Zwei-Farben-Projektion und ihre Phänomene

*M. H. Wilson und R. W. Brocklebank**

1. *Einleitung*

Die additive Zweifarbenprojektion als Verfahren, farbige Bilder herzustellen, ist seit langem durch das subtraktive Dreifarbenverfahren ersetzt worden, aber es ist wieder Interesse an ihr erweckt worden durch die neuerliche Arbeit von *Edwin H. Land,* Vorsitzender der *Polaroid Corporation* und Erfinder des Polaroid-Materials und der Land'schen Sofortbildkamera. *Lands* Hauptanliegen ist wohl, wie es scheint, zu zeigen, dass die gängigen Theorien des Farbsehens in keiner Weise ausreichen, um die bemerkenswerten bei der Zweifarbenprojektion zu beobachtenden Phänomene zu erklären und gewisse Beweise für die Theorie beizubringen, welche er als Alternative vorschlägt. Bevor man an eine Beurteilung von *Lands* Theorien gehen kann, ist es notwendig, seine Versuche in dem Licht zu betrachten, das die früheren Arbeiten auf diesem Gebiet schon verbreiten, um zu sehen, ob die eingebürgerten Theorien des Farbsehens wirklich nicht imstande sind, seine Ergebnisse zu erklären.

Land stellte seine Versuchsreihen am 20. Mai 1958 vor der Royal Photographic Society dar. Die Verfasser waren bei dieser Gelegenheit nicht zugegen und haben auch sonst seine eigenen Demonstrationen an keiner anderen Stelle gesehen; sie werden, was sie vorbringen, lediglich auf die von ihm veröffentlichten Aufsätze gründen und haben zur Ergänzung seine Demonstrationen nach den von ihm gegebenen Beschreibungen selbst wieder durchgeführt [1, 2, 3, 4].

Dass farbloses Licht** durch Kontrastwirkung dazu gebracht werden kann, farbig zu scheinen, ist schon länger bekannt als die Grundlage der Farbmetrik: *Goethe* war so überrascht durch das dramatische Auftreten von Nachbildern und farbigen Schatten, dass er in seiner grossartigen Farbenlehre [5, 6] Gewicht darauf legte, zu beachten, dass der Schlüssel zur Farbenlehre überhaupt in den Farben liege, welche «dem Auge zugehören». *Helmholtz* beschreibt sehr eingehend sukzessive und simultane Kontrastfarben, ebenfalls schildert er anhand von einzelnen Fällen, wie Körperfarben unter farbiger Beleuchtung aussehen [7]. *Judd* gibt einen Überblick über die umfängliche Arbeit, die in bezug auf Kontrastfarben durchgeführt worden ist [8].

Somit war wohlbekannt, dass eine genaue Farbenangabe nur gültig ist, wenn alle Kontrastwirkungen ausgeschaltet sind, und dass für genaue Farbmessungen sehr sorgfältige Vorkehrungen getroffen sein müssen. Das Maxwellsche Farbendreieck, das festhält, in welchen Verhältnissen drei Grundfarben miteinander gemischt sein müssen, um dem Muster zu entsprechen, ist die Grundlage für alle Farbmischungssysteme geworden, und es liefert auch eine angemessene Grundlage zur Katalogisierung von Farbwahrnehmungen, solange die gesehenen Farben nicht durch Kontrastwirkung beeinflusst sind, das heisst, wenn das wahrnehmende Auge sich in einem normalen Adaptionszustand (normaler Farbstimmung) befindet.

Maxwell lieferte uns auch die erste Farbphotographie. Vor nahezu hundert Jahren führte er ein Bild vor, bei dem drei Schwarzweiss-Diapositive zusammenwirken; benutzt wurden Bilder des gleichen Objektes, die durch ein rotes, ein grünes und ein blaues Filter aufgenommen waren und in den gleichen drei Farben so projiziert wurden, dass sie auf dem Bildschirm genau zur Deckung kamen. Obwohl der Erfolg dieser Methode die geläufigen Vorstellungen über den Vorgang des Farbsehens offensichtlich bestätigte, war sie für praktische oder wirtschaftliche Anwendungen zu umständlich. Zu einer ersten Vereinfachung kam es, indem man einfach das blaue Bild ganz wegliess; nur sehr wenig von der gesamten Bildhelligkeit stammt von dem blauen Anteil, und das restliche Zweifarbensystem liefert ganz angenehme warmtonige Bilder, die sich für Innenraum-Szenerien und Porträts eignen. Es wurde sogar von Ducos du Hauron, einem der Pioniere für photographische Verfahren, bemerkt, dass Leute Blau zu sehen meinten, auch wenn sie wussten, dass keines vorhanden war.

* Vortrag bei einer gemeinsamen Veranstaltung der *Royal Photographic Society* (Naturwissenschaftliche und Technische Fachgruppe) und der *Physical Society* (Fachgruppe für Farben) am 23. März 1960 in London. Wiedergabe der Originalfassung: Two-Colour Projection Phenomena in The Journal of Photographic Science (1960), *8*, S. 141–150, mit der freundlichen Erlaubnis der Royal Photographic Society of Great Britain. Übersetzung von Dr. Hans Simon.

** Zufügung des Übersetzers: Im englischen Text findet sich durchwegs die Bezeichnung "white light". Der in der deutschen Fachsprache übliche Ausdruck wäre «unbuntes Licht». Wir werden hier von «farblosem Licht» sprechen und behalten die Bezeichnung «weiss» ausschliesslich für Gegenstände oder Oberflächen vor, die als weiss erscheinen.

Mit der Entwicklung der Kinematographie kamen Zweifarbenverfahren wieder ins Spiel. Bei den verschiedenen subtraktiven Verfahren konnte jede Farbe für sich verarbeitet werden, je eine auf den beiden Seiten des Films, und es wurden mehrere, voneinander abweichende Farbenpaare verwendet, mit jeweils einer warmen und einer kalten Farbe, wie Rot und Grün, Orange und Blau oder Orangerot und Zyan. Dies sind die eigentlichen Ahnen unserer heutigen Farbfilme, aber eine Zeitlang wurden neben ihnen die additiven Zweifarbenverfahren nach Maxwellscher Methode verwendet. Manchmal wurden die Rot- und die Grünbilder gleichzeitig projiziert und manchmal abwechselnd, so dass sie nur durch die Fortdauer der Seh-Empfindung verschmolzen. In jedem Falle beeinträchtigen unerwünschte Farbsäume die Ergebnisse, entweder durch Parallaxe bei paarweise gleichzeitiger Projektion oder durch die Bewegung von Objekten zwischen aufeinander folgenden Bildern. Aber bevor man vom additiven Verfahren endgültig abrückte, war von *Fox* und *Hickey*[9] entdeckt worden, dass bei Entfernung des Grünfilters aus dem Projektor das Ergebnis farblich noch ganz erfreulich und natürlich um ein Gutteil heller ist. Das Grün bleibt weiter erhalten, weil reines Weiss, betrachtet in einer Umgebung von gemischtem farblosen und roten Licht, bläulichgrün erscheint, geradeso wie bei *Goethes* farbigen Schatten. Aber die Entdecker interessierten sich wahrscheinlich gar nicht dafür, aus welchem Grunde dies geschah; sie brauchten annehmbare Farbwiedergaben, und als die Dreifarbenverfahren geschäftlich verwertbar wurden, kamen die Zweifarbenverfahren allmählich ausser Gebrauch. Eine ausgezeichnete Darlegung von Geschichte, Methoden und Unzulänglichkeiten der Zweifarbenfilme ist in *Major Cornwell-Clines* Buch «Colour Cinematography»[9] zu finden. Beispiele von vielen dieser Verfahren sind im Kodak-Museum in Wealdstone zu sehen.

Für *Land* ist, wie er ausdrücklich angibt, die Entdeckung von *Fox* und *Hickey* der Ausgangspunkt seiner eigenen Arbeit. Er spricht aus, dass er sich nicht in erster Linie dafür interessierte, ein geschäftlich verwertbares photographisches Verfahren herauszubringen oder auch nur eine Methode, um farbige Szenerien ohne Anspruch auf grosse Genauigkeit wiederzugeben; er ist so beeindruckt davon, welche Anzahl von verschiedenen Farben sich nur durch rotes und farbloses Licht gewinnen lassen und nach seiner Meinung nicht aus der klassischen Theorie des Farbsehens abgeleitet werden können, dass er es als notwendig ansieht, den Phänomenen mit einer ganz neuen Theorie des Farbsehens Genüge zu tun.

2. *Lands Versuche*

Einige dieser Phänomene sollen genau untersucht werden. *Lands* Hauptvorführung wurde wiederholt, dazu wurde auf einer Tischplatte eine Stillebengruppe mit Gegenständen aufgebaut, die er speziell empfiehlt; diese wurde einmal durch ein rotes und einmal durch ein grünes Dreifarbenfilter photographiert. Davon wurden Schwarzweiss-Diapositive hergestellt (*Bild* 1). *Land* nennt das Positiv des roten Auszugs die «langwellige Aufnahme» und das Positiv des grünen Auszugs die «kurzwellige Aufnahme», da er normalerweise keinen Blauauszug benutzt. Mithin werden, wenn die Diapositive in genauer Deckung projiziert werden, verschiedenfarbige Objekte im projizierten Bild verschiedengrosse Lichtanteile von den beiden Projektionslampen erhalten; nur dann, wenn man die beiden Projektionslichtquellen verschieden färbt, werden diese Anteilunterschiede in den Farbtönen sichtbar. Die Frage ist: von welchen Farben wäre bei einem gegebenen Paar von Projektionsfarben zu erwarten, dass sie auftreten, und in welchem Verhältnis werden sie zu den Farben der Originalszenerie stehen?

Land hat gezeigt, dass, sobald der langwellige Auszug mit rotem und der kurzwellige Auszug mit farblosem Licht projiziert wird und die beiden Bilder genau in Deckung sind, die Farben der Objekte im projizierten Bild ziemlich gut mit den Farben der ursprünglichen Gegenstände übereinstimmen, und zwar insoweit, dass Beobachter ihnen die richtigen Farbnamen geben. Der Bereich der angegebenen Farbnamen ist nicht begrenzt auf Rot und Weiss und ihre direkte Mischung Rosa. In unserem Beispiel haben wir einen rot-grünen Apfel, eine rote Zigarettenschachtel und weisse Zigaretten, braune Flaschen und eine braune Holzschale, Orangen in ihrer natürlichen Farbe, eine gelbe Banane, eine rot-weiss-blaue Streichholzschachtel mit einer blaugrauen Stirnseite, ein Päckchen in grünem Papier mit Goldband, Kupfer- und Messinggefässe, einen gelben Bleistift, eine grünlichblaue US-Luftpostmarke und rot-weiss-blaue Randstreifen auf dem Luftpostumschlag, eine gelbe Zitrone auf einem blau-weissen Teller, eine olivgrüne Ingwerbierflasche und eine graue Tischdecke. Die Farben wurden sämtlich auf Grund der Projektion mit rotem und farblosem Licht richtig genannt. Es scheint, dass nur sehr wenig Farben nicht vertreten sind.

Land hat gezeigt, dass man im wesentlichen dasselbe Ergebnis bei vielen verschiedenen Paaren von Projektionsfarben erhält. Wird z. B. der langwellige Auszug mit farblosem an-