

6 Filmtechnik

Autor: Walter Neumann

6.1 Geschichtliche Fakten

Bereits um 1350 wurde von Petrus von Alexandria das Prinzip einer Lochkamera (Camera obscura) beschrieben. Dieses Gerät diente in der Landschafts- und Porträtmalerei als Zeichenhilfe. Seine Anwendung für die Fotografie schlug einige Jahrhunderte später, im Jahre 1802, Thomas Wedgwood vor, nachdem eine Reihe von lichtempfindlichen Stoffen gefunden worden waren.

Johann Heinrich Schulze entdeckte 1727 die Lichtempfindlichkeit des Silberkarbonats, Giacomo Battista Beccaria 1757 die des Silberchlorids. Beiden gelang jedoch nur die Herstellung kontrastreicher Silhouettenbilder. Die ersten Schwarzweißbilder mit mehreren unterscheidbaren Grautönen machte 1826 der Franzose Nicéphore Niepce auf einer lichtempfindlichen Asphaltsschicht. Dieses Verfahren, Heliographie genannt, verbesserte Niepce zusammen mit Louis J. M. Daguerre. Daguerre ließ es 1839 durch den Physiker Francois Arago an der Pariser Akademie der Wissenschaften als Daguerreotypie vorstellen und gilt seither als Erfinder der Fotografie.

Der fotografische Negativ-Positiv-Prozess, der positive Bilder liefert, wurde 1841 von Fox Talbot entwickelt. Bei der Talbotypie wurde der Papierschichtträger des Negativs mit Wachs durchsichtig gemacht und dann auf das Positiv kopiert. Naturgemäß beeinflusste die Papierstruktur des Negativs die Qualität des Positivbildes. Deshalb ging man ab 1850 auf Glas als Negativschichtträger über, welches 1887 von der wesentlich leichteren und unzerbrechlichen Zelluloidfolie abgelöst wurde. Mit der Einführung der Zelluloidunterlage eröffnete Hannibal Goodwin auch das Zeitalter des Films.

Die ersten Fotoschichten waren nur für kurzweiliges (energiereiches!) Licht empfindlich. 1873 entdeckte H. W. Vogel die Farbsensibilisierung, mit deren Hilfe es zunächst gelang, die Lichtempfindlichkeit bis ca. 600 nm (orthochromatische Schicht) und 1904 auf den gesamten sichtbaren Bereich (panchromatische Schicht) auszudehnen.

Damit waren auch die Voraussetzungen für die Farbfotografie geschaffen. Farbbilder in größerem Umfang wurden ab 1914 zunächst im Rasterverfahren hergestellt. Versuche dazu machte Joly schon 1894 mit Dreifarbenrasterbildern, bei denen die additive Farbmischung genutzt wurde.

Farbbilder nach der subtraktiven Farbmischung, wie sie heute üblich ist, gibt es seit 1935. Die Firma Kodak stellte in diesem Jahr den ersten Mehrschichten-Umkehr-Farbfilm vor, die Firma Agfa folgte mit einem ähnlichen Film im Jahre 1937. Die Vorarbeiten zu diesen Mehrschichtenfilmen und der farbgebenden (chromogenen) Entwicklung leistete 1909 der Chemiker Rudolf Fischer.

6.2 Speichermedium Film

Die sichtbaren elektromagnetischen Wellen sind nicht direkt speicherbar. Um Licht- bzw. Bildeindrücke festzuhalten, sind Umwandlungsvorgänge in andere, stabile Zustandsformen nötig. So wurde und wird immer noch die Leuchtdichte- und Farbverteilung mit Hilfe von Malfarben zu Papier gebracht. Eine Flut von Bildern, die sich bis in die Urgeschichte der Menschheit zurückdatieren lassen, sind Zeugnisse dieses sehr zeitintensiven Prozesses, der zudem auch künstlerisches Talent voraussetzt.

Die Entdeckung lichtempfindlicher Verbindungen und zahllose Experimente führten schließlich zur Fotografie – von „mit Licht schreiben“ abgeleitet –, die heute von jedermann ganz selbstverständlich angewendet wird, um Einzelbilder oder im Falle der Filmtechnik Bewegtbilder aufzunehmen. Die Fotografie nutzt die Tatsache, dass sich bestimmte Silberverbindungen unter Lichteinwirkung reproduzierbar verändern, sich Bilder somit speichern lassen. Der Speichervorgang erfolgt in zwei getrennten Schritten:

- während der Aufnahme in der Kamera, d. h. bei der Belichtung auf molekularer Ebene innerhalb der Silberverbindung, und
- bei der anschließenden Entwicklung, einer chemischen Reaktion, welche die Lichtwirkung intensiviert und damit erst sichtbar macht.

6.2.1 Lichtempfindliche Silbersalze

Verwendung in der Fotografie finden Silberhalogenide, eine wichtige Silberverbindung davon ist – wegen seiner hohen Lichtempfindlichkeit – das Silberbromid (AgBr). Silberchlorid (AgCl) und Silberjodid (AgJ) werden in geringerem Umfang auch eingesetzt.

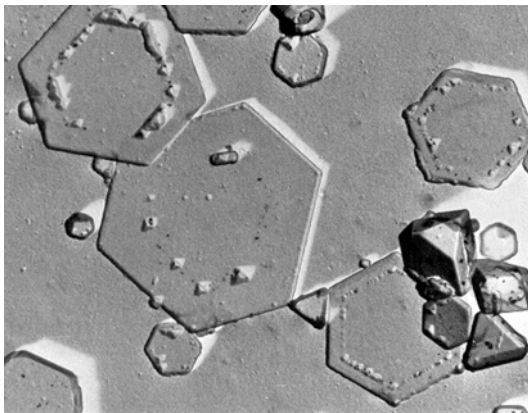


Bild 6.1: Elektronenmikroskopische Aufnahmen von AgBr -Kristallen (nach Kodak-unterlagen)

Bringt man in einer flüssigen kolloidalen Masse, meist in Gelatine, Silber und Brom zusammen, dann verändern sich beide neutralen Atome – es bilden sich positive Silber- und negative Bromionen (Ag^+ und Br^-), daraus schließlich AgBr -Moleküle, die beim Abkühlen in der erstarrenden Gelatine als fein verteilte lichtempfindliche Kristalle gebunden werden. Durch gezielte Verunreinigungen, z. B. Schwefelatome aus der Gelatine, die sich am Kristall anlagern, entstehen Entwicklungskeime, welche die Lichtempfindlichkeit der Fotoschicht entscheidend steigern.

Die entstandenen Silberbromid- (Ag^+Br^-) Kristalle sind nicht lichtbeständig. Unter Lichteinwirkung löst sich das überschüssige Elektron vom negativen Bromion ab und kann ein positives Silberion wieder neutralisieren. Im Kristall bildet sich neutrales, metallisches Silber, das Kristallgefüge wird an der entsprechenden Stelle gestört, es wird instabil und könnte bei zu langer/zu intensiver Belichtung vollkommen in seine Elemente Brom und undurchsichtiges Silber zerlegt werden – das Bild würde schwarz aussehen.

Es reicht aus, wenn im AgBr -Kristall etwa 10 Einzelmoleküle zerfallen sind und einen Entwicklungskeim bilden. In der nachfolgenden chemischen Behandlung, der Entwicklung, zerfällt von diesem Keim ausgehend der gesamte Kristall zu Silber und Brom.

Die Entwicklung verstärkt somit die Wirkung der Belichtung beträchtlich: Bei einer Zahl von einer Milliarde AgBr -Molekülen im Kristall beträgt der Verstärkungsfaktor 10^8 . An Stellen hoher Beleuchtungsstärke (helle Bildteile) bildet sich mehr Silber als an Stellen geringer Beleuchtungsstärke (dunkle Bildteile). Helle Bildpartien erscheinen also schwärzer als dunklere Bildpartien; es entsteht ein negativer Bildeindruck der aufgenommenen Bildvorlage.

Spektrale Empfindlichkeit

Unbehandeltes Silberbromid ist nur empfindlich für den (energiereicheren) Blauanteil des Lichtes, für elektromagnetische Schwingungen bis etwa 500 nm. Für SW-Kopierfilme reichen unbehandelte Emulsionen aus, sie sind deshalb nur für blaues Licht empfindlich und können im roten (bzw. gelben) Dunkelkammerlicht schadlos verarbeitet werden. (Farbkopierfilme haben meist eine Empfindlichkeitslücke im Bereich um Gelbgrün, diese Lichtfarbe ist daher in geringer Stärke im Dunkelraum erlaubt.)

Nach der Behandlung mit bestimmten organischen Verbindungen, der optischen Sensibilisierung, erweitert sich dieser Ansprechbereich zum langwelligen Lichtbereich.

Man spricht von orthochromatischen Emulsionen, wenn sie den kurz- bis mittelwelligen Bereich abdecken. Panchromatische Emulsionen sind für alle sichtbaren Wellenlängen empfindlich. Im Gegensatz zum SW-Kopiermaterial müssen diese Aufnahmeemulsionen bis zur Entwicklung absolut im Dunklen bleiben (Dunkelkammerlicht ausschalten bzw. fernhalten).

Blau			unsensibilisiert,
Blau	Grün		orthochromatisch sensibilisiert,
Blau	Grün	Rot	panchromatisch sensibilisiert;
400	500	600	700 nm.

Für Spezialanwendungen stehen inzwischen auch Filme mit Emulsionen zur Verfügung, die durch optische Sensibilisierung auch auf Ultraviolett- und Infrarotstrahlung ansprechen.

Einen bedeutenden Einfluss auf die Allgemeinempfindlichkeit hat neben der Größe auch die Menge der in der Gelatinemasse eingelagerten Silberbromidkristalle. Nach der Belichtung zerfallen die Silberbromidkristalle (unabhängig von ihrer Größe) bei der Entwicklung zu Silber, wenn sie genügend Entwicklungskeime – ca. 10 reichen bereits aus – enthalten. Große Kristalle liefern dabei mehr Silber als kleine Kristalle, verstärken also die Lichtwirkung kräftiger.

Außerdem fangen große Kristalle mehr Licht auf, und es bilden sich die mindestens notwendigen Entwicklungskeime bereits bei geringer Beleuchtungsstärke aus; auf kleinere Kristalle aufgeteilt, erzeugt dieselbe Lichtmenge in keinem der Kristalle genügend Entwicklungskeime. Große Kristalle verwerten das Aufnahmelicht demnach besser und erscheinen deshalb empfindlicher.

Die Kristallgröße kann bei der Emulsionierung durch physikalische und chemische Reifungsprozesse beeinflusst werden. Je nach Anwendung und Forderung (z. B. Aufnahme- bzw. Kopierfilm) lassen sich Emulsionen unterschiedlicher Empfindlichkeit herstellen.

6.2.2 Filmherstellung

Die Filmherstellung kann in vier Abschnitte aufgeteilt werden:

- Emulsionierung: Erzeugung des lichtempfindlichen Silberbromids in einer Gelatinemasse mit der geforderten Empfindlichkeit.
- Herstellung des Schichtträgers: Erzeugung der durchsichtigen, mechanisch ausreichend beanspruchbaren Trägerfolie aus schwer entflammbarer Acetylcellulose, – Sicherheitsfilm bzw. Safety Film genannt. Früher verwendete man den leicht entflammbaren „Nitrofilm“ auf Nitrocellulosebasis. Für Spezialanwendungen verwendet man auch Polyethylen-Teraphthalat-Folien als Trägermaterial, so genannte PET-Filme.
- Beschichtung: Auftragen der lichtempfindlichen Emulsion in Schichten von wenigen μm Dicke sowie von Zusatzschichten auf den Schichtträger.
- Konfektionierung: Zerschneiden in schmale Filmbahnen und Einstanzen der Perforationslöcher entsprechend dem gewünschten Filmformat. Einbelichten von Randsymbolen zwischen die Perforationen wie Fußnummern, Keycode™ u. Ä.

6.2.2.1 Schichtfolge

Zunächst wird der transparente Schichtträger, die Filmunterlage, mit einer Haftschrift, der Substratschicht, von 1 bis 2 μm Dicke versehen; erst danach kann die Fotoemulsion aufgebracht werden. Zu Beginn der Fotografie geschah dies in einem Gießprozess. Heutzutage wendet man Techniken an, bei denen die Emulsion quasi als feiner Nebel vorliegt, die auf der Filmunterlage abtaut. Um die gewünschten sensitometrischen Eigenschaften des Films besser steuern zu können, werden zwei bis drei unterschiedlich empfindliche Schichten nass in nass aufgebracht, die eine Gesamtdicke von ca. 7 bis 10 μm einnehmen. Die abschließende Schutzschicht schützt die weiche Emulsion vor mechanischen und chemischen Einflüssen, zudem hat sie antistatische Eigenschaften.

Aufnahmefilme, auch Rohfilme genannt, haben i. Allg. eine grau eingefärbte, lichtabsorbierende Lichthofschutzschicht, oft spezielle Rußverbindungen, welche die Gleiteigenschaften des Filmmaterials erhöhen und gleichzeitig verhindern, dass Licht in die lichtempfindliche Schicht zurückgespiegelt wird. Dadurch lassen sich Reflexionslichthöfe vermeiden und die Kontrastwiedergabe steigern.

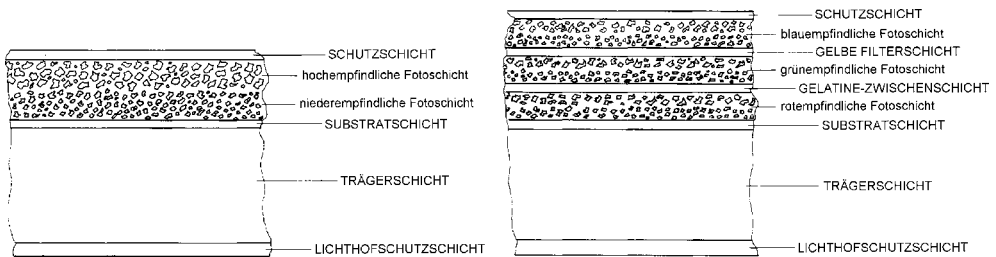


Bild 6.2: Schichtfolge im Schwarzweiß- bzw. Farbfilm

6.2.2.2 Spektrale Empfindlichkeit der Fotoschichten

Die Fotoschicht im Schwarzweißfilm ist panchromatisch sensibilisiert, d. h. im gesamten sichtbaren Wellenlängenbereich wirksam. Für heutige Farbfilme sind grundsätzlich drei übereinander liegende Fotoschichten nötig. Die filmische Farbbildwiedergabe erfolgt wie in der Drucktechnik nach der subtraktiven Farbmischung. Dabei werden dem weißen Projektionslicht nicht benötigte Wellenanteile entnommen. Die Grundfarbe Gelb absorbiert kurzwelliges Blau; die Grundfarbe Purpur (im amerikanischen Sprachgebrauch Magenta) die mittleren Wellenlängen, d. h. die Grüntöne, und Blaugrün bzw. Cyan schließlich den langwelligen Rotbereich.

Jede der ebenfalls 5 bis 10 μm dicken Teilfotoschichten beinhalten lichtempfindliche Kristalle. Die oberste, blauempfindliche Schicht spricht besonders auf Wellenlängen bis zu 500 nm an, gestattet also die Speicherung des Blauanteils oder des Blauauszugs der aufgenommenen Szene. Die AgBr-Kristalle der zweiten und dritten Fotoschicht werden zusätzlich chemisch behandelt. Die mittlere grünempfindliche Schicht wird bis