

Farben in Grautönen : von der farbenblinden zur farbenempfindlichen photographischen Platte

Autor(en): **Amsler, Hans**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik**

Band (Jahr): **7 (1952)**

Heft 1

PDF erstellt am: **21.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-653441>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Farben in Grautönen

Von der farbenblinden zur farbenempfindlichen photographischen Platte

Von Dipl. rer. nat. Hans Amsler, Zürich

DK 771.534.2 : 612.843.36

Die großen Erfolge, die der Photographie auf allen Gebieten von Wissenschaft, Technik und Kunst beschieden waren¹⁾, wären kaum denkbar, wenn die moderne Photographie die lichtempfindlichen Systeme noch in derselben Form verwenden würde wie in den Anfängen der Lichtbildkunst. Wie jeder Erfindung, die etwas grundsätzlich Neues bringt, ist auch der Entdeckung der Photographie das ihr gebührende Interesse und die weniger kritische Begeisterung über das Neue nicht versagt worden. Schon bald aber mußte die enttäuschende Beobachtung gemacht werden, daß sich mit der photographischen Kamera wohl eine äußerst formgetreue Wiedergabe des Aufnahmegegenstandes erzielen ließ, daß aber die Farben durch Grauwerte wiedergegeben wurden, die in ihrer Helligkeit keineswegs dem Empfinden unseres Auges entsprachen. An einem praktischen Beispiel erläutert, würde das heißen, daß von einer Reihe verschiedener Farben, die unserem Auge alle gleich hell erscheinen, das Blau nahezu weiß wiedergegeben wurde, während sich die übrigen Farben in ihrer dunkelgrauen bis schwarzen Wiedergabe fast nicht mehr voneinander unterscheiden ließen.

Die Unzulänglichkeit der alten photographischen Schichten wird erklärlich, sobald man bedenkt, daß diese und das Auge zwei ganz verschiedene lichtempfindliche Systeme darstellen, von denen nicht zu erwarten ist, daß sie von vornherein für Farben das gleiche „Helligkeitsempfinden“ besitzen.

Die ersten photographischen Schichten enthielten als lichtempfindliche Substanz Silber-salze (Silberbromid, Silberjodid), die auch bei modernen Aufnahmematerialien noch verwendet werden, jedoch mit dem Unterschied, daß man heute die Empfindlichkeit dieser Silberverbindungen für Licht verschiedener Wellenlänge weitgehend zu beeinflussen versteht.

Das normalsichtige menschliche Auge weist eine ganz charakteristische spektrale Empfindlichkeitsverteilung auf (Abb. 1). Bietet man dem Auge eine Reihe verschiedenfarbiger Lichter

dar und stellt man dem Beobachter die Aufgabe, diese durch geeignete Maßnahmen in ihrer Strahlungsintensität so zu verändern, daß sie ihm alle gleich hell erscheinen, so kann man durch nachträgliches photometrisches Messen der eingestellten Intensitäten feststellen, daß für den mittleren Teil des sichtbaren Spektrums (gelb und grün) eine viel kleinere Strahlungsintensität erforderlich ist als für die kurzwelligen (blauen) und langwelligen (roten) Strahlen, um dem Auge alle gleich hell erscheinen zu lassen. Mit anderen Worten heißt das, daß unser Auge ein grünes Licht viel heller empfindet als ein blaues oder rotes gleicher Intensität. Entsprechend seiner unterschiedlichen Empfindlichkeit für die verschiedenen Farben ordnet nun unser Auge jeder ein in seiner Helligkeit gleichwertiges (farbtonrichtiges) Grau zu. Eine farbtonrichtige photographische Schwarzweißwiedergabe eines bunten Aufnahmegegenstandes setzt demzufolge voraus, daß der der Photographie zugrunde liegende photochemische Prozeß in seiner spektralen Empfindlichkeit derjenigen unseres Auges angeglichen ist. Warum diese Forderung von reinem Silberbromid oder Silberjodid nicht ohne weiteres erfüllt wird, zeigt die folgende Betrachtungsweise einer die photochemischen Prozesse beherrschenden, grundlegenden Gesetzmäßigkeit.

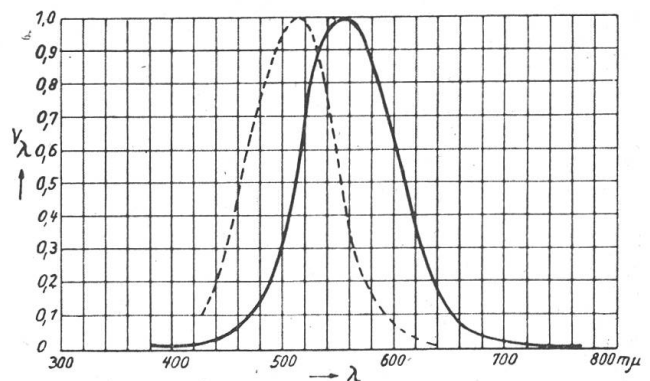
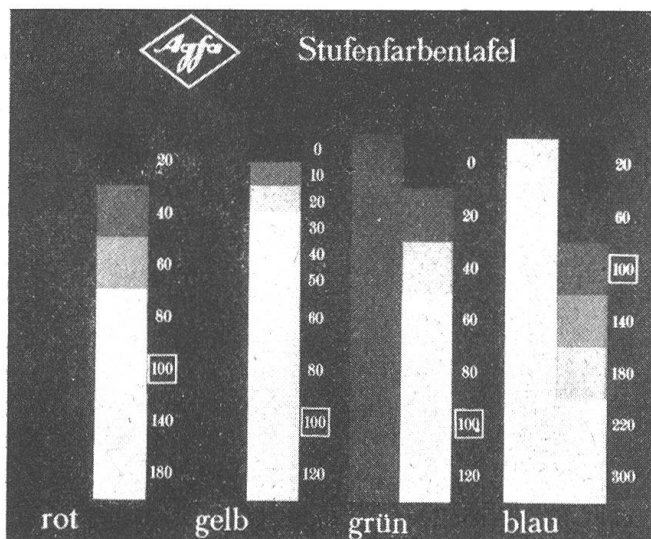


Abb. 1. Kurven der spektralen Empfindlichkeitsverteilung des menschlichen Auges. Ausgezogene Kurve für das hell-adaptierte Auge (Farbsehen mit den Zäpfchen), gestrichelte Kurve für das dunkel-adaptierte Auge (farbenblindes Sehen mit den Stäbchen)

¹⁾ Siehe „Prisma“ Heft 8/V (1950/51), Seite 339



Wie bei einer gewöhnlichen chemischen Umsetzung zwei oder mehr miteinander reaktionsfähige Stoffe die Reaktionspartner darstellen, übernimmt bei einem photochemischen Prozeß das Licht die Rolle der einen Reaktionskomponente. Die wichtigste Voraussetzung dafür, daß das Licht mit einer lichtempfindlichen Substanz eine photochemische Reaktion eingehen kann, ist dessen Absorption durch das lichtempfindliche System. Ist das nicht der Fall, durchdringt also das Licht den Stoff ungehindert, wie z. B. Glas, oder dringt das Licht gar nicht in den Stoff ein, sondern wird an der Oberfläche reflektiert, so wird ihm keine Gelegenheit geboten, seine Energie an diesen abzugeben und die an sich lichtempfindliche Substanz zu einer photochemischen Umsetzung

Abb. 2. Wiedergabe einer Agfa-Stufenfarbentafel auf eine unsensibilisierte Schicht. Auf dem Negativ abgelesen: Blau: 260, Grün: 20, Gelb: 5, Rot: 0. Die vorherrschende Empfindlichkeit im Blau kommt durch die viel zu helle Wiedergabe des blauen Farbstreifens zum Ausdruck und wird durch die weit über dem Sollwert (100) liegende Testzahl 260 charakterisiert. Die andern Farben sind zu dunkel wiedergegeben, und ihre Testzahlen liegen dementsprechend unter dem Sollwert

zu veranlassen. Aus dem über die spektrale Empfindlichkeit unseres Auges Gesagten geht nun bereits hervor, daß im Idealfall die dem photographischen Prozeß zugrunde liegende photochemisch wirksame Substanz sämtliche Lichtstrahlung des sichtbaren Spektrums absorbieren müßte, und zwar, für eine farbtongrichtige Schwarzweißwiedergabe sämtlicher Farben, entsprechend der spektralen Augenempfindlichkeit. Eine solche Substanz müßte also grünes Licht sehr stark und das länger- und kürzerwellige in zunehmendem Maße weniger stark absorbieren, d. h. eine purpurne Farbe aufweisen (Sehpurpur!). Da nun aber die Natur keine für den photographischen Prozeß geeignete Substanz mit den geforderten Eigenschaften zur Verfügung stellt, ist man gezwungen, dem Material, das sich für die Photographie am geeignetsten erwiesen hat, durch besondere Maßnahmen die gewünschte spektrale Empfindlichkeit zu verleihen.

Die für photographische Zwecke verwendeten Silbersalze absorbieren nur den kurzwelligen Teil der sichtbaren Lichtstrahlung (d. h. nur das

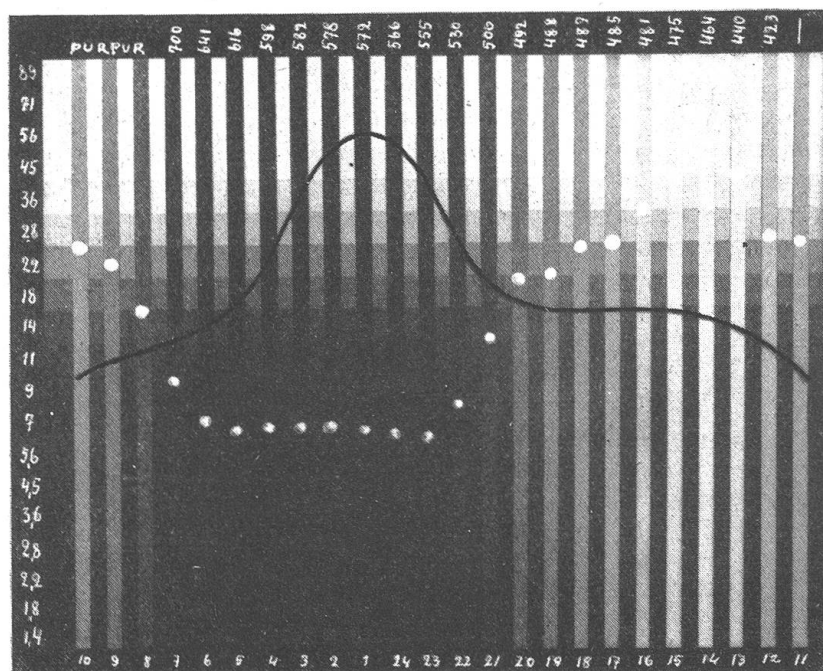


Abb. 3. Wiedergabe einer Lagoriotafel auf eine unsensibilisierte Schicht. Am oberen Rand, über den einzelnen Farbstreifen, die Angabe der Wellenlänge der farbtongleichen Spektralfarbe (rechts blau, links rot). Die vorherrschende Empfindlichkeit im Blau kommt durch den ausgeprägten Anstieg der punktierten Empfindlichkeitskurve bei den blauen Farben zum Ausdruck. Sie liegt hier beträchtlich über der ausgezogenen Augenempfindlichkeitskurve. Im Grün, wo das Auge seine höchste Empfindlichkeit erreicht, fällt die Empfindlichkeit der unsensibilisierten Schicht ab, um erst wieder bei den Blau enthaltenden Purpurfarben anzusteigen. Der un stetige Verlauf der punktierten Kurve rührt einerseits von einer gewissen Ungenauigkeit bei der Auswertung, andererseits vom nicht idealen Remissionspektrum der verwendeten Pigmentfarben her

Abb. 4. Photographische Wirkung einiger Sensibilisatoren (ausgezogene Kurven) und ihre ungefähren Absorptionsgebiete (gestrichelte Kurven). Abszisse: Wellenlänge in Å. Ordinate: Logarithmus der Belichtung (L.) Die ausgezogenen Kurven verbinden diejenigen Werte von log L, bei denen die Schwelle der jeweiligen Schicht erreicht wird. Die unsensibilisierte Platte (1), welche bei den folgenden Versuchen als Badeplatte diente, besitzt infolge ihres Jodsilbergehaltes eine weiter ins Grün hineinreichende Empfindlichkeit als eine Schicht aus reinem Bromsilber

(Aus: J. Eggert und W. Rahts, Handbuch der Physik, Band XIX, S. 545)

blaue Licht) und weisen dementsprechend eine gelbe Farbe auf. Seit der Entdeckung der Photographie im Jahre 1839 mußte man sich bis 1873 damit begnügen, die in einer Camera obscura auf eine lichtempfindliche Schicht entworfenen Bilder bunter Aufnahmegegenstände in einer solchen Graustufung zu erhalten, wie sie durch die spektrale Eigenempfindlichkeit der verwendeten Silbersalze gegeben war. Prüft man eine solche „farbenblinde“ Wiedergabe mit Hilfe eines geeigneten Testobjektes, wie sie heute in den Prüfungslaboratorien der photographischen Industrie verwendet werden, so ergibt sich das in Abb. 2 wiedergegebene Bild. Das bunte Original zu dieser Aufnahme stellt vier Streifen in den Farben Blau, Grün, Gelb und Rot dar, neben welchen je eine Grautreppe angeordnet ist. Durch eine große Zahl von Versuchspersonen wurde ermittelt lassen, welcher Grauwert den verwendeten Farben jeweils als farntonrichtig, d. h. als in seiner subjektiv empfundenen Helligkeit mit der Helligkeit der Farbe übereinstimmend, zugeordnet werden kann. Die so ermittelten — und gemittelten — Grauwerte wurden mit der Zahl 100 versehen und den übrigen Feldern eine entsprechende Bezeichnung zugeteilt. Eine farntonrichtige photographische Wiedergabe dieser vier Farbstreifen müßte also durch einen solchen Grauwert erfolgen, der jeweils mit dem danebenstehenden Feld mit der Zahl 100 übereinstimmt, d. h. die photographische Schicht „sieht“ die

Abb. 5. Wiedergabe einer Agfa-Stufenfarbentafel auf eine orthochromatisch sensibilisierte Schicht. Auf dem Negativ abgelesen: Blau: 210, Grün: 35, Gelb: 25, Rot: 30. Die an sich geringe absolute Empfindlichkeit im Rot kommt hier — verglichen mit der geringen Augenempfindlichkeit in diesem Spektralbereich! — bereits in die gleiche Größenordnung wie für Grün und Gelb

1. Unsensibilisiert

2. Erythrosin

3. Pinaflavol (Holochrome)

4. Orthochrom
Pinaverdol
Pinachrom

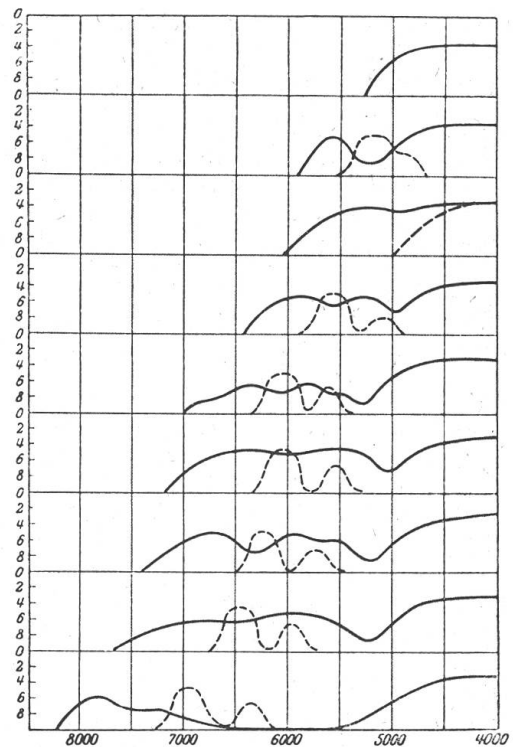
5. Pinachromviolett

6. Pinacyanol
Pinachromblau

7. Pinacyanolblau

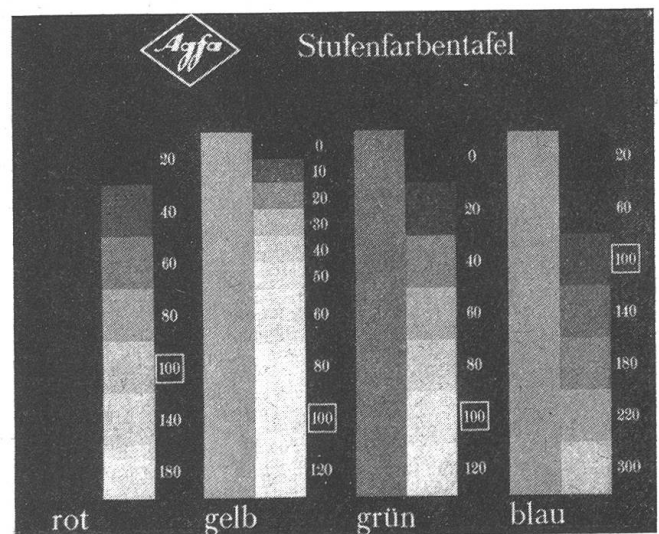
8. Dicyanin
Dicyanin A

9. Rubrocyenin



betreffende Farbe gleich hell wie unser Auge. Die mit einer farbenblinden Platte hergestellte Aufnahme des Testobjektes (Abb. 2) zeigt nun, daß das Blau zu hell und die übrigen Farben viel zu dunkel wiedergegeben werden.

Die mit einem anderen Testobjekt, der L a g o r i o t a f e l, durchgeführte Prüfung derselben Plattensorte zeigt Abb. 3. Hier muß man sich das bunte Original folgenderweise vorstellen: Auf eine breite Grautreppe mit zunehmender Schwärzung in der Richtung von oben nach unten sind quer zu den Graustufen schmale farbige Streifen aufgeklebt, die zwischen sich in ihrer eigenen Breite die Graustufen



freilassen. Die Farben sind in der Reihenfolge, wie sie im Spektrum vorkommen, angeordnet und mit der Wellenlänge der farbtongleichen Spektralfarbe bezeichnet. Auch hier werden die der benachbarten Farbe helligkeitsmäßig zuzuordnenden Grauwerte bezeichnet und anschließend durch eine (ausgezogene) Kurve miteinander verbunden. Diese stellt wiederum eine Augenempfindlichkeitskurve dar. Photographiert man nun diese Testtafel, so werden die bunten Streifen wiederum durch Grauwerte wiedergegeben, die je nach der Farbenempfindlichkeit des Aufnahmемaterials für die verschiedenen Farben heller oder dunkler ausfallen. Unter Zuhilfenahme einer kleinen Maske lassen

sich jetzt wiederum die neben den Graustreifen liegenden Graustufen bestimmen, die durch die gleiche Schwärzung wiedergegeben sind. Markiert man diese Stufenfelder durch einen Punkt, wie das in Abb. 3 geschehen ist, so kommt deutlich die mangelnde Übereinstimmung mit der „Augenkurve“ zum Ausdruck: Die blauen Farben sind wiederum zu hell, die übrigen zu dunkel wiedergegeben.

Mit solchen unvollkommenen Schichten mußten sich die Photographen bis zum Jahre 1873 begnügen, als Hermann Wilhelm Vogel, der photographische Platten für seine astronomischen Forschungsarbeiten verwendete, durch Zufall einen „optischen Sensibilisator“

entdeckte. Bereits damals wurde zur Vermeidung von Lichthöfen die Plattenrückseite mit Farbstoffen angefärbt, unter welchen auch das Korallin (p-Dioxydiphenylchinomethan) Anwendung fand. Vogel stieß nun das Mißgeschick zu, daß beim Hantieren mit diesem Lichthofschutz-Farbstoff ganz entgegen seiner Absicht auch die Bromsilberschicht damit in Berührung kam. Diese Tatsache blieb ihm jedoch vorerst verborgen, und er verarbeitete die Platte wie vorgenommen, indem er auf sie das spektral zerlegte Licht eines Himmelskörpers aufnahm. Zu seinem Erstaunen mußte er feststellen, daß seine Platte plötzlich für das grüne Licht empfindlich geworden war, eine Eigenschaft, die bisher nie beobachtet worden war. Gewissenhaft suchte er nun nach den Ursachen dieser so erfreulichen Erscheinung und fand sie nach wiederholten Versuchen schließlich in seinem Korallin,

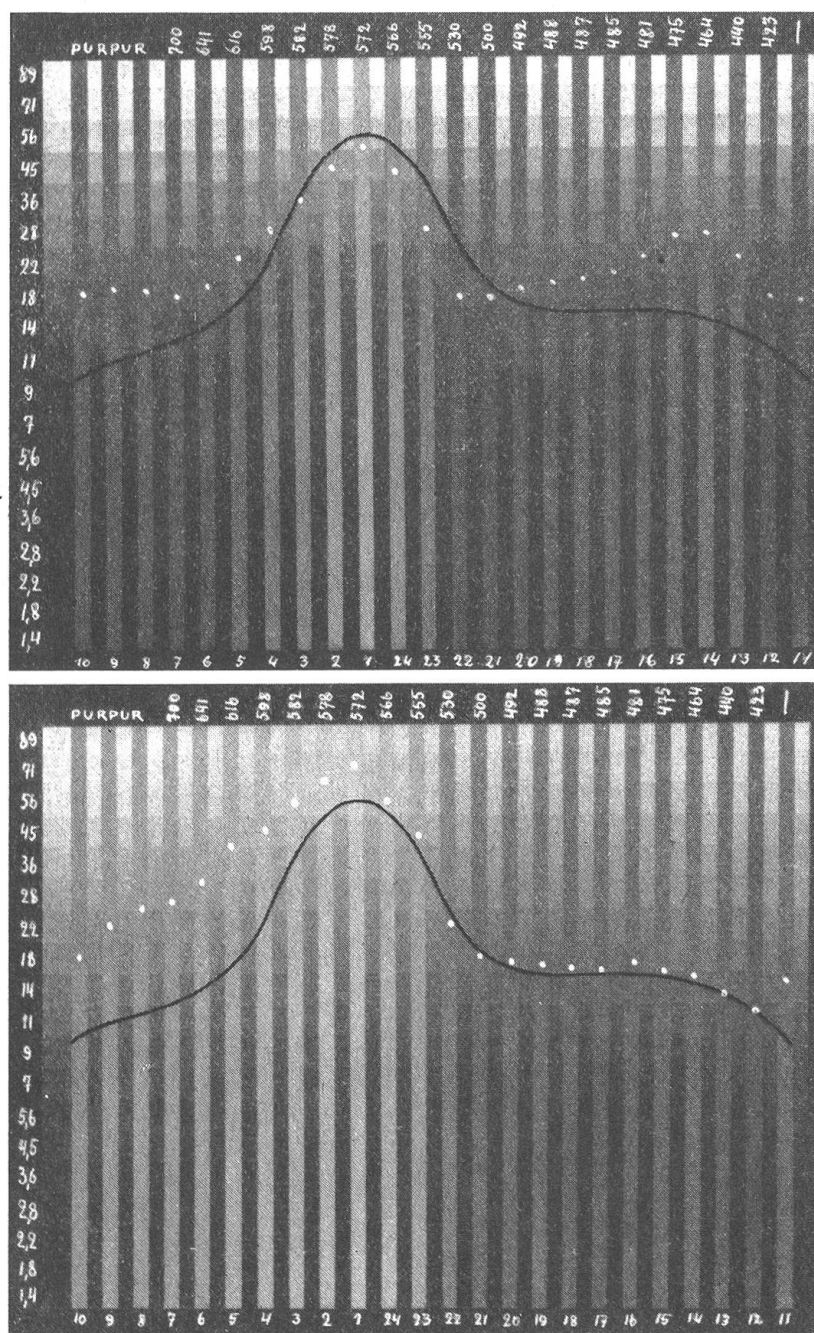


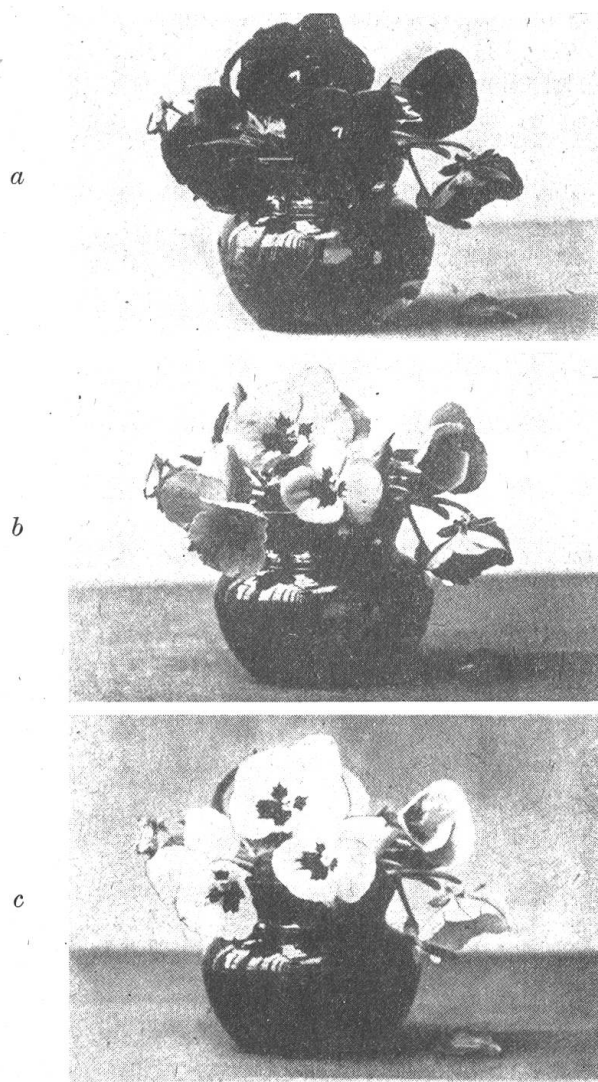
Abb. 6. Oben: Wiedergabe einer Lagortafel auf eine panchromatisch sensibilisierte Schicht, ohne Verwendung eines Filters bei der Aufnahme. Die im Verhältnis zur Augenempfindlichkeit immer noch zu hohe Empfindlichkeit im Blau ist auf die Eigenempfindlichkeit des Bromsilbers zurückzuführen. — Unten: Sensibilisierungstest derselben Schicht wie oben, aber unter Verwendung eines Gelbfilters bei der Aufnahme. Die Blauempfindlichkeit ist zweckmäßig gedämpft, es tritt jedoch gleichzeitig eine Übersteigerung der Empfindlichkeit im Rot auf

Abb. 7. Praktisches Beispiel für die Wiedergabe der Farben Blau (Vase) und Gelb (Blüten) auf eine unsensibilisierte Schicht (a), eine orthochromatisch sensibilisierte Schicht (b) und auf eine orthochromatische Schicht unter Verwendung eines Gelbfilters (c). Verglichen mit dem Objekt, kann nur Bild c als farbtonecht bezeichnet werden

das versehentlich mit der lichtempfindlichen Schicht in Berührung gekommen war. Er erkannte bereits die grundlegende Bedeutung seiner Entdeckung und veröffentlichte sie in gut ausgearbeiteter Form.

Nach der Entdeckung Vogels, die den Weg zur farbenempfindlichen photographischen Platte wies, begann ein Suchen nach weiteren geeigneten Farbstoffen, denn man wollte die Empfindlichkeit wenn möglich auch auf das Rot ausdehnen, da letzten Endes jede auf der photographischen Aufnahme basierende farbige Wiedergabe bunter Gegenstände zwangsläufig eine Empfindlichkeit über den gesamten sichtbaren Spektralbereich fordert. Bald kannte man eine ganze Reihe von Sensibilisatoren, unter denen die Zyaninfarbstoffe (zuerst hergestellt durch E. König von den Höchster Farbwerken) die besten Resultate zeitigten und die sowohl in ihrer klassischen Form als auch in Form von weiterentwickelten Derivaten heute noch Verwendung finden.

Bei den Sensibilisatoren handelt es sich um Farbstoffe, die die spezifische Eigenschaft haben, an der Oberfläche der Silberhalogenide besonders fest zu haften, d. h. mit andern Worten, sie werden vom Silbersalz kräftig adsorbiert. Die wichtige Bedeutung dieser Eigenschaft wird verständlich, sobald man bedenkt, daß jetzt der Farbstoff die dem Silbersalz mangelnde Lichtabsorption im längerwelligen Spektralbereich zu übernehmen hat und die von ihm absorbierte Lichtenergie auf irgendeine Weise an das unter ihm sitzende Silberbromidkorn weitergeben muß, damit in diesem das latente photographische Bild aufgebaut werden kann. Die Sensibilisatoren sind in außerordentlich kleiner Konzentration wirksam; so entfallen z. B. auf eine 9×12 -cm-Platte, die zirka $\frac{1}{10}$ g Bromsilber enthält, bloß $\frac{1}{100000}$ g Sensibilisierungsfarbstoff. Aus dem bereits Gesagten läßt sich erwarten, daß je nach der Eigenabsorption des Sensibilisators eine verschiedene spektrale Empfindlichkeit des damit behandelten photographischen Materials erhalten werden kann. In der Tat läßt sich diese Parallele experimentell bestätigen, wie z. B.



die Absorptions- und Empfindlichkeitskurven in Abb. 4 zeigen. Die gegenseitige Verschiebung der beiden Kurvenzüge ist auf eine Sekundärererscheinung zurückzuführen und widerspricht dem oben erwähnten Zusammenhang nicht.

Mit Hilfe der Sensibilisatoren lassen sich nun photographische Schichten der verschiedensten spektralen Empfindlichkeiten herstellen. Mit Orthochrom z. B. läßt sich eine sogenannte „orthochromatische“ Platte herstellen, deren Empfindlichkeit bis zum Grün und Gelb reicht. Der Test mit der Agfa-Stufenfarbtafel ergibt das in Abb. 5 wiedergegebene Bild. Man erkennt, daß die Augenempfindlichkeit bei weitem noch nicht erreicht ist, vor allem überwiegt noch stark die Eigenempfindlichkeit des Silberbromids im Blau. Diese kann in der Praxis durch Verwendung eines Gelbfilters weitgehend gedämpft werden.

Andere Farbstoffe, wie z. B. Pinacyanolblau, führen zu „panchromatischen“

Schichten, deren Empfindlichkeit bis ins Rot reicht. Der Test mit der Lagoriotafel (Abb. 6) zeigt die Angleichung der Empfindlichkeitskurven an die Augenkurve im langwelligen Spektralbereich (vgl. hiermit Abb. 3 für die unsensibilisierte Schicht). Die immer noch überwiegende Blauempfindlichkeit kann auch hier durch die Verwendung eines Gelbfilters gedämpft werden, allerdings oft auf Kosten einer Überkorrektur im Rot, wie Abb. 6 unten zeigt.

Ein kleines praktisches Beispiel, das sich der Einfachheit halber auf bloß zwei Farben, nämlich Blau und Gelb, beschränkt, zeigt Abb. 7. Die hellgelben Stiefmütterchen in dunkelblauer Vase werden mit einer unsensibilisierten Platte durch vollständig falsche Grauwerte wiedergegeben (a). Eine für Gelb empfindliche orthochromatische Platte gibt die Blüten bereits heller wieder als die Vase (b), und mit Hilfe eines Gelbfilters gelingt die vollständige Angleichung an die subjektiv empfundene Helligkeitsverteilung im Objekt.

Wie auch auf andern Gebieten der Wissenschaft und Technik begnügte man sich auch hier nicht damit, das zu erfassen, was wir mit unserem Sinnesorgan, dem Auge, erfassen können. Es gelang, die Empfindlichkeit der photographischen Platte auf Gebiete außerhalb des sichtbaren Spektrums auszudehnen: Von den Infrarotplatten macht der Biologe bei seinen mikroskopischen Studien und der Astronome bei der Erforschung der Gestirne Gebrauch. Beiden ist so ein Hilfsmittel in die Hand gegeben, das ihnen erlaubt, in Gebiete vorzustoßen, die dem menschlichen Auge verschlossen bleiben. Auch für andere Spezialzwecke, wie z. B. Spektrophotometrie oder Farbenphotographie, liefert die photographische Industrie speziell sensibilisiertes Material. Bereits diese wenigen Beispiele lassen erkennen, welches Verdienst an der großen Bedeutung der Photographie auf den verschiedensten Anwendungsgebieten der Entwicklung der optischen Sensibilisation zukommt.

Eine Elektronen-Nähmaschine

DK 679.56 : 687.053.8

Geringes Gewicht, große Festigkeit und Wasserundurchlässigkeit machen gewisse Kunstharzerzeugnisse zum idealen Werkstoff für viele Konfektionsartikel. Zu ihrer Herstellung wurden anfangs gewöhnliche Nähmaschinen verwendet, doch zeigte sich sehr bald, daß die so erzeugten Nähte nicht dicht waren und daß überdies das Material stark beschädigt wurde.

Man ging deshalb dazu über, die warmverformbaren (thermoplastischen) Kunstharzfolien mittels hochfrequenter elektrischer Ströme zusammenzufügen. So werden beispielsweise Plastikartikel mit einfachen Nahtformen (Taschen usw.) zwischen entsprechend geformten Elektroden den Wirkungen des Hochfrequenzstroms ausgesetzt und auf diese Weise zusammengefügt.

Da sich dieses Verfahren jedoch nur für kleinere und mittlere Erzeugnisse eignet, werden für größere Arbeiten sogenannte „Hochfrequenznämaschinen“ verwendet. Ein neues Modell dieser Apparate, die äußerlich zwar Nähmaschinen ähneln, aber nicht nähen, sondern schweißen, wurde jetzt in Frankreich gebaut. Die zwischen den austausch- und verstellbaren Elektroden dieser Maschinen (Modell Thi-

monnier) geführten Kunststoffblätter werden aufgeheizt und unter dem Elektrodendruck verschweißt. Voraussetzung ist, daß das verwendete Kunstharz die entsprechenden Eigenschaften aufweist. Wie bei der Arbeit an einer gewöhnlichen Nähmaschine, muß die Arbeiterin auch in diesem Fall die Geschwindigkeit des Stoffvorschubes jederzeit beliebig beeinflussen können, um die Schwierigkeiten, die beim Zusammenfügen kompliziert geformter Teile kaum zu vermeiden sind, meistern zu können. Die Herstellung einer guten Schweißnaht verlangt also, daß die vom Generator gelieferte Stromenergie der Vorschubgeschwindigkeit immer genau proportional ist. Um diese äußerst schwierige Bedingung zu erfüllen, betätigt der Antriebsmotor der Maschine einen Umlaufkontakt, der den Strom jeweils für eine kleine Zeitspanne, in welcher die Teile, die zusammengefügt werden sollen, ein Stück vorrücken, schließt. Die Zeit, welche die einzelnen Stromimpulse voneinander trennt, ist der Maschinengeschwindigkeit verkehrt proportional, wodurch erreicht wird, daß die zugeführte durchschnittliche Generatorleistung genau der Geschwindigkeit der Maschine entspricht.