unterschiedliche Zielsetzungen empfehlen. Mit der Realisierung beider Verfahren – Digitalisierung des Bestandes und Dreifarbenprojektion ausgewählter Fotografien – eröffnet sich die Möglichkeit, Erschließung und Vermittlung zu verknüpfen um die prominente Stellung, die die additive Dreifarbenfotografie MIETHES im Bereich der frühen Farbfotografie einnimmt, angemessen zu würdigen.



## **8 Literatur**

BAIER, WOLFGANG: Quellendarstellungen zur Geschichte der Fotografie, Leipzig 1980

BERGER, ARTHUR: Das Giessen von Gelatineplatten für Strahlenfilter, in: Photographische Rundschau 18. Jg. (1903), Nr. 19, S. 235-236

BERGER-SCHUNN, ANNI: Praktische Farbmessung, Göttingen 1994

CALLIER, ANDRÉ: Plaques Orthochromatiques, in: Bulletin Association Belge de Photographie (1904), S. 42-53

CIE Colorimetry 1986: COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE: Colorimetry; Publication CIE Nr. 15.2, Wien 1986

COE, BRIAN: Farbfotografie und ihre Verfahren. Die ersten hundert Jahre in natürlichen Farben 1840–1940, München 1979

CONZELMANN, THEODOR: Deutsches Museum von Meisterwerken der Naturwissenschaft und Technik München – Photographie. Ein Führer durch die Abteilung, München 1941

DAVID, LUDWIG: Ratgeber für Anfänger im Photographieren, Halle a. S. 1904

DIEHL, HERMANN: Die historische Entwicklung der photographischen Objektive und ihr Zusammenhang mit der axialen Modulationsübertragungsfunktion. Diss. Ludwig-Maximilians-Universität München, München 1968

DONATH, B.: Der Projektionsapparat der Urania für Dreifarbenphotographie, in: Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie 1. Jg. (1903) S. 94-97

EBERT, LEOPOLD: Die Herstellung von Diapositiven zu Projektionszwecken, in: Deutscher Kamera-Almanach (1906), S. 211-232

EDER, JOSEF MARIA: Geschichte der Photographie / Ausführliches Handbuch der Photographie. Erster Band, Erster Teil, Erste Hälfte, Halle 1932

EMMERICH, G. H.: Lexikon für Photographie und Reproduktionstechnik (Chemigraphie, Lichtdruck, Heliogravüre), Wien 1910

FREY, FRANZISKA: Digital Imaging as a Tool in Preservation, Preprint from the 9<sup>th</sup> International Congress of IADA, Copenhagen, August 15-21, 1999

FRITSCH, ALBERT (Hrsg.): Bund der Chemigraphischen Anstalten, Kupfer- und Tiefdruckereien Deutschlands e. V. 1903–1928, Berlin 1928 (Denkschrift)

FÜßL, WILHELM, und HELMUT TRISCHLER (Hrsg.): Geschichte des Deutschen Museums, München 2003

HASSACK, KARL, und KARL ROSENBERG: Die Projektionsapparate, Laternenbilder und Projektionsversuche in ihren Verwendungen im Unterrichte, Wien und Leipzig 1907

HAUBERRISSER, GEORG: Anleitung zum Projizieren, München 1912

HOFFMANN, DETLEF und ALMUT JUNKER: Laterna Magica / Lichtbilder aus Menschenwelt und Götterwelt, Berlin 1982

HRABALEK, ERNST: Laterna Magica / Zauberwelt und Faszination des optischen Spielzeugs, München

HÜBEL, ARTHUR: Die Dreifarbenphotographie mit besonderer Berücksichtigung des Dreifarbedruckes und der photographischen Pigmentbilder in natürlichen Farben, Halle a. S. 1902

HÜBEL, ARTHUR: Die Photographischen Lichtfilter, Halle a. S. 1910

HUNT, R. W. G.: The Reproduction of Colour, London 1967

HUNT, R. W. G.: Measuring Colour, London 1991

KAISERLING, C.: Die Photographie in natürlichen Farben, in: Deutscher Kamera-Almanach (1905) S. 14-23

KEMP, WOLFGANG: Foto-Essays: zur Geschichte und Theorie der Fotografie, München 1978

KINGSLAKE, RUDOLF: A History of the Photographic Lens, London 1989

KÖNIG, ERNST: Aus der Praxis der Dreifarbenfotografie, in: Photographische Mitteilungen Halbmonatsschrift für Amateur-Photographie 41. Jg. (1904) S. 67-70

KOSHOFER 1981 a: KOSHOFER, GERT: Farbfotografie/1 Alte Verfahren, München 1981a

KOSHOFER 1981 b: KOSHOFER, GERT: Farbfotografie/2 Moderne Verfahren, München 1981b

KOSHOFER 1981 c: KOSHOFER, GERT: Farbfotografie/3 Lexikon der Verfahren, Geräte und Materialien, München 1981c

KRAUS, HELMUT: Photoshop 6 und ImageReady 3 / perfekte Bildverarbeitung für Print- und Screendesign, München 2001

LAVÉDRINE, BERTRAND: A Guide to the Preventive Conservation of Photograph Collections, Los Angeles

LETTNER, G.: „Skioptikon“ Einführung in die Projektionskunst, Leipzig 1905

LIESEGANG, PAUL: 70 Jahre photographische Laternenbilder – ein Beitrag zur Geschichte der Projektionskunst. In: Die photographische Industrie (1918) Nr. 42, S. 61

MANSON, DOUG: On Duplicating Black and White Negatives (Part II), in: Rundbrief Fotografie N. F. 7 (1995) S. 14f

MARCHESI, JOST J.: Photokollegium 1, Schaffhausen 1988

MARCHESI, JOST J.: Handbuch der Fotografie Bd. 1, Schaffhausen 1993

MARCHESI, JOST J.: Handbuch der Fotografie Bd. 2, Schaffhausen 1995

MARCHESI, JOST J.: Handbuch der Fotografie Bd. 3, Gilching 1998

MIETHE, ADOLF: Das Heliochromoskop als Hilfsmittel im Dreifarbendruck. In: Jahrbuch für Photographie und Reproduktionstechnik für das Jahr 1901, (1901) S. 461-464

MIETHE 1902 a: MIETHE, ADOLF: Kann der Fachphotograph jetzt bereits die farbige Photographie verwenden? In: Das Atelier des Photographen, 9. Jg. (1902), Nr. 6, S. 104-108

MIETHE 1902 b: MIETHE, ADOLF: Die Selbsterstellung guter Gelbfilter für Reproduktion nach farbigen originalen mittels Erythrosinplatten, in: Zeitschrift für Reproduktionstechnik 4. Jg. (1902), S. 162-164

MIETHE 1902 c: MIETHE, ADOLF: Tagesfragen, in: Zeitschrift für Reproduktionstechnik 4. Jg. (1902), S. 17-18

MIETHE 1902 d: MIETHE, ADOLF: Ueber Farbenphotographie, in: Prometheus / Illustrierte Wochenschrift über die Fortschritte in Gewerbe, Industrie und Wissenschaft 13 Jg. (1902), Nr. 653, S. 455-456

MIETHE, ADOLF: Eine neue Methode, die Filter im Mehrfarbendruck dem Charakter der Platte anzupassen, in: Zeitschrift für Reproduktionstechnik 5. Jg. (1903), S. 66-68

MIETHE 1904 a: MIETHE, ADOLF: Dreifarbenphotographie nach der Natur nach den am Photochemischen Laboratorium der Technischen Hochschule zu Berlin angewandten Methoden. Halle 1904 a

MIETHE 1904 b: MIETHE, ADOLF: Der Dreifarben-Projectionsapparat für die deutsche Unterrichts-Ausstellung in St. Louis, in: Prometheus – Illustrierte Wochenschrift über die Fortschritte in Gewerbe, Industrie und Wissenschaft 15. Jg. (1904 b), S. 471-474

MIETHE, ADOLF: Die geschichtliche Entwicklung der farbigen Photographie. Rede zur Feier des Geburtstages Seiner Majestät des Kaisers und Königs Wilhelm II [...], Berlin 1905

MIETHE, ADOLF: Künstlerische Landschafts-Photographie / zwölf Kapitel zur Ästhetik photographischer Freiluftaufnahmen, Halle 1906

MIETHE, ADOLF und H. HERGESELL (Hrsg.): Mit Zeppelin nach Spitzbergen – Bilder von der Studienreise der deutschen Arktischen Zeppelin-Expedition, Berlin 1911

MIETHE, ADOLF: Die Photographie aus der Luft, Halle 1916

MIETHE, ADOLF: und O. MENTHE: Lehrbuch der praktischen Photographie, Halle 1919

MIETHE, ADOLF: Unter der Sonne Oberägyptens. Neben den Pfaden der Wissenschaft. Mit 44 Dreifarbenbildern und 133 Netzätzungen nach photographischen Naturaufnahmen des Verfassers, Berlin 1922

MIETHE 1925 a: MIETHE, ADOLF: Das Land der Pharaonen. Ägypten von Kairo bis Assuan 24. Pastellbilder mit kurzen Geleitworten in Anlehnung an die Dreifarbenaufnahmen nach der Natur, Bonn 1925 a

MIETHE 1925 b: MIETHE, ADOLF: Spitzbergen, das Alpenland im Eismeer. Sommerfahrten und Wanderungen von A. Miethe. Mit 18 Dreifarbenbildern und 64 Netzätzungen nach photographischen Naturaufnahmen des Verfassers, Berlin, 1925 b

MINACHIN, VIKTOR, und SVETLANA GARANINA: The Splendors of Russia in Natural Colors. The Complete Prokudin Gorsky 1905–1916, Moskau 2003

MUTTER, EDWIN: Farbphotographie. Theorie und Praxis, in: MICHEL, KURT: Die Wissenschaftliche und angewandte Photographie, Bd. 4, Wien 1967

NORDDEUTSCHER LLOYD: Spitzbergen, Bremen o. J.

NOVAK, FRANZ: Plattenprüfung. In: Photographische Korrespondenz 47. Jg. (1910), Nr. 596, S. 240-245

PFENNIGER, OTTO: Historisches über die Farbenkamera. In: Jahrbuch für Photographie und Reproduktionstechnik für das Jahr 1911 (1911), S. 11-13

REISING, H.: Ein neuer Dreifarbenprojektionsapparat. In: Zeitschrift für Wissenschaftliche Photographie 3. Jg. (1905), S. 40-43

SCHULTZE, WERNER: Farbenphotographie und Farbfilm. Wissenschaftliche Grundlagen und technische Gestaltung, Berlin 1953

SPÖRL, HANS: Praktische Rezeptsammlung für Fach- und Amateur-Photographen, Leipzig, 1905

STEIGERWALD, PETER: Reproduktion alter Negative. Teil I, in: Rundbrief Fotografie N. F. 7 (1995) S. 15-18

STENGER ERICH: Hundert Jahre Photographie, in: Deutsches Museum. Abhandlungen und Berichte 11. Jg. (1939), Nr. 5, S. 131-156

TEUBNER, HERRMANN: Dreifarbenverfahren. In: Zeitschrift für Reproduktionstechnik 2. Jg. (1902), S. 5-7

VOGEL, HERMANN WILHELM: Photochemie und Beschreibung der photographischen Chemikalien. bearb. v. ERNST KÖNIG, BERLIN, 1906

Wall, E. J.: The History of Three-Color Photography, Boston 1925

WIENER, OTTO: Über Farbenphotographie und verwandte naturwissenschaftliche Fragen. Vortrag gehalten auf der 80. Naturforscherversammlung zu Cöln a. Rh. In der Gesamtsitzung beider Hauptgruppen am 24. September 1908, Leipzig 1909



*Historische Firmenschriften*

Standort Deutsches Museum

FARBWERKE HOECHST, VORM. MEISTER LUCIUS & BRÜNING: Pinatypie, ca. 1910 (FS 505117/1)

FARBWERKE HOECHST, VORM. MEISTER LUCIUS & BRÜNING: Präparate und Farbstoffe für Photographie, 1916, (FS 505117/4)

WILHELM BERMPHOHL, WERKSTÄTTE FÜR PHOTOGRAPHISCHE APPARATE: Preisliste und Gebrauchsanweisung für Prof. Dr. Miethe's Aufnahme und Betrachtungs-Apparate für Photographie in natürlichen Farben [...], ca. 1906 (FS 000398 A1)

Standort Fotomuseum im Münchner Stadtmuseum

Optische Anstalt C. P. GOERZ Aktiengesellschaft Berlin, Preisliste 1912 (S. 140 f)

*Firmenschriften*

FOMA BOHEMIA SPOL. SR. O.: Fomapan R Black-and-White Reversal Film, 2005

FUJIFILM: Fujifilm Datasheet AF 3-095E Black-and-White Films / Neopan 100 Acros o. J.

Göttinger Farbfilter GmbH: Lichtfilter, Lenglern (o. J)

SCHOTT GLAS: Optische Filter; Glasfilter, Mainz 1997

*Normen*

DIN 4512 Photographische Sensitometrie, Bestimmung der optischen Dichte. Teil 8: Geometrische Bedingungen für Messungen bei Transmission (1993)

DIN 5033-1 Norm, 1979-03 Farbmessung; Grundbegriffe der Farbmeterik

DIN 5033-2 Norm, 1992-05 Farbmessung; Normvalenz-Systeme

DIN 5033-3 Norm, 1992-07 Farbmessung; Farbmaßzahlen

DIN 5033-4 Norm , 1992-07 Farbmessung; Spektralverfahren

DIN EN 61966-2-1 Norm , 2003-09 Multimediasysteme und –geräte – Farbmessung und Farbmanagement – Teil 2-1: Farbmanagement; Vorgabe-RGB-Farbraum, sRGB (IEC 61966-2-1:1999 + A1:2003);

*Internet*

Daten zur farbmeterischen Berechnung von MUNSELL COLOR SCIENCE LABORATORY; unter

[http://www.cis.rit.edu/mcsl/online/CIE/all\\_1nm\\_data.xls](http://www.cis.rit.edu/mcsl/online/CIE/all_1nm_data.xls)

(Stand Januar 2006)



## **9 Farbabbildungen**

*28 Seiten, separate Bindung*

Miethe-Bermpohl-Dreifarbenkamera	1
Miethe-Goerz-Dreifarbenprojektionsapparat	4
Dreifarben-Diapositive	7
Rekonstruktion von Lichtfiltern	14
Reproduktion von Dreifarben-Diapositiven	16
Versuch zur Dreifarbenprojektion	17
Scans der Dreifarbendiapositive	19
Steuerung der Farbwiedergabe für die Digitalbilder	22
Digitale Farbbilder aus Dreifarbendiapositiven	23



**JENS WAGNER**

**Die additive Dreifarbenfotografie nach Adolf Miethe**

**Untersuchung des Verfahrens und Wege zur  
Wiedergabe von Dreifarbendiapositiven**

---

**Farbabbildungen**

---

# Farbabbildungen

Miethé-Bermpohl-Dreifarbenkamera	1
Miethé-Goerz-Dreifarbenprojektionsapparat	4
Dreifarben-Diapositive	7
Rekonstruktion von Lichtfiltern	14
Reproduktion von Dreifarben-Diapositiven	16
Versuch zur Dreifarbenprojektion	17
Scans der Dreifarbendiapositive	19
Steuerung der Farbwiedergabe für die Digitalbilder	22
Digitale Farbbilder aus Dreifarbendiapositiven	23

**Berpohl-Miethe-Dreifarbekamera**

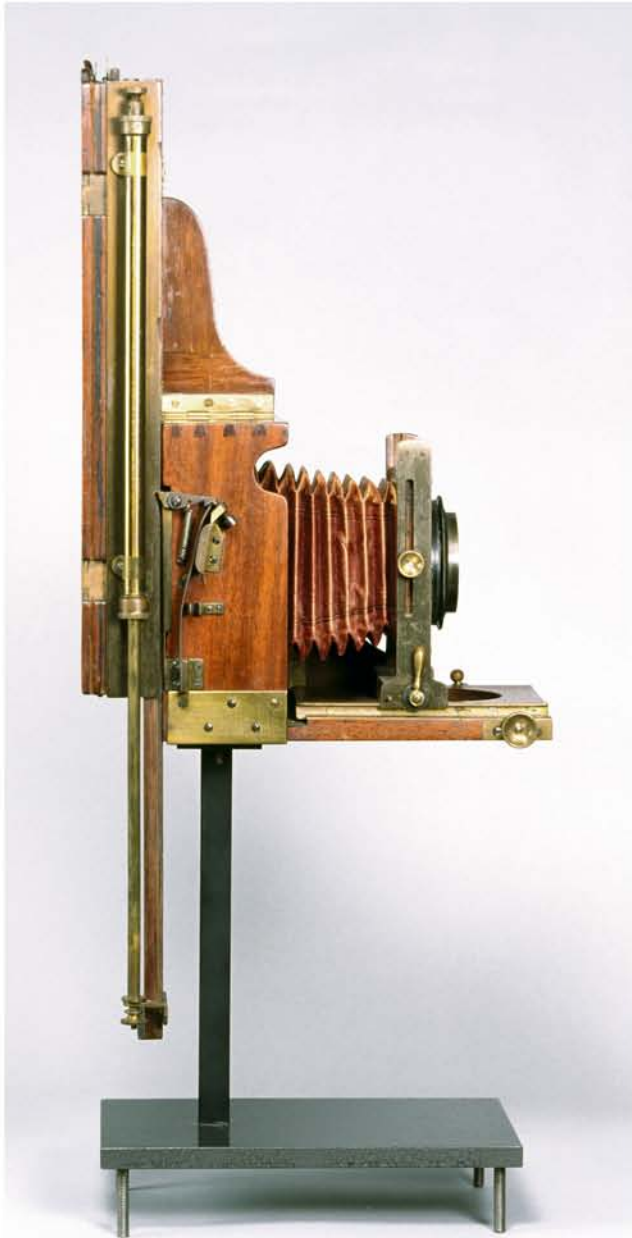


Vorderansicht



Rückansicht - Wechselschlitten ohne Plattenkassette,  
Lichtfilter sichtbar

**Berpohl-Miethe-Dreifarbekamera**



Seitenansicht rechts



Seitenansicht links



### Bermpohl-Miethe-Dreifarbekamera

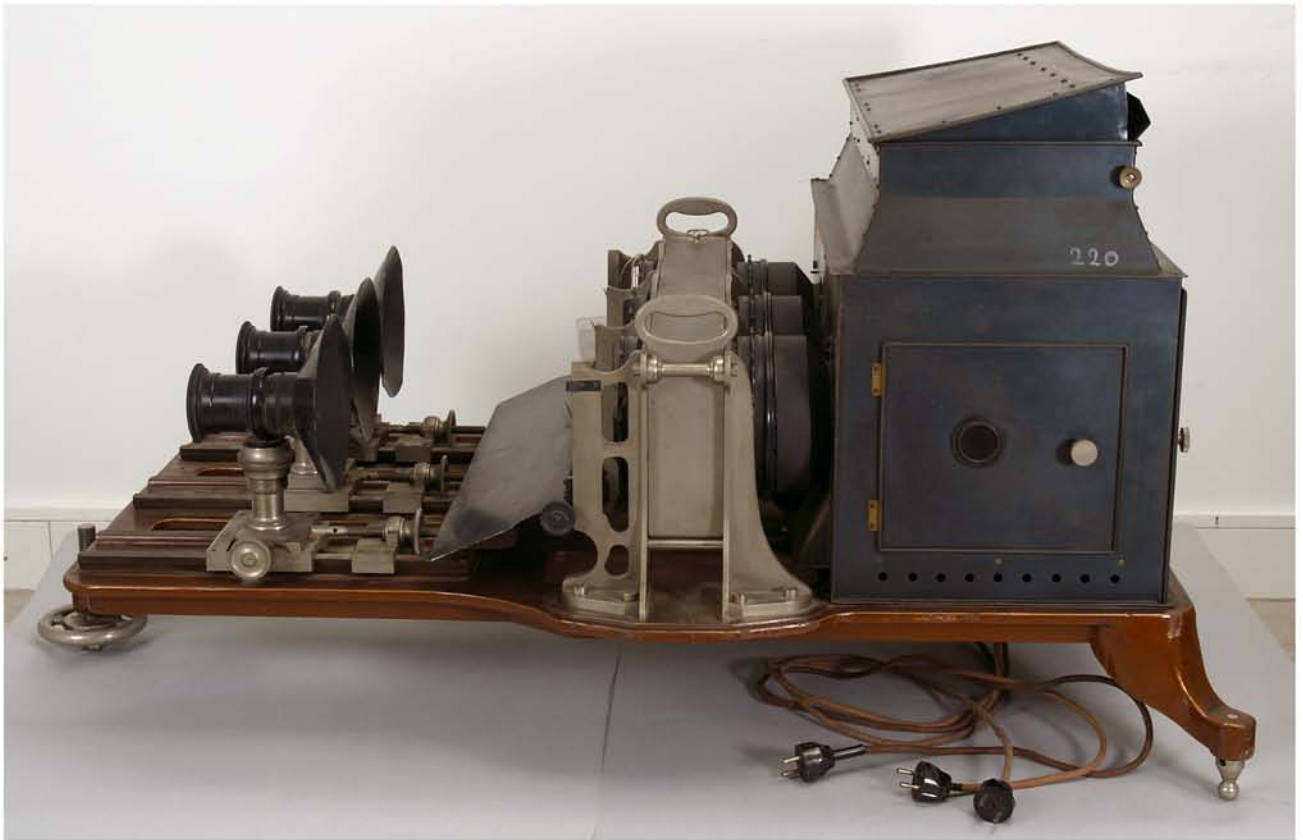


Positionen des Wechselschlittens für die Aufnahme der drei Teilbilder

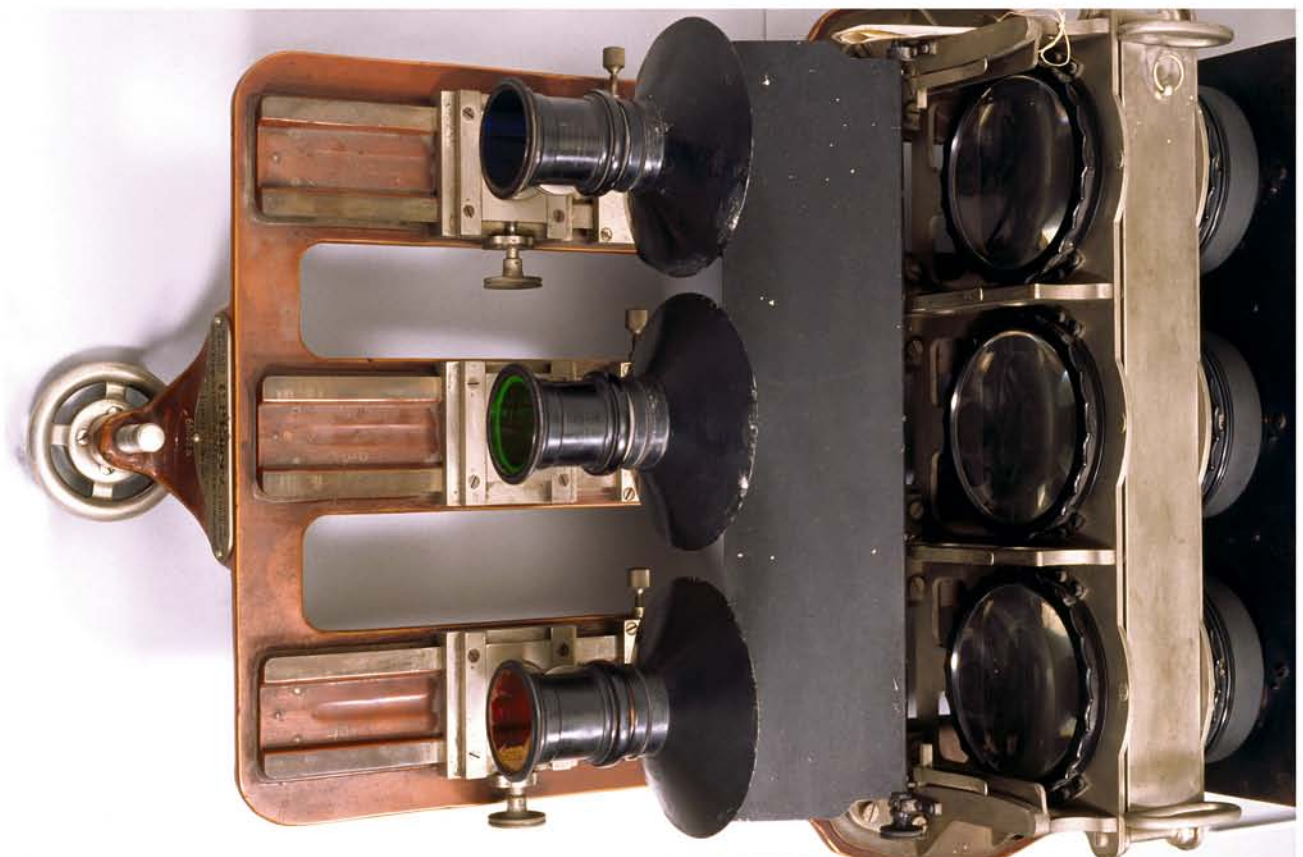


Objektiv

## Goerz-Miethe-Dreifarbenprojektor



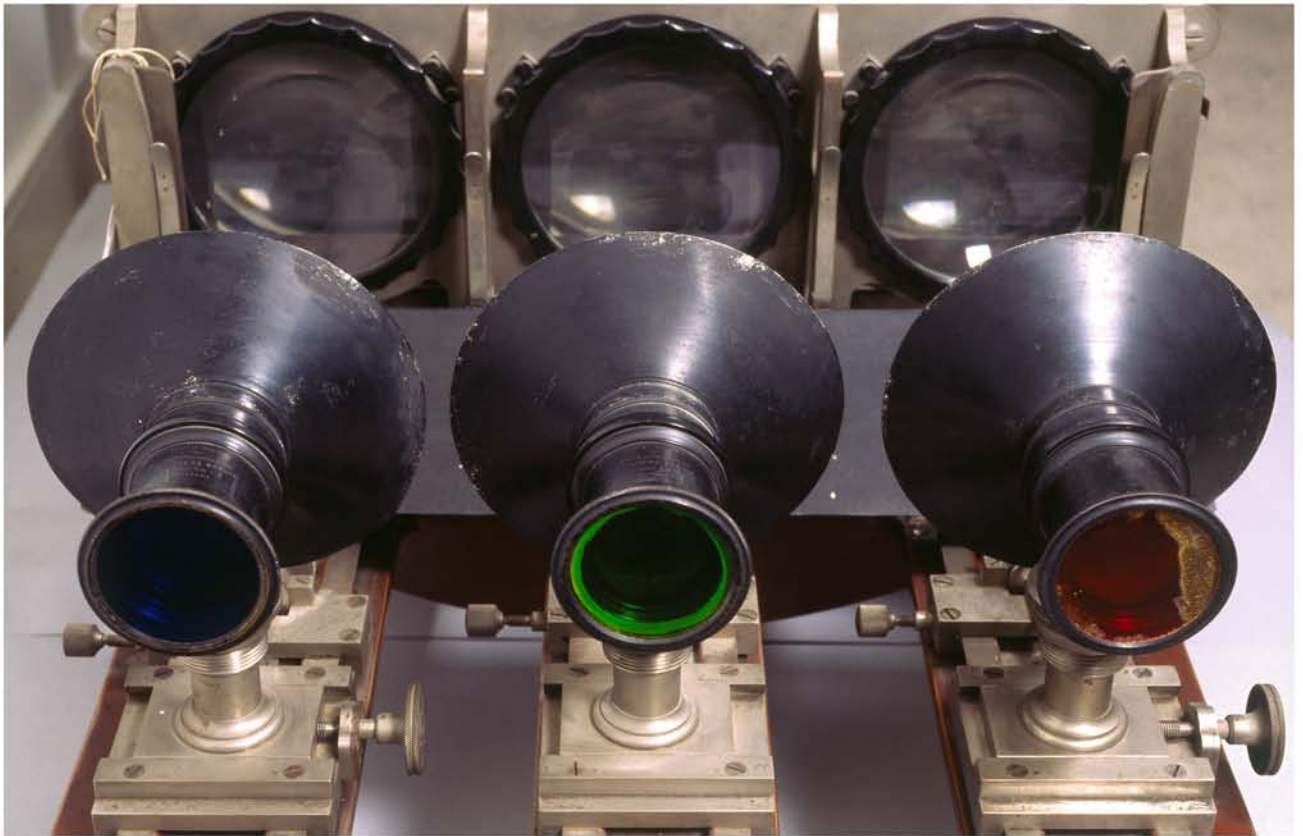
Gesamtansicht



Vorderteil: Höhenjustierschraube, Objektive mit Lichtfiltern, Diaaufnahme, Kondensorlinsen, Kühlkuvette



Goerz-Miethe-Dreifarbenprojektor



Objektive mit Lichtfiltern



Herstellerschild

### Goerz-Miethe-Dreifarbenprojektor



Lampenhaus innen, Glühlampen



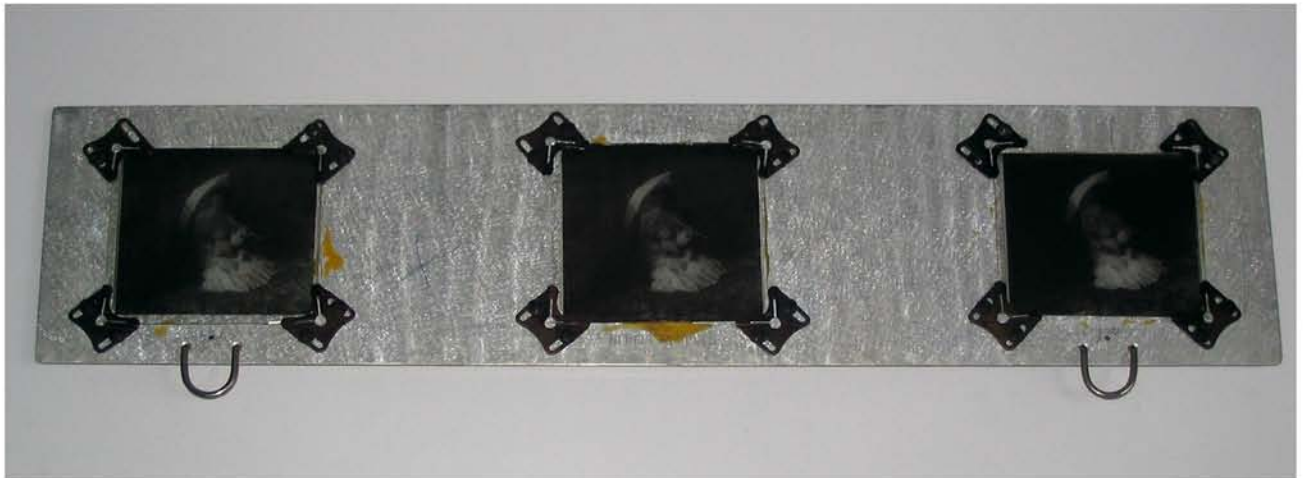
Lampenhaus



Dia-Aufnahme, Kühlkuvette, Kondensoren



### Glasplattendiapositive: Rahmen



Vorderseite



Rückseite



Befestigung mit verschraubten Metallklammern

**Glasplattendiapositive: Bestandsübersicht (Grünauszug)**



Nr. 1



Nr. 2



Nr. 3



Nr. 4



Nr. 5



Nr. 6

**Glasplattendiapositive: Bestandsübersicht (Grünauszug)**



Nr. 7



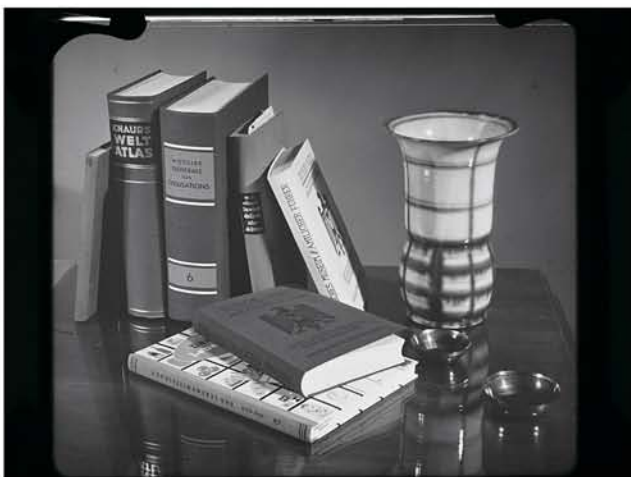
Nr. 8



Nr. 9



Nr. 10



Nr. 21; Nr. 31



Nr. 29



**Glasplattendiapositive: Bestandsübersicht (Grünauszug)**



Nr. 30



Nr. 32



Nr. 33



Nr. 34



Nr. 35



Nr. 36



**Glaslattendiapositive: Bestandsübersicht (Grünauszug)**



Nr. 37



Nr. 38



Nr. 39



Nr. 40



Nr. 41



Nr. 42

**Glasplattendiapositive: Bestandsübersicht (Grünauszug)**



Nr. 43



Nr. 44



Nr. 45



Nr. 46



Nr. 47



Nr. 48

**Glasplattendiapositive: Bestandsübersicht (Grünauszug)**



Nr. 49

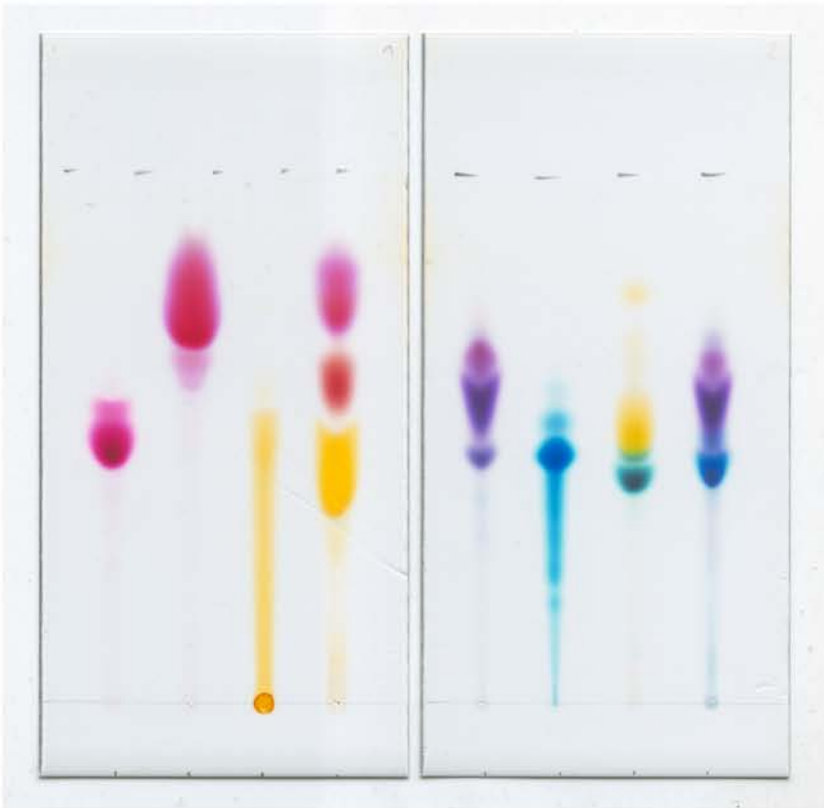


Nr. 50



Nr. 51

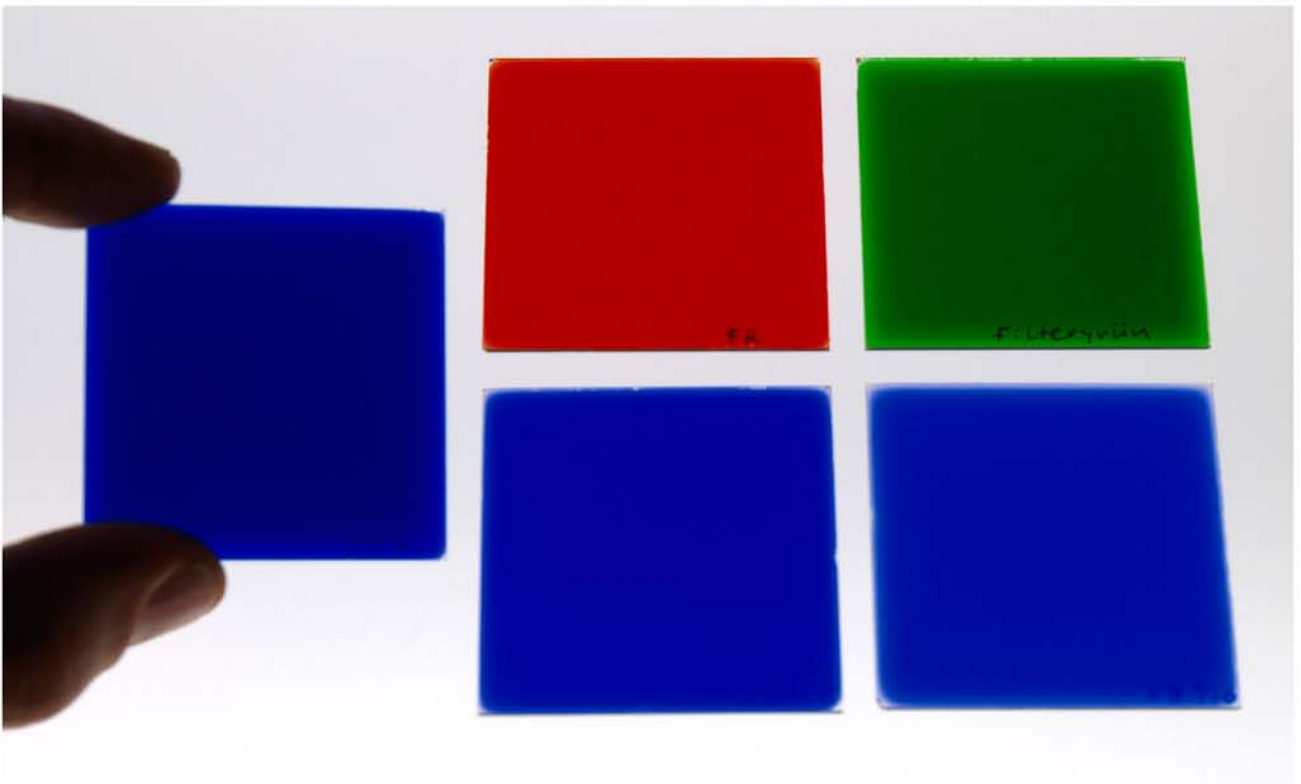
## Rekonstruktion von Lichtfiltern



Untersuchung der Filterfarbstoffe mit Dünnschichtchromatographie

Farbstoffe Platte 1: Säure Rhodamin – Rose bengale – Tartrazin – Filterrot

Farbstoffe Platte 2: Säure Violett – Patentblau – Filtergrün – Filterblau



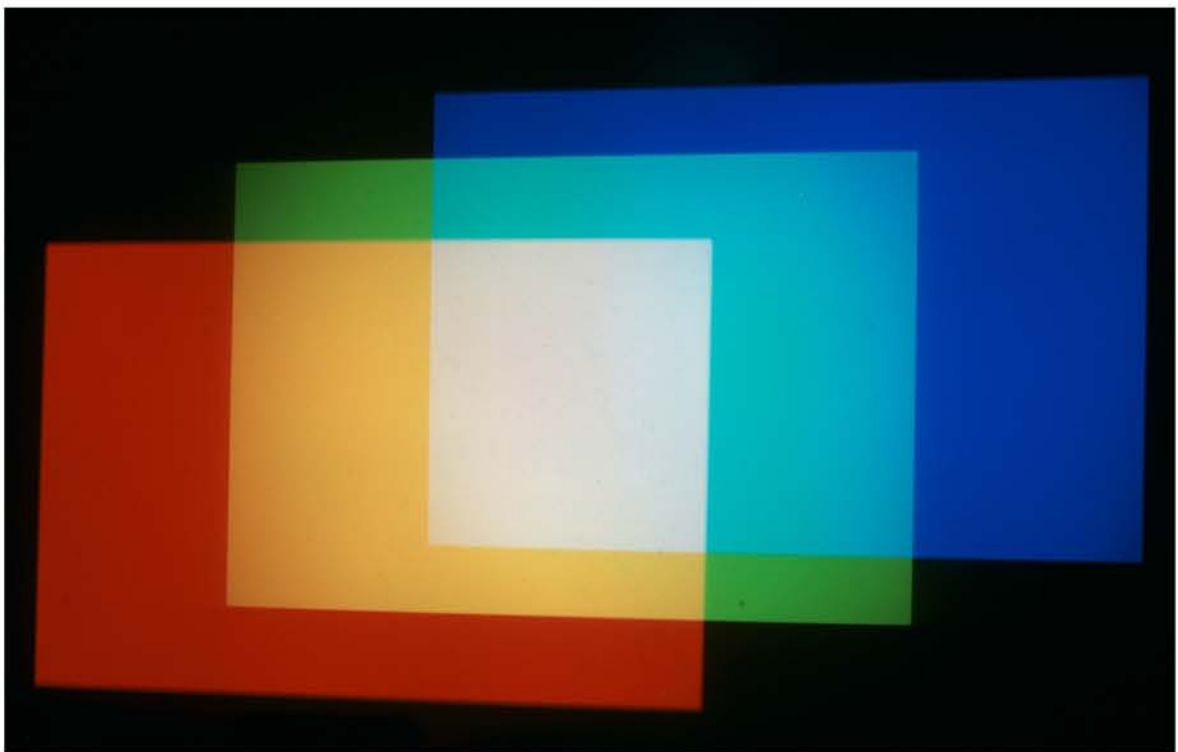
Gelatine-Glas-Lichtfilter



## Versuch zur Dreifarbenprojektion



Projektoren, Kunststofffolienfilter



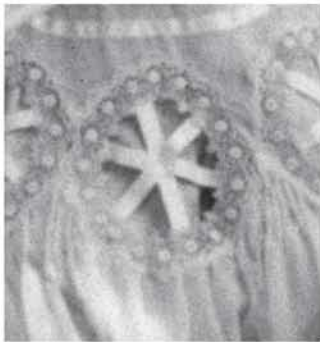
additive Farbmischung durch Überlagerung von projizierten Farbflächen auf der Leinwand  
(Projektoren ohne Diapositive)

## Versuch zur Dreifarbenprojektion

Reproduktionen im Kleinbildformat: Vergleich der Auflösung der angewendeten Verfahren am Beispiel von Ausschnittvergrößerungen. Vorlage: Bild 40.



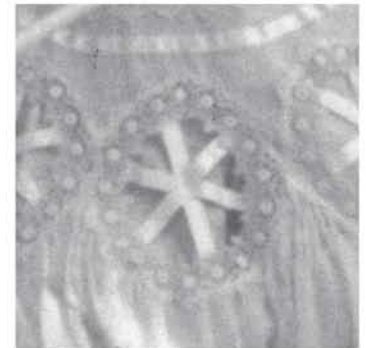
Scan des Grünauszugs, Detail.



Schwarzweiß-Diafilm



Diapositiv von Zwischen negativ



digitale Ausbelichtung auf Farbdiafilm

Störung der Wiedergabe durch ungenügende Überlagerung der Teilbilder in der Projektion



Beispiel: Ausschnitt aus Bild Nr. 40, Verschiebung der Teilbilder im Bildbearbeitungsprogramm simuliert.

**Versuch zur Dreifarbenprojektion**



Bild Nr. 7



Bild Nr. 35

Aufnahmen digital von der Projektionsfläche fotografiert und nachbearbeitet. Die Farbwiedergabe in der Projektion kann nur angenähert dargestellt werden.



**Versuch zur Dreifarbenprojektion**



Bild Nr. 39



Bild Nr. 40

Aufnahmen digital von der Projektionsfläche fotografiert und nachbearbeitet. Die Farbwiedergabe in der Projektion kann nur angenähert dargestellt werden.



Glasplattendiapositive: Scans



Nr. 5

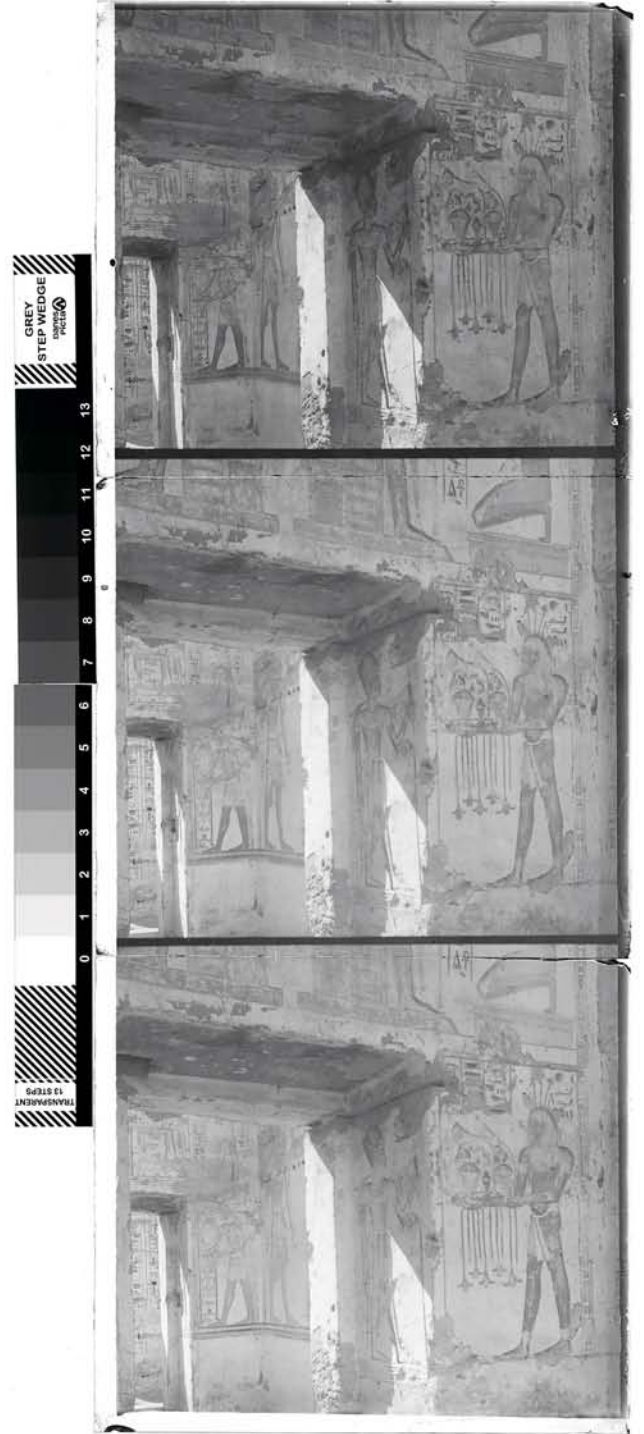


Nr. 7

Glasplattendiapositive: Scans



Nr. 35



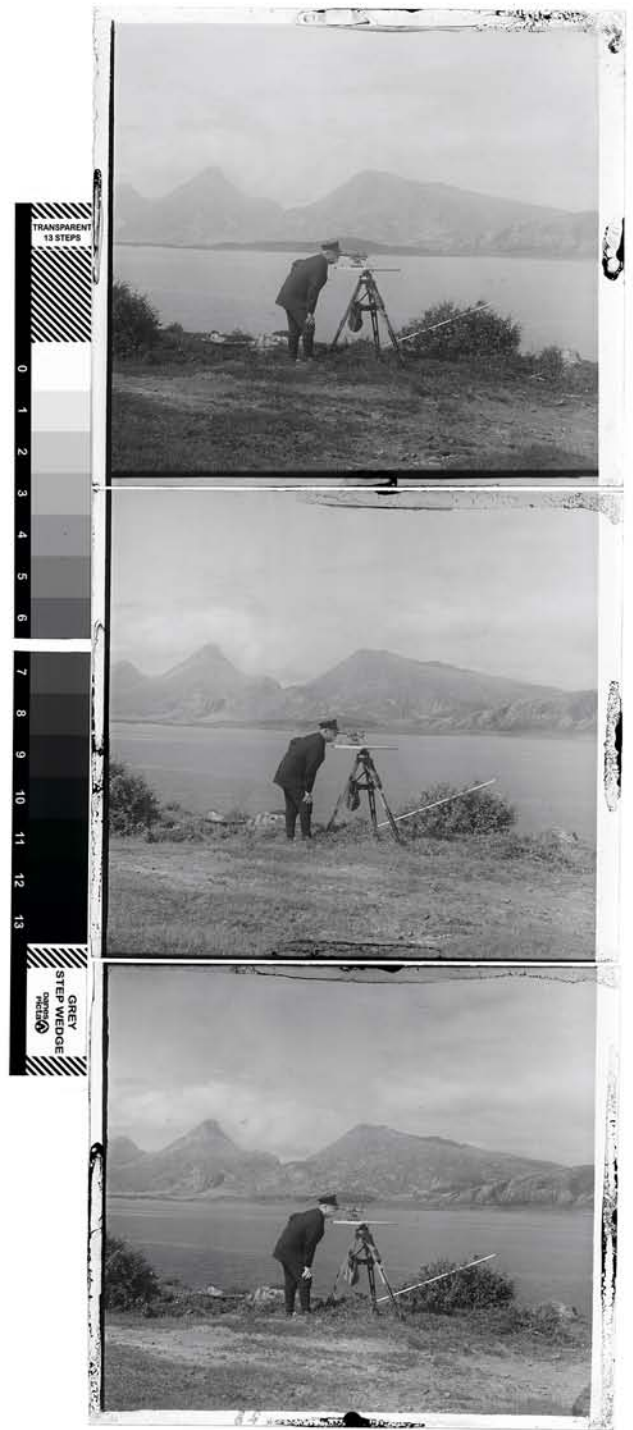
Nr. 39



Glasplattendiapositive: Scans



Nr. 40



Nr. 43

**Einfluss verschiedener Farbräume im Bildbearbeitungsprogramm auf die Farbwiedergabe  
(Ausschnitte aus Bild Nr. 40 und Nr. 43)**



Adobe RGB



sRGB IEC61966-2.1



Farbraum aus  
rekonstruierten Lichtfiltern  
generiert



Farbraum aus Lichtfiltern  
des Miethe-Goerz-  
Projektionsapparates  
generiert



**Erstellung digitaler Farbbilder aus Diapositiven der Dreifarbenfotografie**



Nr. 5  
Farbraum aus rekonstruierten Projektionsfiltern generiert

Erstellung digitaler Farbbilder aus Diapositiven der Dreifarbenfotografie

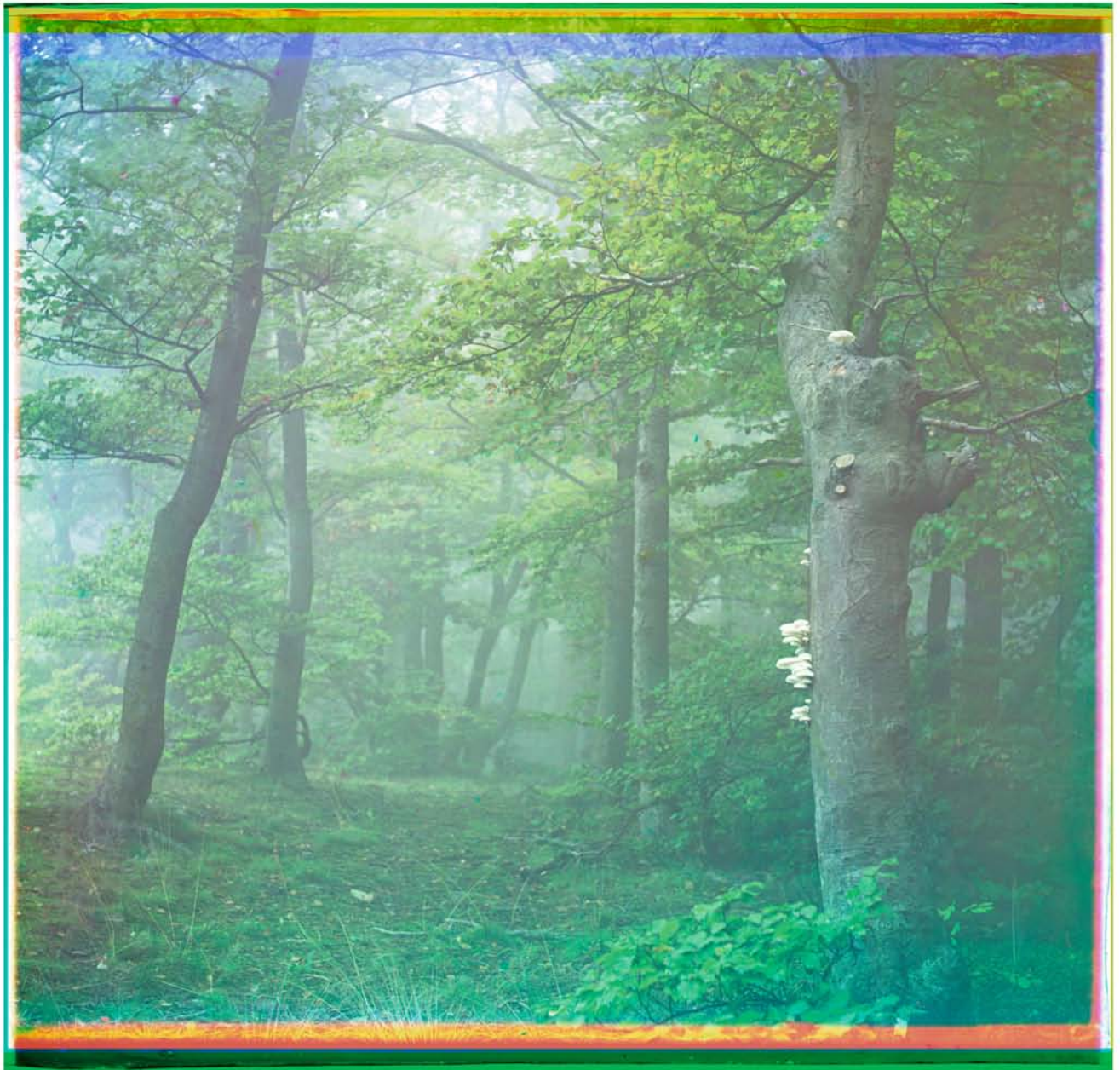


Nr. 7

Farbraum aus rekonstruierten Projektionsfiltern generiert

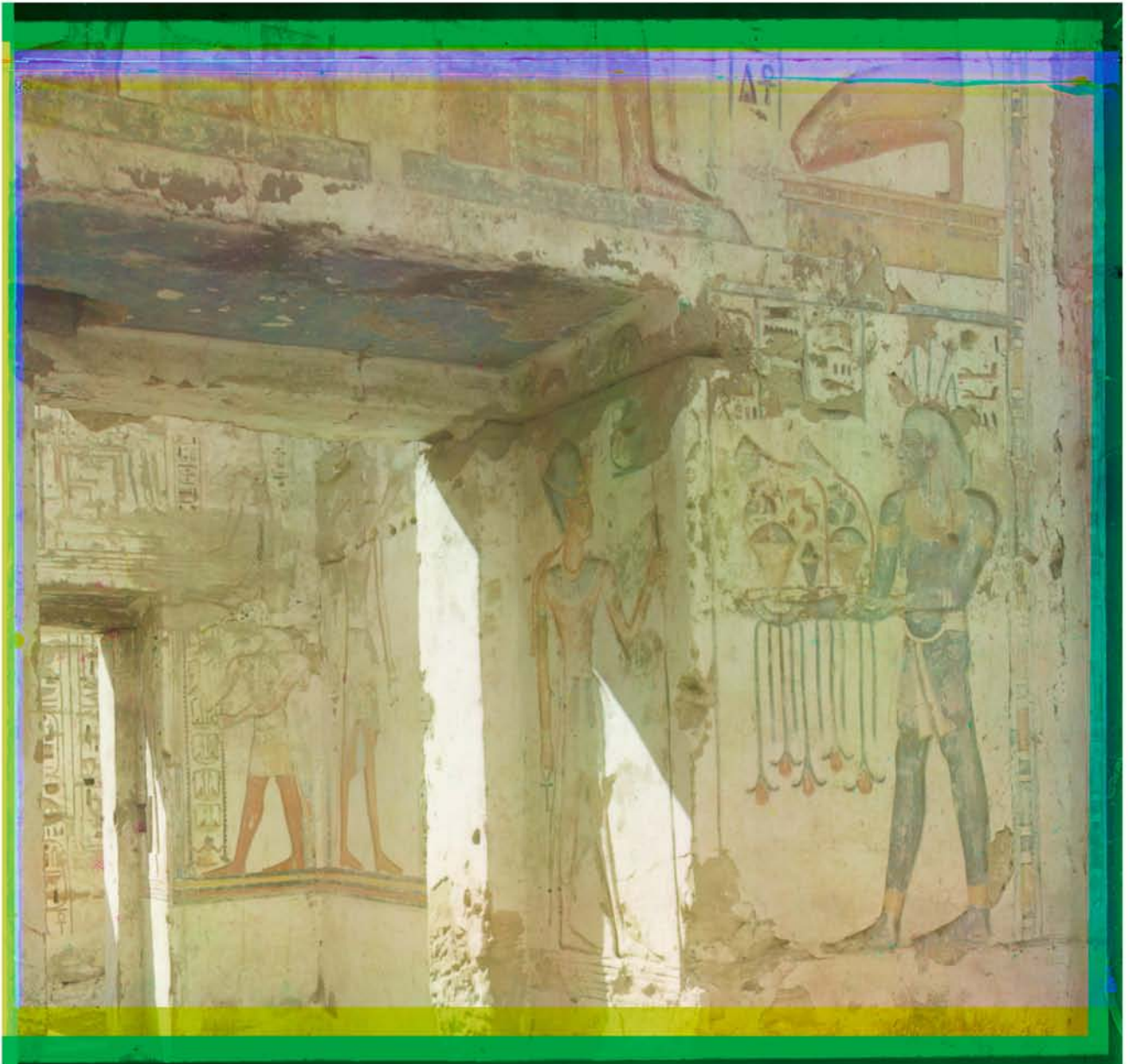


**Erstellung digitaler Farbbilder aus Diapositiven der Dreifarbenfotografie**



Nr. 35  
Farbraum aus rekonstruierten Projektionsfiltern generiert

Erstellung digitaler Farbbilder aus Diapositiven der Dreifarbenfotografie



Nr. 39  
Farbraum aus rekonstruierten Projektionsfiltern generiert



**Erstellung digitaler Farbbilder aus Diapositiven der Dreifarbenfotografie**



Nr. 40

Farbraum aus rekonstruierten Projektionsfiltern generiert

**Erstellung digitaler Farbbilder aus Diapositiven der Dreifarbenfotografie**



Nr. 43

Farbraum aus rekonstruierten Projektionsfiltern generiert

## **10 Anhang**

<b>Zur Herstellung von Gelatine-Glas-Lichtfiltern .....</b>	<b>3</b>
<b>Dünnschichtchromatographische Untersuchung der zur Herstellung von Lichtfiltern verwendeten Farbstoffpräparate .....</b>	<b>7</b>
<b>Farbmetrische Untersuchung von Lichtfiltern .....</b>	<b>9</b>
<b>Zur Reproduktion der Glasplattendiapositive über die Anfertigung von Zwischennegativen .....</b>	<b>11</b>
<b>Experiment zur Evaluierung der Farbwiedergabe in der Dreifarbenfotografie .....</b>	<b>13</b>





## Zur Herstellung von Gelatine-Glas-Lichtfiltern

### *Farbstoffsammlung des Deutschen Museums*

Das Deutsche Museum besitzt eine Sammlung von Farbstoffen der Firma „FARBWERKE HOECHST, VORM. MEISTER LUCIUS & BRÜNING“, Höchst am Main, aus der Zeit um 1910 (Inv. Nr. 2005 – 458). Deren Sortiment an Farbstoffen für fotografische Zwecke war unter dem Markennamen *Pina* auf dem Markt.<sup>1</sup>

Der Bestand des Deutschen Museums umfasst eine Vielzahl an Farbstoffen und organischen Pigmenten, die für die Herstellung von Filtern, das Colorieren von Fotografien und das Sensibilisieren von Fotoplatten verwendet wurden. Neben reinen Farbstoffen, die mit ihrem Trivialnamen bezeichnet sind, sind auch Farbstoffe bzw. Farbstoffmischungen zur Herstellung von Filtern für die Dreifarbenfotografie erhalten. Unterschieden wird nach der Verwendung für das additive oder subtraktive Verfahren.

Die Farbstoffe sind in Pulverform in luftdicht verschlossenen, lichtgeschützten Glasflaschen aufbewahrt. Daher wird angenommen, dass ihre Eigenschaften sich durch Alterung nicht verändert haben.

### *Verwendete Farbstoffmischungen*

Zur Herstellung der Lichtfilter wurden die Präparate „Rapid-Filterrot II“, Rapid Filtergrün II“ und „Filterblau II“ gewählt.<sup>2</sup> Diese Farbstoffmischungen wurden speziell für die additive Dreifarbenfotografie angeboten. Da die Präparate bereits fertig gemischt vorliegen, ist davon auszugehen, dass der Hersteller das Mengenverhältnis der Bestandteile auf die Eigenschaften der Farbstoffe abgestimmt hat.<sup>3</sup> Zudem liegen für diese Präparate präzise Angaben zur erforderlichen Konzentration vor.<sup>4</sup>

### *Verwendete Gelatine*

Die Wahl der Gelatine folgt der Angabe MIETHES, der „gewöhnliche Küchengeatine“<sup>5</sup> für das geeignete Material hält, sofern diese ausreichend farblos und transparent sei. Das Produkt *Blatt Gelatine Qualität Gold extra* der Firma DR. AUGUST OETKER NAHRUNGSMITTEL KG erfüllt diese Eigenschaft. Verwendet werden Packungen der Fabrikationsnummer I. 189055.

### *Verwendete Glasplatten*

Begossen werden Objektträger Glasplatten der Größe 5 x 5 cm. Die Scheiben sind optisch planparallel und farblos.

---

<sup>1</sup> Deutsches Museum, Archiv, FS FARBWERKE HOECHST, VORM. MEISTER LUCIUS & BRÜNING: Pinatypie, ca. 1910 (FS 505117/1).

<sup>2</sup> Sammlungsleiterin Dr. Kemp gestattete die Entnahme von jeweils ca. einem Gramm Farbstoffpulver.

<sup>3</sup> In der zeitgenössischen Fachliteratur findet sich eine Reihe von Rezepten zur Herstellung von Lichtfiltern mit Angabe der Mischungsverhältnisse von „reinen“ Farbstoffen. Diese sind unter ihrem Trivialnamen („Patentblau“, „Rose bengale“ etc.) angegeben. Rezepte finden sich beispielsweise bei HÜBEL 1910, KÖNIG Filter 1904, SPÖRL 1905, S. 89 und, für Gelbfilter, bei MIETHE 1902 b.

Von einer Mischung aus reinen Farbstoffen wurde abgesehen, denn die historischen Bezeichnungen der Farbstoffe mit Trivialnamen sind nicht hinreichend präzise. Es ist nicht sicher, ob ein bestimmter Farbstoff auch genau die Farbe ergibt, die der Verfasser der Herstellungsvorschrift beabsichtigte. Je nach Herstellungsprozess können Farbstoffe gleichen Trivialnamens unterschiedliche Farbnuancen haben. (freundlicher Hinweis von Dipl. Chemiker Dr. Ingo Rogner)

<sup>4</sup> Vgl. Deutsches Museum, Archiv, FS FARBWERKE HOECHST, VORM. MEISTER LUCIUS & BRÜNING: Präparate und Farbstoffe für Photographie, 1916 (FS 505117/4), S. 23.

<sup>5</sup> MIETHE 1902 b S. 163.

### *Herstellung<sup>6</sup>*

Gelatine-Glas-Lichtfilter werden hergestellt, indem eine wässrige Lösung aus Gelatine mit organischen Farbstoffen auf Glasplatten gegossen wird. Die Glasplatte dient als Träger für den transparenten, farbigen Gelatinefilm. Nach der Trocknung kann eine zweite Glasplatte mit Kanadabalsam aufge kittet werden. Die Gelatineschicht wird dadurch geschützt und beide Seiten der Filterplatte sind optisch planparallel. Auf die Verkittung wurde bei den angefertigten Lichtfiltern verzichtet, da das Verfahren aufwendig und anfällig für Fehler ist. Maßgebliche Parameter sind die Konzentration der Gelatinelösung, die Menge der pro Glasplatte aufgebracht Lösung und die Konzentration des Farbstoffes in der Lösung.

Da nur wenige Filter exemplarisch und mit verschiedener Farbstoffkonzentration angefertigt werden sollen, ist es nicht sinnvoll, größere Mengen an fertig gemischter Farbstoff-Gelatinelösung zuzubereiten. Stattdessen wird für jede Filterscheibe die benötigte Farbstoffkonzentration ermittelt und das jeweilige Quantum einer gleich bleibenden Menge an Gelatinelösung zugefügt.

### *Farbstoffmenge*

Die erforderliche Farbstoffkonzentration für die verwendeten Präparate beträgt für *Rapidfilterrot II* 5,83 g/m<sup>2</sup>, für *Rapidfiltergrün II* 7,77 g/m<sup>2</sup> und für *Filterblau II* 5,83 g/m<sup>2</sup>.<sup>7</sup> Anhand dieser Angaben wird die Farbstoffmenge pro Filterscheibe errechnet.

Die Fläche der zu begießenden Glasscheiben beträgt 0,0025 m<sup>2</sup> bzw. 25 cm<sup>2</sup>. Pro Filterscheibe müssen demnach 0,0146 g *Rapidfilterrot II*, 0,019 g *Rapidfiltergrün II* und 0,0146 g *Filterblau II* in der Gelatineschicht enthalten sein. Um die Dosierung der geringen Farbstoffmengen zu erleichtern, werden alle Farbstoffe als einprozentige Lösung angesetzt. Die Dosierung erfolgt mit einer Mikroliter-Pipette und einer Feinwaage.

Von den o. g. Werten ausgehend werden für Blau- und Grünfilter Varianten mit geringerer Farbstoffkonzentration angefertigt. Die folgende Tabelle enthält die Werte der Farbstoffkonzentration der angefertigten Filter.

<b>Filter</b>	<b>Konzentration / m<sup>2</sup></b>	<b>Farbstoffmenge / Scheibe (25 cm<sup>2</sup>)</b>	<b>verwendete Menge der 1%igen Lösung</b>
<b>Blaufilter</b>			
1/1 Konzentration	5,83 g/m <sup>2</sup>	14,58 mg	1,46 ml
1/2 Konzentration	2,92 g/m <sup>2</sup>	7,29 mg	0,73 ml
1/4 Konzentration	1,46 g/m <sup>2</sup>	3,64 mg	0,36 ml
1/8 Konzentration	0,73 g/m <sup>2</sup>	1,82 mg	0,18 ml
1/16 Konzentration	0,36 g/m <sup>2</sup>	0,91 mg	0,09 ml
<b>Grünfilter</b>			
1/1 Konzentration	7,77 g/m <sup>2</sup>	19,43 mg	1,94 ml
1/2 Konzentration	3,89 g/m <sup>2</sup>	9,71 mg	0,97 ml
<b>Rotfilter</b>			
1/1 Konzentration	5,83 g/m <sup>2</sup>	14,58 mg	1,46 ml

<sup>6</sup> Die beschriebene Methode folgt den Angaben von MIETHE 1902 b S. 162-164 und HÜBEL 1910, S. 104 f.

<sup>7</sup> Deutsches Museum, Archiv, FS FARBWERKE HOECHST, VORM. MEISTER LUCIUS & BRÜNING: Präparate und Farbstoffe für Photographie, 1916 (FS 505117/4), S. 31.

### *Gelatinemenge*

Zur Menge und Konzentration der Gelatinelösung, die pro Flächeneinheit erforderlich ist, gibt es unterschiedliche Angaben. MIETHE nennt „eine genügende, aber nicht zu große“<sup>8</sup> Menge fünfprozentiger Lösung. Nach HÜBELS Angaben seien 7 ml einer sechsprozentigen Lösung pro 100 cm<sup>2</sup> zu verwenden.<sup>9</sup> Verwendet werden 1,8 ml einer sechsprozentigen Lösung pro Glasplatte, was den Angaben HÜBELS entspricht.

### *Begießen der Glasplatten*

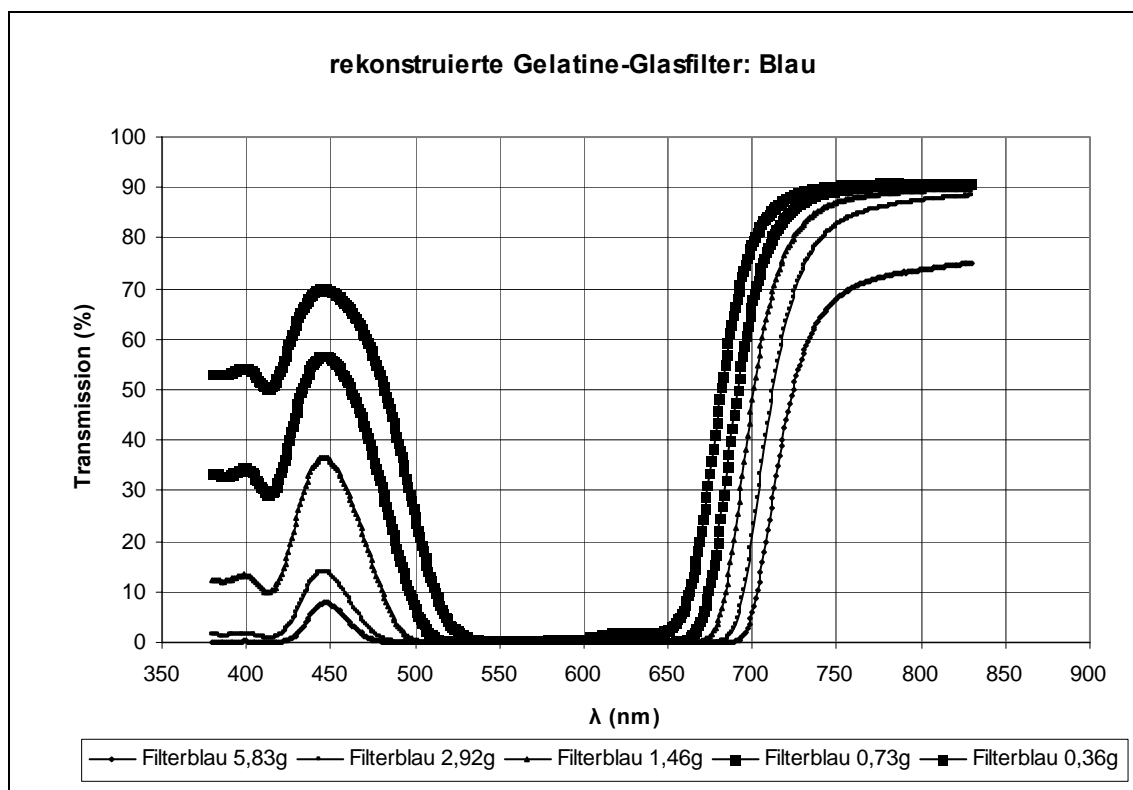
Eine Glasplatte (25 x 25 cm) wird durch Unterlegen von Kartonstücken und Kontrolle mit der Wasserwaage nivelliert. Die zu begießenden Glasscheiben werden auf der Heizplatte angewärmt und dann auf die Glasplatte gelegt. Die vorbereitete Mischung aus Gelatinelösung und Farbstofflösung wird auf 40 °C angewärmt und in einem Zug auf die Glasscheibe gegossen. Mit einem angewärmten Glasstab wird die Flüssigkeit gleichmäßig verteilt.

### *Trocknung der Filterscheiben*

Nach dem Erstarren der Gelatineschicht werden die Filterscheiben zusammen mit mehreren Säckchen Trocknungsmittel in einen luftdicht verschließbaren Trocknungskasten gelegt. Die Trocknungsdauer beträgt ein bis zwei Tage.

### *Transmissionseigenschaften*

Die Diagramme 1–3 zeigen das Ergebnis der spektralfotometrischen Messung.



**Diagramm 1**

<sup>8</sup> MIETHE 1902 b, S. 163.

<sup>9</sup> HÜBEL 1910, S. 104.

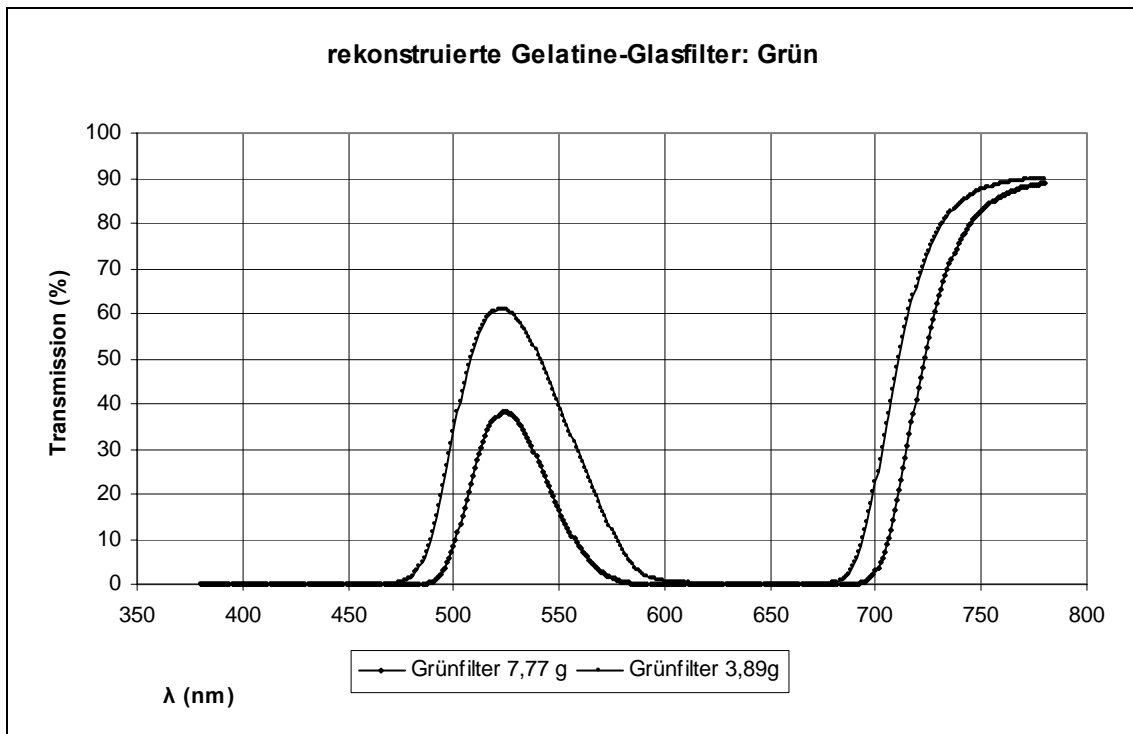


Diagramm 2

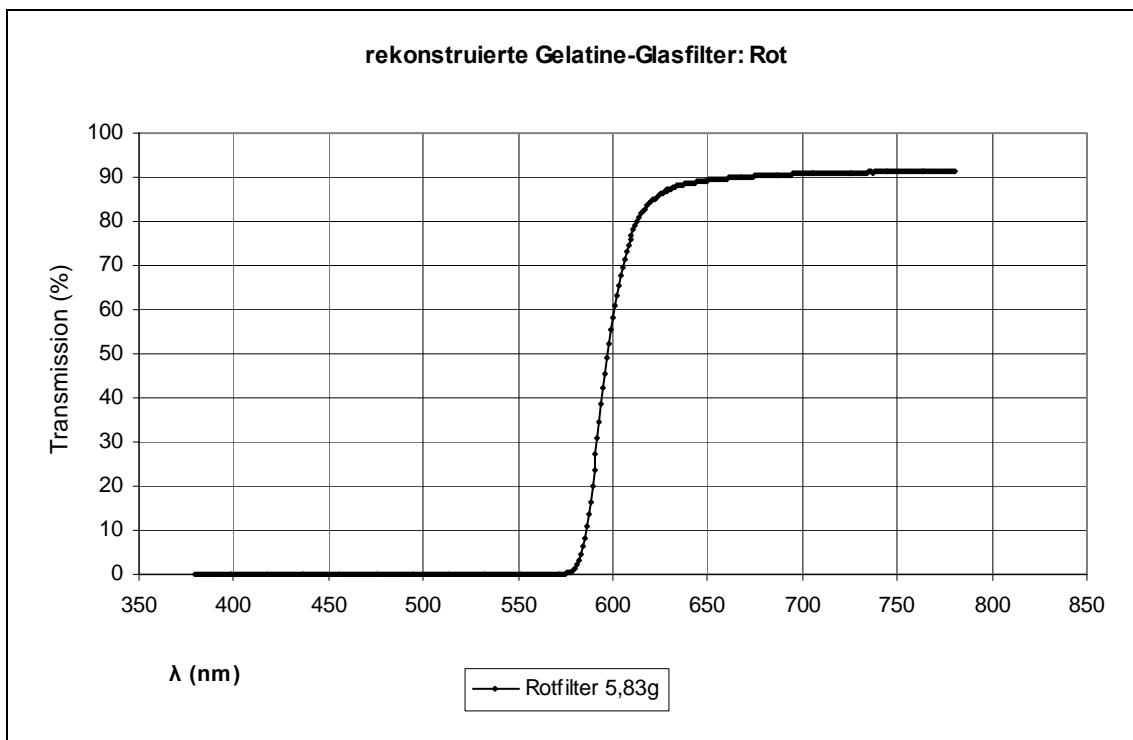


Diagramm 3



## **Dünnschichtchromatographische Untersuchung der zur Herstellung von Lichtfiltern verwendeten Farbstoffpräparate**

### *Fragestellung*

Die Untersuchung sollte klären, ob es sich bei den Filterfarbstoff-Präparaten,<sup>10</sup> die für die Anfertigung von Lichtfiltern verwendet wurden, um reine Farbstoffe oder um Mischungen handelt. Bestandteile sollen Referenzfarbstoffen zugeordnet werden.

### *Auswahl der Proben*

Acht Proben werden untersucht.<sup>11</sup> Zusätzlich zu den drei Präparaten für additive Fotografie werden Farbstoffe als Referenz gewählt, die in der Literatur als Bestandteil von Mischungen für Blau, Grün und Rot erwähnt sind. Die Referenzfarbstoffe stammen ebenfalls aus dem Sortiment der FARBWERKE HÖCHST, das für fotografische Zwecke angeboten wurde. Die Auswahl wird auf fünf Farbstoffe eingegrenzt und ist daher nicht repräsentativ für die Vielzahl an möglichen Rezepten.

Folgende Farbstoffmischungen und Reinfarbstoffe werden untersucht:

*Rapid-Filterrot II, Rapid-Filtergrün II, Filterblau II;*

*Tartrazin, Säure Rhodamin, Säure Violett, Patentblau, Rose bengale.*

### *Durchführung*

Verwendet werden mit *Kieselgel 60* beschichtete DC-Platten der Firma Merck. Als Laufmittel wird eine Mischung aus Isopropanol, Ethylacetat und Wasser im Verhältnis 3:1:1 angesetzt. Die in Pulverform vorliegenden Farbstoffe werden mit Wasser gelöst. Beim Lösen von Patentblau bleiben einige Partikel ungelöst. (Abbildung der DC-Platten siehe Bildteil)

Platte 1: *Säure Rhodamin – Rose bengale – Tartrazin – Filterrot*

Platte 2: *Säure Violett – Patentblau – Filtergrün – Filterblau*

Die untersuchten Farbstoffe und Farbstoffmischungen können anhand des  $R_F$  Wertes differenziert werden. Der  $R_F$  Wert wertet die Laufhöhe der Substanz im Vergleich zur Laufhöhe der Laufmittelfront. Er wird angegeben als Quotient der Entfernung der Substanz vom Startpunkt mit der Entfernung der Laufmittelfront vom Startpunkt. Gemessen wird jeweils der obere Rand der Spots<sup>12</sup>.

---

<sup>10</sup> Inv. Nr. 2005 – 458, Deutsches Museum München

<sup>11</sup> Sammlungsleiterin Dr. Kemp gestattete freundlicherweise die Entnahme von jeweils ca. einem Gramm Farbstoffpulver.

<sup>12</sup> Spot bezeichnet den gelaufenen Farbstofffleck.

<b>Reinfarbstoffe</b>	<b>Farbton</b>	<b>R<sub>F</sub> Wert</b>
<i>Säurerhodamin</i>	Purpur-Rot	0,57
<i>Rose bengale</i>	Purpurrot	0,86
<i>Tartrazin</i>	Gelb	0,55
<i>Säure Violett</i>	Violett	0,69
<i>Patentblau</i>	grünliches Blau	0,49
<b>Filterfarbstoffmischungen</b>		
<i>Rapidfilterrot II</i>		
Komponente 1	bläuliches Rot	0,86
Komponente 2	Orange-Rot	0,65
Komponente 3	Gelb	0,52
<i>Rapidfiltergrün II</i>		
Komponente 1	Gelb	0,81
Komponente 2	dunkles, bläuliches Grün	0,45
<i>Filterblau II</i>		
Komponente 1	Violett	0,68
Komponente 2	Blau	0,48

### *Ergebnis*

*Rapidfilterrot II* setzt sich aus drei Komponenten zusammen. Auf der DC-Platte trennen sich deutlich ein gelber, ein mittelroter und ein violetter Bereich.

Der R<sub>F</sub> Wert und der Farbton des violetterfarbenen Bestandteils (0,86) gleichen dem von *Rose bengale* (0,86), ebenso die des gelben Bestandteils (0,52) denen von *Tartrazin* (0,55). Anzunehmen ist eine Mischung der letzten Komponenten und eines dritten, orangefarbenen Farbstoffes. Der dritte Farbstoff kann nicht zugeordnet werden.

*Rapidfiltergrün II* besteht aus einer Mischung eines blaugrünen Farbstoffes und eines gelben Farbstoffes. Der R<sub>F</sub> Wert des gelben Farbstoffes (0,81) unterscheidet sich deutlich vom Wert für *Tartrazin* (0,55), ähnelt *Tartrazin* aber im Farbton. Beide Komponenten können keiner Vergleichsprobe sicher zugeordnet werden.

*Filterblau II* besteht aus zwei Komponenten. Ein Bestandteil ist von der Form des Spots, der Farbe und dem R<sub>F</sub> Wert (0,68) annähernd identisch mit der Referenz *Säure Violett* (R<sub>F</sub> 0,69). Die zweite Komponente hat einen R<sub>F</sub> Wert von 0,48, der dem von *Patentblau* (0,49) gleicht. Der Farbton ist Patentblau sehr ähnlich. Somit lässt sich „Filterblau“ als Mischung von *Säure Violett* und *Patentblau* identifizieren.

## Farbmetrische Untersuchung von Lichtfiltern

### *Messgerät*

Verwendet wurde das Spektralphotometer „Cary UV-VIS-Spectrophotometer“<sup>13</sup>. Es handelt sich um ein Zweistrahl-Gerät, d. h. neben dem Mess-Strahl für die Probe wird ein zweiter, identischer Strahl ohne Probe als Referenz erfasst. Der Referenzstrahl wird als „100 % Transmission“ gesetzt, die Lichtdurchlässigkeit der Probe dann als Prozentwert davon errechnet. Der Mess-Strahl wird von einem Monochromator in einzelne Wellenlängen zerlegt, sukzessive durch die Probe gestrahlt und hinter der Probe aufgenommen. Die Intensität des transmittierten Lichtes wird für jede Wellenlänge erfasst. Die Proben werden in einem Winkel von 0 Grad, also senkrecht zur Oberfläche, in einem Bereich von ca. 5 x 10 mm durchstrahlt und der Mess-Strahl hinter der Probe erfasst. Damit entspricht die Meßgeometrie der Bedingung „Normal/normal, 0/0“<sup>14</sup>; gerichteter Eingang / gerichteter Ausgang.

Das Gerät ist an einen PC angeschlossen, die Transmissionswerte werden als „ASCII-Spreadsheet“ – Datei ausgegeben.

### *Messung*

Gemessen wurde im Bereich von 300–900 nm. Zur Berechnung und für die Übertragung in Diagramme wurde der Bereich auf 380–780 nm verkürzt. Die Auflösung betrug ein nm pro Messpunkt. Die Filter in der MIETHE-BERMPOHL-Dreifarbenaufnahmegerät und dem MIETHE-GOERZ-Dreifarbenaufnahmegerät wurden an zwei verschiedenen Stellen gemessen und die Transmissionswerte gemittelt, da die Filter alterungsbedingt ungleichmäßige Beschaffenheit zeigen. Von allen anderen Filtern wurde jeweils eine Messung durchgeführt.

### *Ermittlung von Farbmaßzahlen - Berechnungsgrundlagen*

Zur Ermittlung von Farbmaßzahlen wurden alle Berechnungen mit dem Tabellenkalkulationsprogramm „Excel“ durchgeführt.

Die Berechnung folgt der von der COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE in der Publication CIE Nr. 15.2 angegebenen Methode bzw. bezieht sich auf die in DIN 5033-2, DIN 5033-3 und DIN 5033-4 genannten Verfahren. Grundlage der Berechnung sind die Transmissionswerte über den Spektralbereich von 380 bis 780 nm. Dieser Bereich wird von der CIE für farbmetrische Zwecke angegeben.<sup>15</sup>

Weitere erforderliche Daten<sup>16</sup> in Tabellenform sind:

Die Werte für die spektrale Strahlungsleistungverteilung der Lichtart, es wurde das Normlicht D65 gewählt.<sup>17</sup>

Die Werte für die spektrale Empfindlichkeit des Auges. Gewählt wurden die Werte für 2° Gesichtsfeldgröße. Diese drei Wirkungsfunktionen werden als Normspektralwertfunktionen für 2°

<sup>13</sup> Die Nutzung dieses Gerätes im Doerner Institut, Bayerische Staatsgemäldesammlungen, wurde freundlicherweise von Frau Dr. Heike Stege ermöglicht.

<sup>14</sup> CIE Colorimetry 1986, S. 18.

<sup>15</sup> CIE Colorimetry 1986, S. 23.

<sup>16</sup> Daten zur farbmetrischen Berechnung unter [http://www.cis.rit.edu/mcsl/online/CIE/all\\_1nm\\_data.xls](http://www.cis.rit.edu/mcsl/online/CIE/all_1nm_data.xls) (Munsell Color Science Laboratory).

<sup>17</sup> Alternativ wurden Berechnungen mit dem Normlicht A durchgeführte das Glühlampenlicht einer Farbtemperatur von ca. 2800 K entspricht. Es zeigte sich, dass die schließlich resultierenden Normfarbanteile x, y sich von den mit Normlicht D65 errechneten Werten nicht stark unterscheiden. Als Grund wird die schmalbandigkeit der gemessenen Filter angenommen.

Gesichtsfeldgröße und der hierdurch definierte Beobachter als farbmetrischer 2° (Kleinfeld)-Normalbeobachter CIE 1931 bezeichnet.

*Berechnung der Normfarbwerte (Tristimulus-Werte) X, Y, Z.*

Zunächst werden die Normfarbwerte X, Y und Z ermittelt.<sup>18</sup> Sie entsprechen dem Farbreiz auf der Netzhaut in den drei Spektralbereichen, für die die Sinneszellen empfindlich sind, also Blau, Grün und Rot. Die Transmissionswerte aus den einzelnen Spektren werden mit der Strahlungscharakteristik der Normlichtquelle multipliziert und dann mit den jeweiligen „colour-matching functions“. Die drei Reihen an Produkten werden wellenlängenweise aufsummiert. Jeder Summenwert wird mit der Konstanten k multipliziert. K ist 100 geteilt durch die summierten Produkte aus den y-Werten mit der Normlicht-Spektralcharakteristik (Multiplikation wellenlängenweise).

$$X = k \sum_{\lambda} \tau(\lambda) S(\lambda) x(\lambda) \Delta\lambda$$

$$Y = k \sum_{\lambda} \tau(\lambda) S(\lambda) y(\lambda) \Delta\lambda$$

$$Z = k \sum_{\lambda} \tau(\lambda) S(\lambda) z(\lambda) \Delta\lambda$$

k ist eine Konstante, die sich errechnet aus  $100 / \sum_{\lambda} S(\lambda) y(\lambda) d\lambda$

$\tau(\lambda)$  sind die Transmissionswerte für jede Wellenlänge  $\lambda$

$S(\lambda)$  sind die Werte für die spektrale Strahlungscharakteristik der gewählten Normlichtquelle, in diesem Fall D65, für jede Wellenlänge ( $\lambda$ ).

$x(\lambda)$ ,  $y(\lambda)$ , und  $z(\lambda)$  sind die Normspektralwertfunktionen des farbmetrischen Normalbeobachters.  $\Delta\lambda$  entspricht dem Wellenlängenintervall, bei Berechnung für jede ganze Wellenlänge in nm ist  $\Delta\lambda = 1$ .

*Berechnung der Valenzmetrischen Farbmaßzahlen (Normfarbanteile) x, y*

Zur graphischen Darstellung der ermittelten Farbwerte in der Normfarbtafel werden diese in Normfarbwertanteile bzw. valenzmetrische Farbmaßzahlen (x, y) umgerechnet.

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

Die so gewonnenen Werte lassen sich als Koordinaten in das Diagramm eintragen.

---

<sup>18</sup> Berechnung wie in der CIE-Publikation, S. 22, vorgegeben

## Zur Reproduktion der Glasplattendiapositive über die Anfertigung von Zwischennegativen

### Zwischennegative

Im ersten Arbeitsgang werden die Zwischennegative im Mittelformat 6 x 6 cm angefertigt. Die Diapositive werden von einem Repro-Stativ aus fotografiert. Verwendet wurde das Makro-Objektiv *Zeiss Makro-Planar 1:5,6 / 135 mm*.<sup>19</sup> Zur diffusen Beleuchtung dient ein Leuchtpult. Um dessen etwas ungleichmäßige Ausleuchtung zu egalisieren, wird eine Opalglasscheibe im Abstand von 6 cm über die Leuchtfläche positioniert, worauf die Diapositive gelegt werden. Die Leuchtfläche wird bis auf das benötigte Format abgedeckt, um Streulicht zu verhindern, Filmmaterial ist „Fuji Neopan 100 Acros“. Seine ISO-Empfindlichkeit beträgt 100 ASA. Er zeichnet sich durch sehr gute Feinkörnigkeit und hohes Auflösungsvermögen aus.<sup>20</sup> Seine Tonwertwiedergabecharakteristik wurde anhand von Testaufnahmen eines Stufengraukeils ermittelt. Dieser wird vom Leuchtpult abfotografiert. Die Dichteabstufungen des Graukeils im Negativ werden mit einem Densitometer gemessen. Diagramm 3 zeigt die Wiedergabe der Felder des Stufengraukeils.

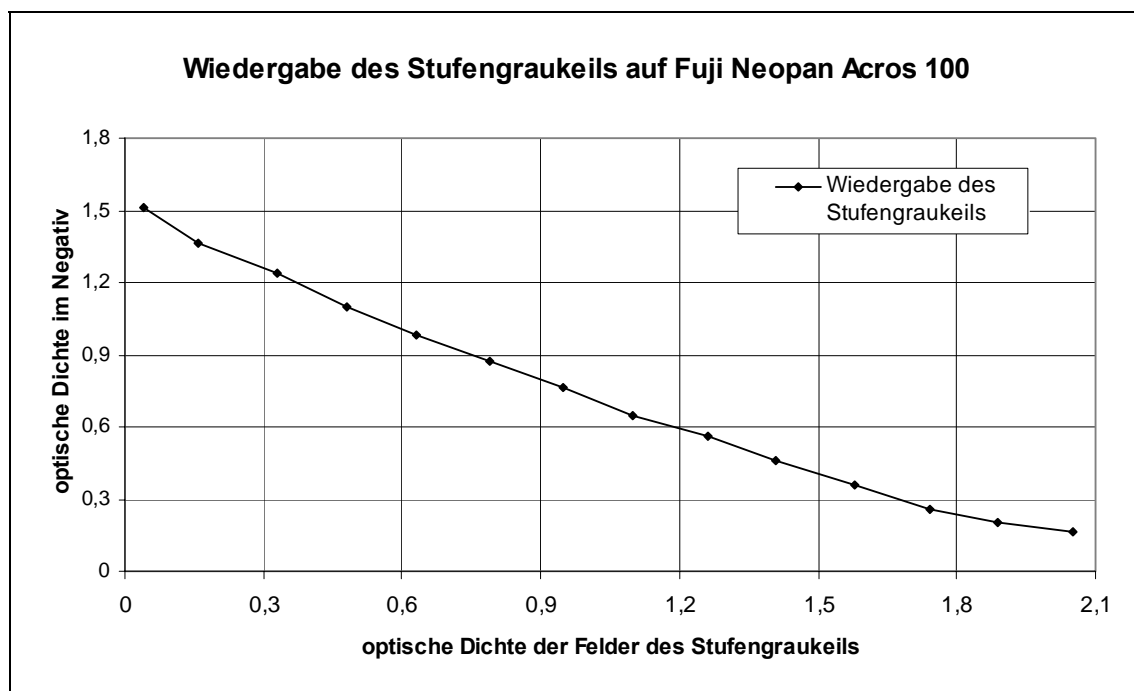


Diagramm 4

Der Bereich von 2,05 bis 1,9 optischer Dichte der Vorlage ergibt im Negativ niedrige Dichte und liegt im Bereich flacher Gradation. Ab 1,9 bis 0,3 optischer Dichte der Vorlage ist die Tonwertwiedergabe im Negativ annähernd gleichförmig. Die Verflachung des Kontrastes setzt erst im Bereich hoher Dichte des Negativs ein, der im Diagramm 4 nicht dargestellt ist. Der Gammawert als Maß für die Kontrastwiedergabe beträgt 0,7.

<sup>19</sup> Freundlicherweise von Herrn Walter Haberland zur Verfügung gestellt.

<sup>20</sup> Laut Herstellerangabe im Datenblatt: Fujifilm Datasheet AF 3-095E Black-and-White Films / Neopan 100 Acros.

Der Dichteumfang der Diapositive von 1,23 kann im linearen Arbeitsbereich des Filmmaterials übertragen werden.

#### *Anfertigung der Diapositive*

Der Aufbau für die Reproduktion ist der gleiche wie im ersten Schritt, es wird das Objektiv *Mikro-Nikkor 1:4 / 105 mm* eingesetzt.

Es wird der von der Firma MACO vertriebene Film Macophot ORT 25 verwendet. Er zeichnet sich durch folgende für den Reproduktionsprozess günstige Eigenschaften aus: Der Träger ist völlig transparent, im Unterschied zu den meisten anderen Schwarzweißfilmen des Marktes, die einen mehr oder weniger stark grau eingefärbten Träger besitzen. In der Projektion würde ein grauer Träger zu einer dunkleren Wiedergabe des Bildes führen. Durch die niedrige Empfindlichkeit von 25 ASA ist das Material sehr feinkörnig und weist hohes Auflösungsvermögen auf.

Die Tonwertwiedergabecharakteristik ist auf hohen Kontrast ausgelegt. Da die Zwischenegative einen Gammawert von 0,7 aufweisen ergibt sich der erforderliche Gammawert des Positivs zu 1,4 ( $1/0,7 = 1,4$ ) um eine kontrastgleiche Wiedergabe der Originale zu erreichen. Dieser Wert lässt sich durch angepasste Entwicklung erzielen. Entwickelt wird 5 Minuten mit *Agfa Rodinal* in der Verdünnung 1:25 bei 20 °C.

Das Diagramm zeigt die Wiedergabe der Felder des Stufengraukeils.

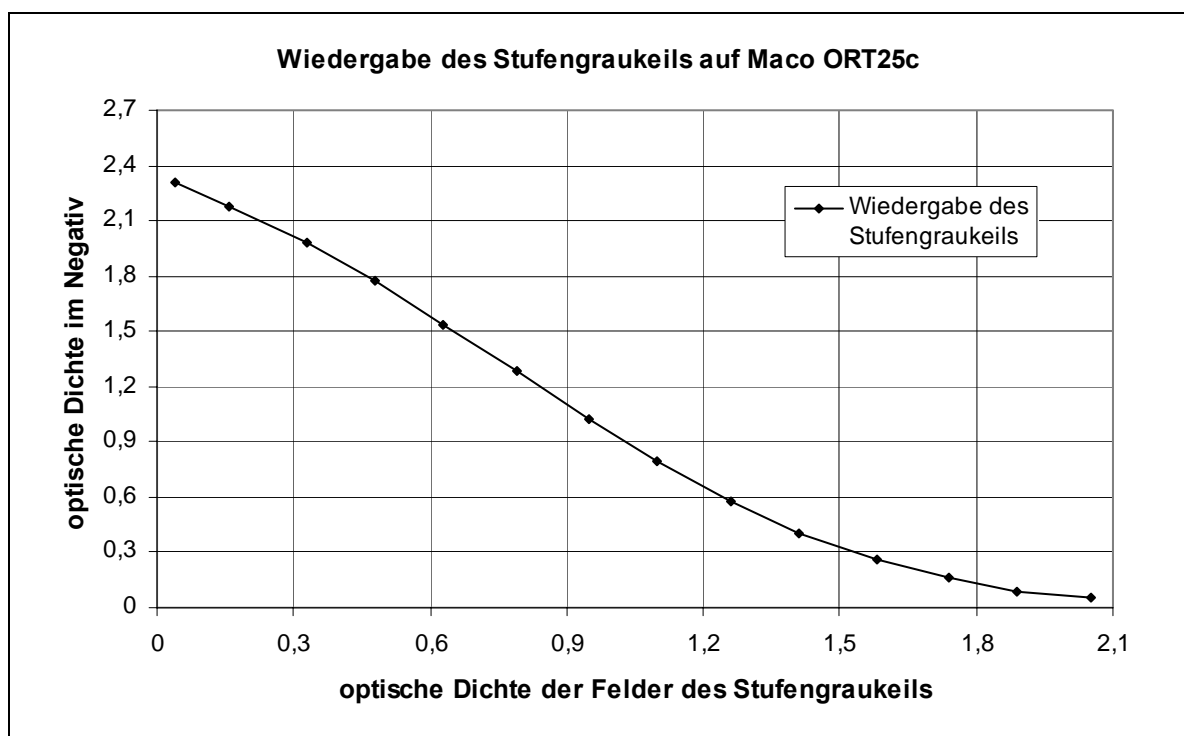


Diagramm 5

## **Experiment zur Evaluierung der Farbwiedergabe in der Dreifarbenfotografie**

### *Ausgangssituation*

Die spektralphotometrische Messung der rekonstruierten Gelatine-Glas-Lichtfilter zeigt, dass ihre Transmissionsbereiche sich nur gering überlappen. Eine ausreichende Überlappung wird in der modernen Literatur<sup>21</sup> als erforderlich erachtet, um eine kontinuierliche Aufzeichnung des Lichtspektrums zu gewährleisten.

Das zur Zeit MIETHES verwendete Aufnahmematerial wies für den langwelligen Bereich des Spektrums, für Rot, eine geringere Empfindlichkeit auf, als für Blau und Grün. Um dies zu kompensieren wurde die Aufnahme für den Rotauszug länger belichtet und zusätzlich die Transmission für den Blau- und Grünfilter durch entsprechende Farbstoffkonzentration gering eingestellt.

### *Fragestellung*

Es stellt sich die Frage, wie die Farbwiedergabecharakteristik in der Dreifarbenfotografie durch die Transmissionseigenschaften der Aufnahmefilter beeinflusst wird und in welchem Maß geringe Rotempfindlichkeit des Aufnahmematerials durch intensivere Belichtung des Rotauszuges ausgeglichen werden kann.

### *Methode*

Durch nachgestellte Dreifarbenfotografie einer Farbtafel (McBeth Color Checker mit 24 Feldern) werden Farbauszüge auf Schwarzweißmaterial angefertigt. Die Wiedergabe, die sich mit den rekonstruierten Filtern ergibt, wird verglichen mit der, die durch Anwendung von „modernen“ Farbauszugsfiltern zu erzielen ist. Für die beiden Serien wird panchromatischer Schwarzweißfilm verwendet.

Um zu ermitteln, wie weit eine geringe Rotempfindlichkeit des Aufnahmematerials durch entsprechend intensivere Belichtung des Rotauszuges kompensiert werden kann, werden Aufnahmen durch die rekonstruierten Filter auf orthopanchromatischen Film angefertigt. „Orthopanchromatische“ Sensibilisierung bedeutet geringe Rotempfindlichkeit.

Die in den drei Aufnahmeserien erzeugten Schwarzweißnegative werden eingescannt, im Bildbearbeitungsprogramm zum Positiv gewandelt, im Kontrast linearisiert und die drei Auszüge in die Farbkanäle eines digitalen RGB-Bildes eingefügt.

Die resultierende Wiedergabe der Farbtafel wird mit farbmessig gewonnenen Werten der Vorlage verglichen. Aus der Differenz wird die Farbabweichung als „Delta E“ ermittelt.

Für die drei generierten digitalen Farbbilder der Vorlage wird ein Ausgabeprofil erstellt und die Bilder auf einem kalibrierten Tintenstrahldrucker ausgegeben, um einen visuellen Vergleich der Farbwiedergabe zu ermöglichen.

Die Berechnung der Farbabweichung, die Erstellung der Ausgabepprofile für die Bilddaten und der Ausdruck der Bilder wurde von Herrn Dipl. Ing. Andreas Kraushaar, FOGRA-Institut München durchgeführt.

---

<sup>21</sup> Vgl. MARCHESI 1998, S. 102.

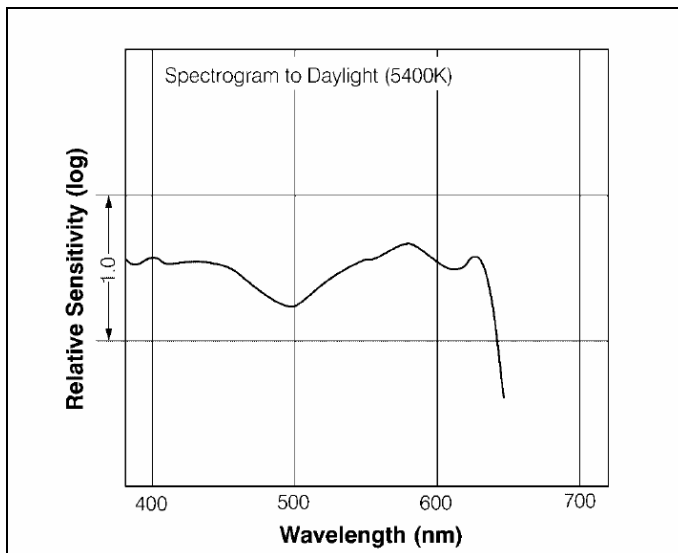
### Durchführung

#### Geräte und Materialien

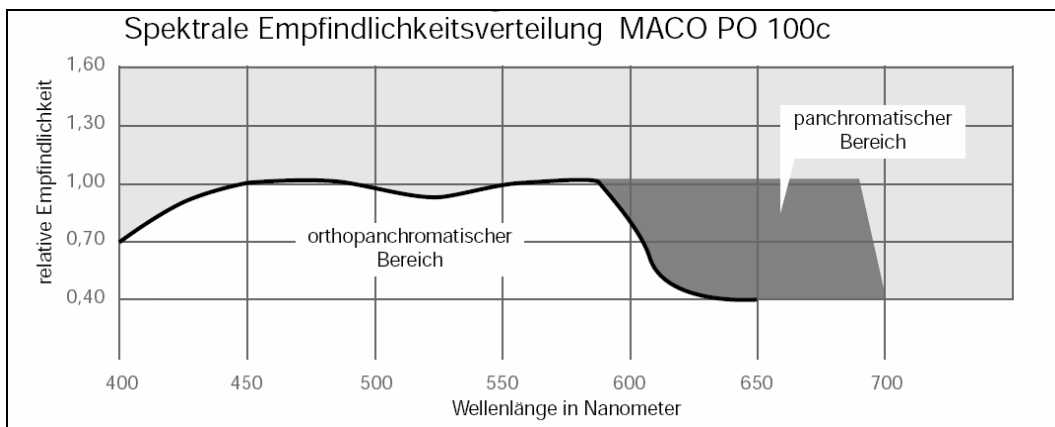
Für die Aufnahme wird eine Kleinbildkamera und ein Objektiv von 105 mm Brennweite verwendet. Panchromatischer Film ist *Fuji Neopan Acros 100*.

Orthopanchromatischer Film ist *MACO PO 100c*.

Die folgenden Abbildungen zeigen die spektrale Sensibilisierung der Filme.<sup>22</sup>



**Diagramm 6:** Spektrale Empfindlichkeit Fuji Neopan Acros 100



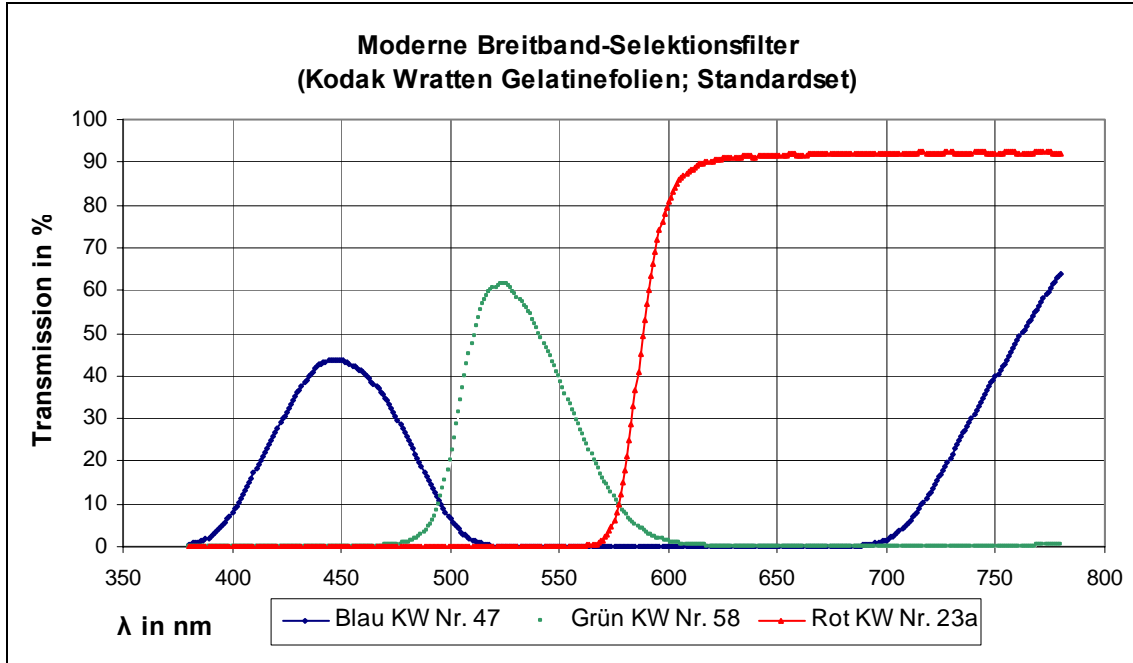
**Diagramm 7:** Spektrale Empfindlichkeit MACO PO 100c

Aus den Diagrammen ist ersichtlich, dass die Empfindlichkeit des Fuji Acros bis ca. 640 nm reicht und der Maco PO 100c ab ca. 580 nm an Empfindlichkeit verliert.

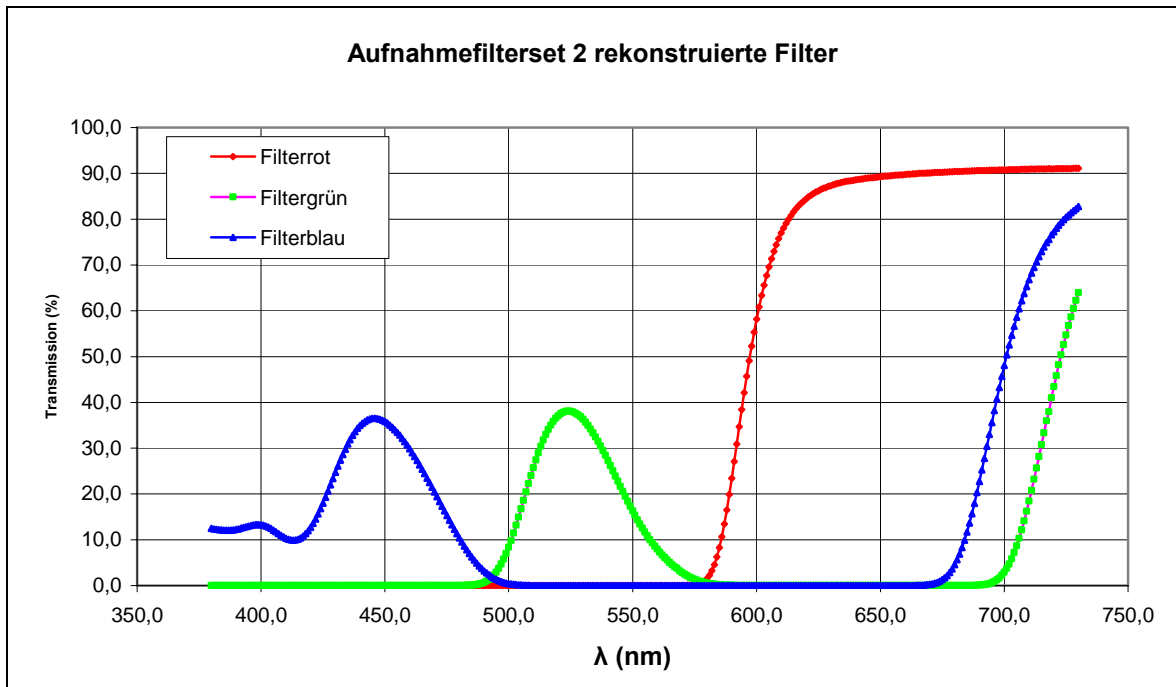
<sup>22</sup> Abbildung für Maco PO 100c aus dem technischen Datenblatt „TAp01cD / PO 100c neuer Orthopanchromatischer Schwarzweißfilm“, online unter: <http://www.mahn.net>; (Stand November 2006).  
Abbildung für Fuji Neopan Acros aus dem technischen Datenblatt „Fujifilm Datasheet AF 3-095E Black-and-White Films / Neopan 100 Acros“.



Als Separationsfilter dienen die rekonstruierten Gelatine-Glas-Lichtfilter und ein Gelatine-Folien-Filtersatz. Dieser wird anhand der Empfehlung von MARCHESI gewählt und entspricht den Kodak-Wratten Filtern Nr. 47 (Blau), Nr. 58 (Grün) und Nr. 23a (Rot).



**Diagramm 8**



**Diagramm 9:** rekonstruierte Gelatine-Glas-Lichtfilter

### *Aufnahme der Farbtafel*

Die Farbtafel wird mit Fotolampen der Firma Hedler von 3200 Kelvin beleuchtet. Das kontinuierliche Lichtspektrum des Glühlampenlichtes wird für die Testaufnahmen als günstiger

erachtet als das diskontinuierliche Spektrum von „Tageslicht“ simulierenden Metaldampf-Hochdruck-Leuchtmitteln. Für jede Aufnahmeserie wird eine Belichtungsreihe angefertigt.

*Vermessung der Farbtafel*

Von den 24 Feldern der Farbtafel werden mit dem Farbmessgerät *Eye One Match* der Firma *Gretag MacBeth* Remissionsspektren gewonnen. Daraus werden die Tristimuluswerte X, Y, Z errechnet unter Verwendung der spektralen Charakteristik von Normlicht A (Strahlungsleistungsverteilung von Glühlampenlicht).

<b>Felder</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
1 Haut dunkel	14,3	10,7	2,1
2 Haut hell	48,8	38,0	8,8
3 Himmelblau	17,1	17,4	11,0
4 Laubgrün	12,6	13,1	2,5
5 Blumenblau	26,5	22,8	14,0
6 Blaugrün	32,2	38,2	15,2
7 Orange	51,4	35,6	1,9
8 Violettblau	11,1	10,2	11,7
9 Mittelrot	38,8	23,1	4,4
10 Lila	9,8	7,0	4,6
11 Gelbgrün	41,5	43,1	4,3
12 Orangegrün	62,6	48,6	2,8
13 Blau	6,0	5,2	9,5
14 Grün	16,1	21,2	3,5
15 Rot	30,8	15,9	1,7
16 Gelb	76,1	64,7	4,1
17 Magenta	38,1	22,5	9,2
18 Cyan	11,8	15,7	12,9
19 Weiß	94,1	85,6	29,2
20 Grau	63,4	57,8	20,5
21 Grau	38,7	35,3	12,6
22 Grau	21,4	19,5	6,9
23 Grau	9,5	8,7	3,1
24 Schwarz	3,8	3,4	1,2

*Digitalisierung der Auszugsnegative.*

Die Negative werden mit einem Filmscanner digitalisiert. Um Übereinstimmung der drei Farbauszüge in Helligkeit und Kontrast zu erreichen, wird die Gradation manuell linearisiert. Maßgabe sind die sechs Graustufenfelder der Farbtafel, Nr. 19 bis 24. Sie definieren den zu übertragenden Kontrastumfang.

Den Werten für „Y-Luminanz“ wurden RGB-Werte zugewiesen. Der Tristimuluswert Y ist proportional der Helligkeit oder Luminanz des Farbfeldes.<sup>23</sup> Die Zuweisung des Weißfeldes auf

<sup>23</sup> HUNT 1991, S. 53.

einen RGB-Wert von 241/241/241 ist willkürlich und entspricht im Digitalbild nicht dem hellsten möglichen Wert von 255/255/255. So wird berücksichtigt, dass das Feld „Weiß“ der Testtafel nicht völlig rein weiß ist. Der Korrekturfaktor, mit dem sich die intensitätslinearen Zielwerte für die Korrektur der übrigen Graufelder ermitteln lassen, ergibt sich aus 240/Y-Luminanz Weißfeld bzw. 240/85,6 und beträgt 2,81. Im Bildbearbeitungsprogramm *Adobe Photoshop 6.0* werden die durch den Scanvorgang gegebenen RGB-Werte der Graufelder ermittelt und dann über die Funktion „Gradationskurven“ auf die Zielwerte gebracht. Die folgende Tabelle zeigt die ermittelten Werte für die Vorlage und die zugewiesenen RGB-Werte für die Digitalbilder.

<b>Farbfeld</b>	<b>Y-Luminanz (Intensitätslinear)</b>	<b>Remissionsdichte</b>	<b>zugewiesene RGB Werte</b>
19 (weiß)	85,6	0,07	241
20	57,8	0,24	163
21	35,3	0,45	99
22	19,5	0,71	55
23	8,7	1,06	25
24 (schwarz)	3,4	1,46	10

Die drei Farbauszüge sind durch die Linearisierung anhand der Graustufenfelder von identischem Kontrast, was wesentlich für die zu erzielende Farbwiedergabe ist. Sie werden in die Farbkanäle einer RGB-Bilddatei eingefügt.

Für die so erzeugten Digitalbilder werden die RGB-Werte, die sich für die Farbfelder ergeben, im Bildbearbeitungsprogramm anhand der Anzeige des Dialogfeldes *Histogramm* ermittelt.

#### *Berechnung der Farbabweichung*

Grundlage für die Berechnung sind die ermittelten Farbwerte (Tristimuluswerte X, Y, Z) der Vorlage und die RGB-Werte der Farbfelder in den drei generierten Digitalbildern. Die Berechnung wurde von Herrn Dipl. Ing. Kraushaar durchgeführt. Ergebnisse sind ein Wiedergabeprofil für die Ausgabe der Digitalbilder und Werte für den Farbabstand der Wiedergabe zur Vorlage, angegeben als *Delta E*.

Die Werte für Delta E sind in folgender Tabelle aufgeführt. Ausdrucke der Aufnahmen sind als Anlage beigelegt.

