

## **Kleiner Fotokurs**

Rüdiger Kuhnke

Als 1995 dieser Fotokurs für Laboranten entstand, gab es für den Amateur- und den semiprofessionellen Bereich noch keine Digitalkameras. Obgleich diese mittlerweile Standard sind, gelten die hier dargestellten Gesetze der Optik nach wie vor, und auch das Wissen um Begriffe wie Blende, Belichtungszeit, Schärfentiefe etc. ist keineswegs veraltet.

Wenn dieses Skriptum auch stellenweise aktualisiert wurde, ist die digitale Fotografie hier nicht Gegenstand der Betrachtung.

Rüdiger Kuhnke, August 2007

1 Die Kamera.....	4
Sammellinsen und Abbildungen.....	4
Abbildungsfehler .....	5
Die Spiegelreflexkamera .....	6
Die Brennweite.....	7
Die Lichtstärke .....	8
Blende und Schärfentiefe.....	8
Der Lichtwert.....	10
2 Der Schwarzweißfilm .....	10
Filmmaterialien.....	10
Aufbau des Films und des Fotopapiers.....	11
Filmempfindlichkeit .....	12
Filter und Verlängerungsfaktoren.....	13
Teil 3: Belichtung, Entwicklung und Fixierung (Theorie).....	13
Teil 4: Belichtung, Entwicklung und Fixierung (Praxis) .....	15
Die Ausrüstung des Fotolabors.....	15
Negativ-Entwicklung .....	16
Vergrößerungen (Abzüge, Positive).....	16
Verzeichnis der Abbildungen .....	18
Literatur .....	18
Acknowledgements .....	18

# 1 Die Kamera

## Sammellinsen und Abbildungen

Grundlegend für das Verständnis der Fotografie ist die Kenntnis einiger Gesetze der geometrischen Optik, insbesondere die Brechung des Lichts beim Durchgang durch Linsen.

Die parallel zu *optischen Achse* in eine *Sammellinse (Konvexlinse)* einfallenden Lichtstrahlen, die *Parallelstrahlen*, schneiden sich hinter der Linse in *einem Punkt*, dem *Brennpunkt F*. Den Abstand zwischen der Linse und dem Brennpunkt nennt man die *Brennweite f* der Linse (Abbildung 1).

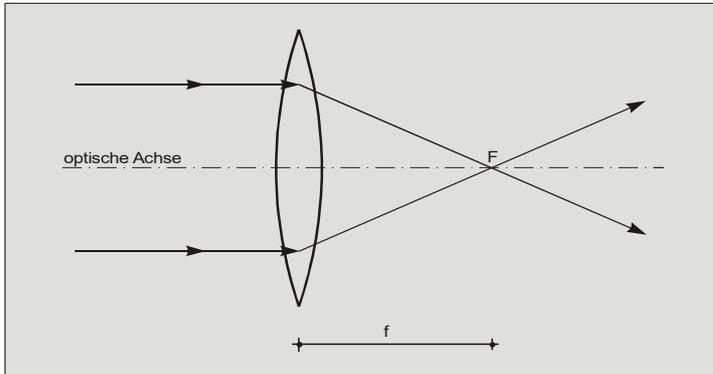


Abb. 1: Brennpunkt und Brennweite

Die Größe der Brennweite hängt von der Stärke der Linsenkrümmung ab. Neben Parallelstrahlen sind *Brennpunktstrahlen* und *Mittelpunktstrahlen* von Bedeutung: durch den Brennpunkt einfallende Strahlen verlassen die Linse als Parallelstrahlen (Abbildung 2).

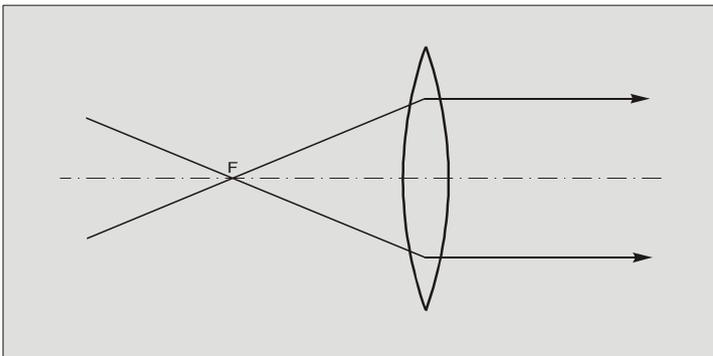


Abb. 2: Brennpunktstrahlen verlassen die Linse als Parallelstrahlen

Durch den Mittelpunkt der Linse einfallende Strahlen durchqueren die Linse ohne Richtungsänderung (Abbildung 3).

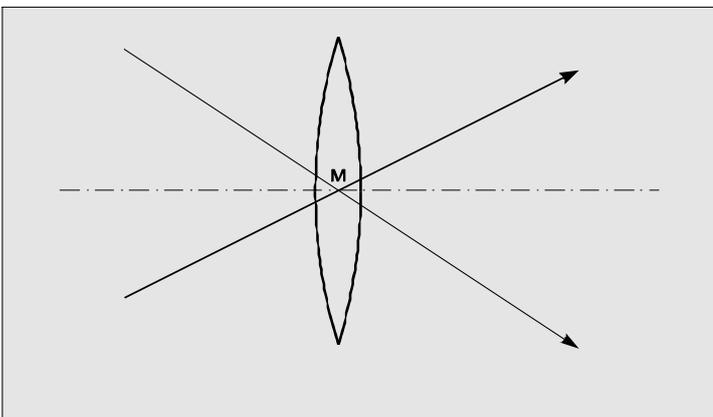


Abb. 3: Verlauf der Mittelpunktstrahlen

Diese Eigenschaften der Sammellinse ermöglichen die Abbildung eines Gegenstandes. In Abb. 4 stelle der Pfeil links den Gegenstand  $G$  dar. Von seiner Spitze aus zeichnen Sie einen Parallel- und einen Mittelpunktstrahl bis zur Mittelebene der Linse und führen sie entsprechend den beschriebenen Strahlverläufe weiter. In ihrem Schnittpunkt befindet sich die Spitze des Bildes  $B$ .

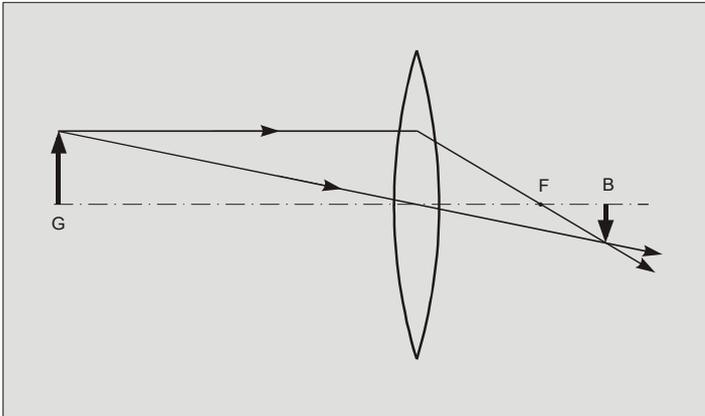


Abb. 4: Die Linse erzeugt ein Bild des Gegenstands

Wenn Sie die Linse in ein Gehäuse einbauen und am Ort des Bildes eine lichtempfindliche Schicht (einen Film) anbringen, haben Sie schon eine Kamera (Abbildung 5).

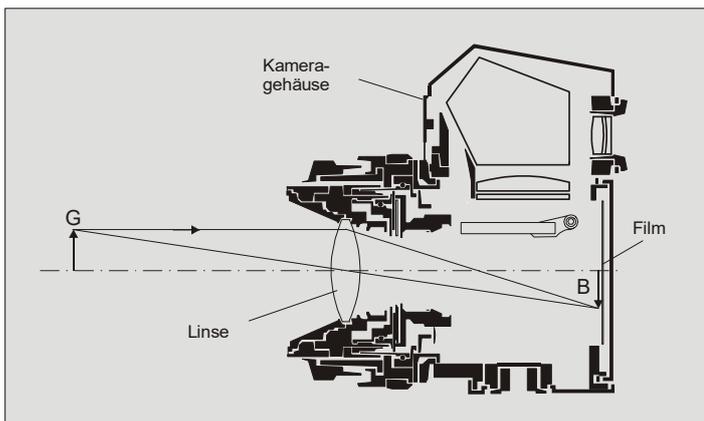


Abb. 5: Prinzip der Abbildung in einer Kamera

### Abbildungsfehler

Die Aussage, daß sich zwei Parallelstrahlen nach Durchqueren der Linse in einem Punkt schneiden, trifft in der Realität allerdings nur dann zu, wenn sie von der optischen Achse den gleichen Abstand haben. Am Rand der Linse einfallende Strahlen werden stärker gebrochen als nahe der optischen Achse einfallenden, das bedeutet, daß sie die optische Achse in einem anderen Punkt schneiden. Der daraus entstehende Abbildungsfehler heißt *sphärische Aberration* (Abbildung 6).

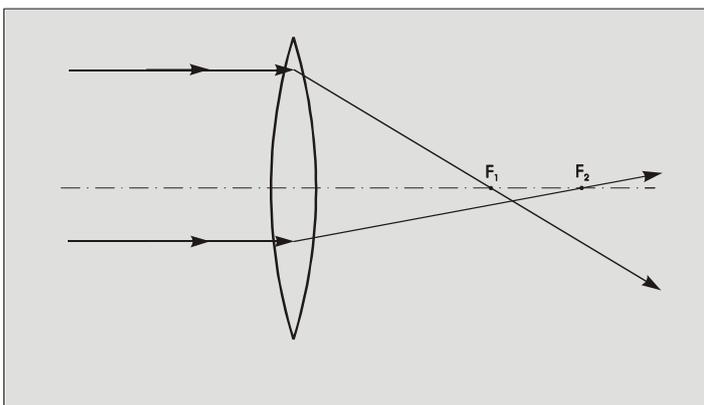


Abb. 6: Sphärische Aberration

Ein weiterer Abbildungsfehler beruht darauf, daß Licht verschiedener Farben beim Linsendurchgang unterschiedlich stark gebrochen wird: blaues Licht wird stärker gebrochen als rotes und erzeugt somit einen näher an der Linse gelegenen Brennpunkt. Der so entstehende Abbildungsfehler heißt *chromatische Aberration* (Abbildung 7).

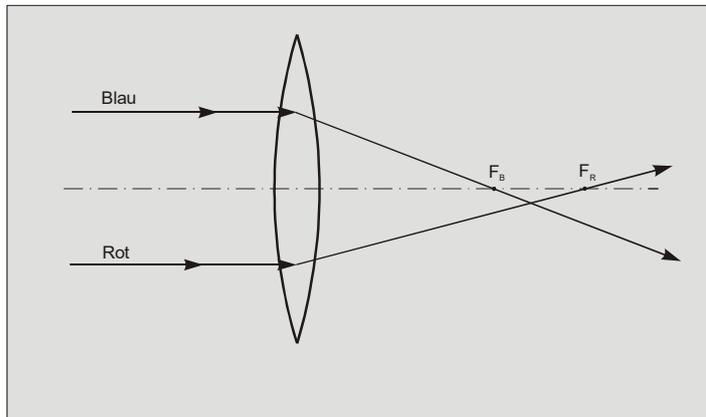


Abb. 7: Chromatische Aberration

Diese beiden (und weitere) Abbildungsfehler lassen sich durch die Kombination von Linsen verschiedener Form und aus verschiedenen Glasarten weitgehend ausgleichen. Das Linsensystem eines Fotoobjektivs kann z. B. wie in Abbildung 8 gezeigt aussehen.

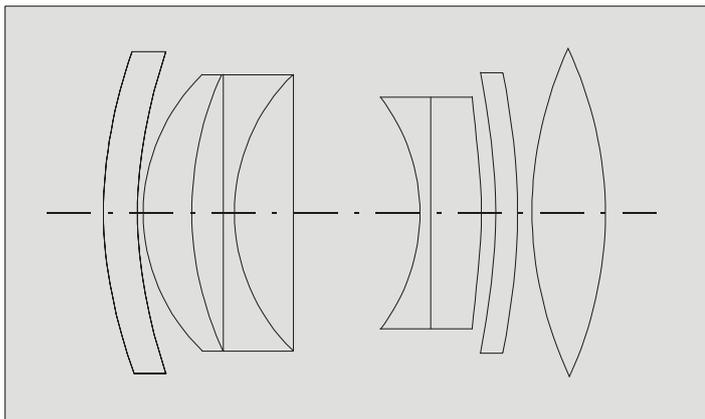


Abb. 8: Linsensystem eines Objektivs

### Die Spiegelreflexkamera

Abb. 9 zeigt den Schnitt durch eine *einäugige Spiegelreflexkamera*, eine *SLR (Single Lens Reflex)*. Links befindet sich der Spiegel in Sucherstellung: man sieht das Bild so, wie es auf den Film gelangt. Im Moment der Belichtung klappt der Spiegel hoch, der Weg zum Film wird freigegeben.

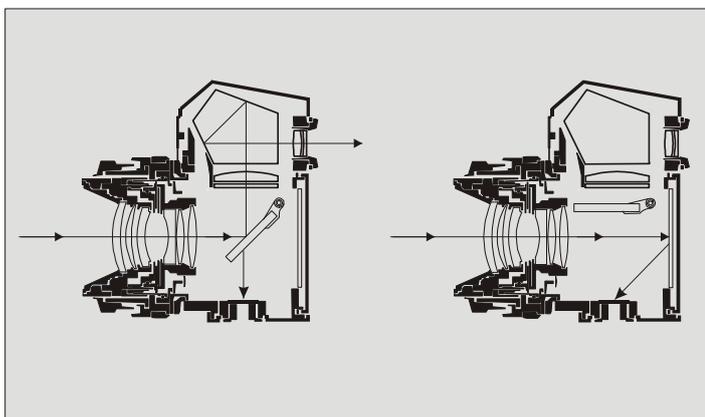


Abb. 9: Spiegelreflexkamera

Bei der heute gängigen Art der Belichtungsmessung wird in der Sucherstellung (Abb. 9 links) ein Teil des Lichts auf einen Sensor im Kameraboden gelenkt, dessen Anzeige in das Sucherbild eingeblendet wird. Dieses Verfahren heißt *TTL-Belichtungsmessung (Through The Lens)*. Auch die Steuerung eines Blitzgerätes (*TTL-Blitz*) ist auf diese Weise möglich, in diesem Fall wird bei offenem Lichtweg (Abb. 9 rechts) das auf den Film fallende Licht gemessen. Dies ermöglicht auch eine elektronische Korrektur während der Belichtung.

Bei den heute nicht mehr gebräuchlichen zweiäugigen Spiegelreflexkameras (*TLR, Twin Lens Reflex*) hat man zwei Objektive und zwei Spiegel: je einen für den Sucher und für den Film. Das bedeutet, daß das Sucherbild nicht von der Blende abgedunkelt wird und es ist auch im Moment der Belichtung sichtbar bleibt. Für den Sucher genügt ein zwar preiswerteres, aber lichtstärkeres Objektiv, so daß man stets ein helles Sucherbild hat. Da im Moment der Belichtung kein Spiegel gekippt werden muß, gibt es keine mechanische Erschütterung, die aufwendig gedämpft werden müßte. Ein Nachteil ist die (allerdings geringfügige) Abweichung zwischen dem Sucherbild und dem Bild, das auf den Film fällt, die sog. *Parallaxe*.

### Die Brennweite

Die Brennweite eines Objektivs (das im folgenden der Einfachheit halber als Sammellinse dargestellt wird) bestimmt die Größe des Bildes auf dem Film (Abbildung 10).

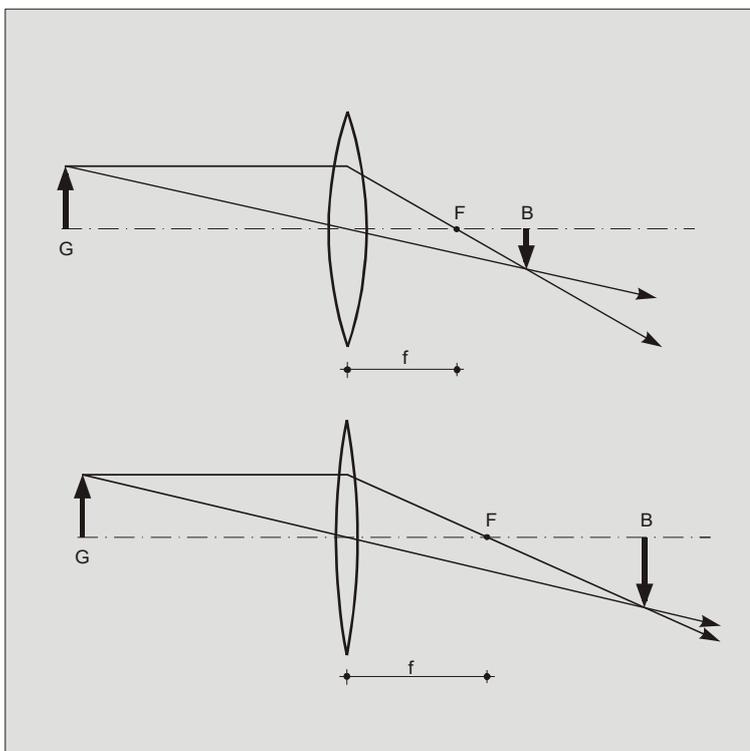


Abb. 10: Die Brennweite bestimmt die Größe des Bildes

Mit Objektiven verschiedener Brennweite können Sie die Abbildungsgröße beeinflussen. Oft ist es wünschenswert, daß weit entfernte oder sehr nahe gelegene Gegenstände jeweils das Filmformat ausfüllen.

Bei einem *Normalobjektiv* ist die Brennweite etwa gleich der Diagonale des Filmformats, d. h. für Kleinbildkameras mit einem Format von 24 mm × 36 mm etwa 45 mm oder 50 mm.

*Teleobjektive* haben lange Brennweiten, z. B. 135 mm oder 360 mm (sogar bis 1200 mm sind möglich) und erlauben das „Heranholen“ weit entfernter und damit klein erscheinender Gegenstände. Ist ein Gegenstand hingegen so groß, daß sein Bild nicht in das Filmformat paßt, fotografieren Sie ihn mit einem *Weitwinkelobjektiv*, das mit einer Brennweite von z. B. 35 mm oder 21 mm ein entsprechend kleineres Bild erzeugt.

## Die Lichtstärke

Durch ein Objektiv mit größerer Querschnittsfläche tritt mehr natürlich Licht hindurch als durch eines mit kleinerer Querschnittsfläche. Daher erlaubt ein größerer Objektivdurchmesser kürzere Belichtungszeiten. Wenn beispielsweise bei einem Objektiv von 12,5 mm Durchmesser eine Belichtungszeit von 1/15 s nötig ist, genügt bei einem 25 mm durchmessenden Objektiv 1/60 s.<sup>1</sup>

Hat aber das doppelt so große Objektiv auch eine doppelt so große Brennweite, so verteilt sich die einfallende Lichtmenge auf eine vervierfachte Bildfläche. Insgesamt hängt also die *Lichtstärke* eines Objektivs sowohl vom Durchmesser als auch der Brennweite ab. Sie ist wie folgt definiert:

$$\text{Lichtstärke} = \text{Durchmesser} : \text{Brennweite.}$$

Dabei wird der Durchmesser auf 1 normiert, d. h. ein Objektiv mit 25 mm Durchmesser und einer Brennweite von 50 mm hat die Lichtstärke 1 : 2. Statt Lichtstärke findet man gelegentlich auch die Bezeichnung *Öffnungsverhältnis*.

Sowohl Lichtstärke als auch Brennweite sind auf dem Objektiv angegeben, oft in der Form „1 : 2,8 / 45“.

## Blende und Belichtungszeit

Mit der *Blende* läßt sich der wirksame Objektivdurchmesser und damit die Bildhelligkeit verändern. Auf dem Blendeneinstellung befindet sich die Zahlenreihe des international genormten *Universalblendensystems*:<sup>2</sup>

2 2.8 4 5.6 8 11 16 22

Die *kleinere* Zahl bezeichnet die *größere* Blendenöffnung. Die Reihe ist so angelegt, daß eine Änderung der Blende um eine Stufe die Lichtmenge und damit die Belichtungszeit verdoppelt bzw. halbiert.

Beispiel: Bei einer Blendeneinstellung 11 und einer Belichtungszeit von 1/30 s erfordert eine Veränderung der Blende auf 8 (Vergrößerung, mehr Licht!) nur noch eine Belichtung von 1/60 s.

## Blende und Schärfentiefe

In Abbildung 11a ist das Objektiv auf die Entfernung des Punktes G eingestellt und liefert in der Filmebene E den Bildpunkt B.

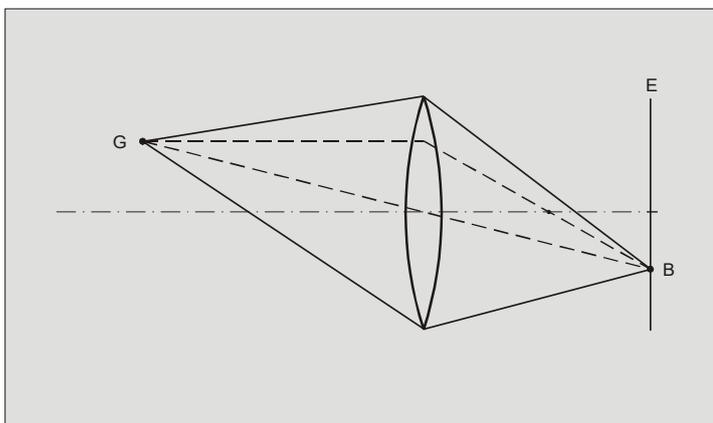


Abb. 11a: Der Bildpunkt in der Filmebene

<sup>1</sup> Da die Fläche mit dem Quadrat des Durchmessers wächst, ergibt eine Verdopplung des Durchmessers eine vierfache Lichtmenge und damit eine auf 1/4 reduzierte Belichtungszeit.

<sup>2</sup> Die Zahlen der Universalblendenreihe, auch *f-Zahlen* genannt, ergeben sich aus dem Verhältnis der Brennweite zum Blendendurchmesser. Ein Objektiv mit einem Durchmesser von 16 mm und einer Brennweite von 45 mm erlaubt demnach eine kleinste Blendenzahl von  $45 : 16 = 2,8$ . Gehen Sie eine Stufe höher, auf  $f = 4$ , so ergibt sich ein Blendendurchmesser von 45 mm:  $4 = 11,2$  mm. Diese Reduzierung des Durchmessers um das  $11,2 : 16 = 0,7$ fache ergibt eine Verkleinerung der Fläche (und damit der Lichtmenge) auf das  $0,7^2 = 0,5$ fache. Die jeweils nächsthöhere *f-Zahl* erhalten Sie aus der vorhergehenden durch Multiplikation mit  $\sqrt{2}$ .

In Abbildung 11b liegt der Punkt  $G'$  bei gleicher Entfernungseinstellung näher am Objektiv, d. h. die Einstellung „stimmt nicht mehr“. Die Folge ist, daß in der Filmebene kein Punkt mehr dargestellt wird, sondern ein Fleck  $B'$ .

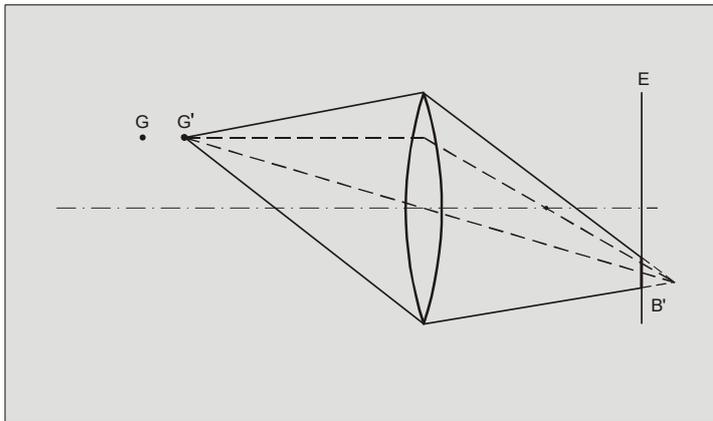


Abb. 11b: Der Punkt wird durch falsche Entfernungseinstellung zu einem Fleck

In Abbildung 11c ist bei den gleichen Bedingungen wie in Abbildung 11b die Blendenöffnung größer (dargestellt durch eine größere Linse). Dadurch wird der Fleck  $B''$  noch größer als  $B'$ .

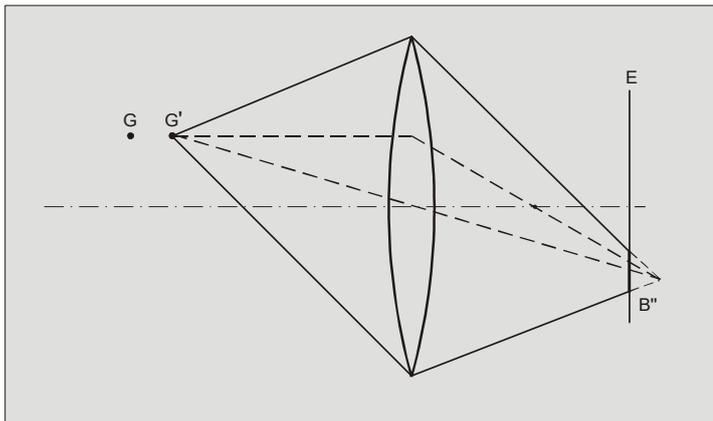


Abb. 11c: Auch durch eine Vergrößerung der Blende wird der Punkt unscharf

Die Flecken  $B'$  und  $B''$  nennt man *Zerstreuungskreise*. Der Vergleich der Abbildungen 11b und 11c zeigt, daß eine kleinere Blendenöffnung (größere Blendenzahl!) einen kleineren Zerstreuungskreis erzeugt: Eine kleine Blendenöffnung ist toleranter gegenüber einer falschen Entfernungseinstellung.

Abhängig vom Auflösungsvermögen des Auges und vom Bildformat werden Zerstreuungskreise von 0,03 mm bis 0,05 mm Durchmesser noch als Punkte wahrgenommen. Aus diesem Grund erscheinen bei einer gegebenen Entfernungseinstellung nicht nur die Bilder der Gegenstände scharf, die sich in genau der entsprechenden Distanz befinden, sondern auch die in einem gewissen Bereich davor oder dahinter liegende Objekte.

Dieser Bereich, in dem der Gegenstand scharf abgebildet wird, heißt *Schärfentiefebereich* oder kurz *Schärfentiefe*. (Man findet auch oft die Bezeichnung *Tiefenschärfe*). Sie läßt sich mit der Blende beeinflussen: bis zu  $2/3$  der eingestellten Entfernung nach hinten, bis zu  $1/3$  der eingestellten Entfernung nach vorn (s. u., Regel 3).

Die Tabelle auf der folgenden Seite zeigt beispielhaft den Schärfentiefebereich für zwei verschiedene Entfernungseinstellungen (1 m und 5 m) und zwei verschiedene Brennweiten (50 mm und 150 mm).

Entfernungseinstellung	Brennweite 50 mm			Brennweite 150 mm		
	bei Blende			bei Blende		
	2,8	5,6	11	2,8	5,6	11
1 m	0,97	0,93	0,88	0,98	0,97	0,94
	1,04	1,08	1,16	1,02	1,03	1,07
5 m	4,20	3,70	2,90	4,60	4,20	3,70
	6,10	7,90	18,20	5,50	6,10	7,80

Schärfentiefe-Tabelle

Anhand dieser Tabelle lassen sich drei Regeln zeigen:

1. Kleine Blendenöffnungen ermöglichen eine größere Schärfentiefe. Zum Beispiel beträgt der Schärfentiefebereich bei Blende 2,8 und Brennweite 50 mm bei einer Entfernung von 1 m nur 7 cm, bei Blende 11 hingegen schon 28 cm.
2. Kurzbrennweitige Objektive liefern eine größere Schärfentiefe als Objektive längerer Brennweite. Beispielsweise beträgt bei 50 mm Brennweite und Blende 2,8 der Schärfentiefebereich in 5 m Entfernung 1,9 m, bei einer Brennweite von 150 mm aber nur 0,9 m.
3. Mit zunehmender Entfernung nimmt der Schärfentiefebereich zu, und zwar *hinter der eingestellten Entfernung stärker als davor*. Wie in der Tabelle bei Blende 5,6, einer Brennweite 50 mm und einer Entfernung von 1 m ersichtlich ist, beträgt der Schärfentiefebereich 15 cm (7 cm vor und 8 cm hinter der eingestellten Entfernung). Bei einer Distanz von 5 m beträgt er bereits 4,2 m (1,3 m vor und 2,9 m hinter der Einstellung).

### Der Lichtwert

Bei manchen Objektiven läßt sich der *Lichtwert LW* (engl. *exposure value, EV*) ablesen bzw. einstellen, eine Kombination aus Blende und Belichtungszeit. Kennen Sie den Lichtwert auf Grund einer Messung, so haben Sie mehrere Alternativen zur Auswahl. Zum Beispiel repräsentiert ein Lichtwert 12 folgende Blenden-Zeit-Paare:

Lichtwert 12

Blende	11	8	5,6	4	2,8
Belichtung / s	1/30	1/60	1/125	1/250	1/500

Wünschen Sie nun eine große Schärfentiefe, so wählen Sie hier Blende 11 bei 1/30 s; fotografieren Sie ein schnell bewegtes Objekt, werden Sie sich für 1/500 s bei Blende 2,8 entscheiden.

## 2 Der Schwarzweißfilm

### Filmmaterialien

Der fotografische Film besteht im wesentlichen aus einer relativ dicken Trägerschicht und einer darauf befindlichen Substanz (beim Schwarzweißfilm das Silberbromid), die sich unter Lichteinwirkung verändert.

Silberbromid reagiert allerdings nur auf violettes und blaues Licht; grünes, gelbes und rotes Licht bewirken keine Veränderung. Mit *Sensibilisatoren* wird das Silberbromid auch für die „fehlenden“ Farben empfindlich gemacht.<sup>1</sup>

Ein Film ohne Sensibilisator heißt naheliegenderweise *unsensibilisiert*; Filme, die auch auf die anderen Farben mit Ausnahme von Rot reagieren, heißen *orthochromatisch*, und solche, die auf alle Farben ansprechen, *panchromatisch* (Abbildung 12).

<sup>1</sup> Sensibilisatoren sind Substanzen, die durch z. B. gelbes Licht angeregt werden und übertragen Anregungsenergie auf das Silberbromid. So verändert sich dieses auch beim Einfall gelben Lichts,

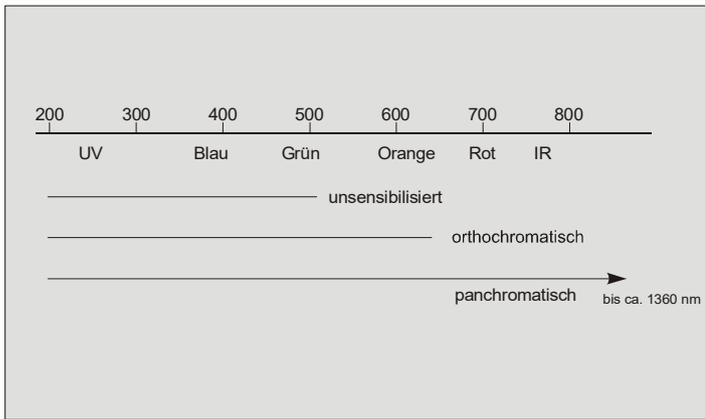


Abb. 12: Verschiedene Empfindlichkeiten der Filme

Unsensibilisiertes Filmmaterial verwendet man z. B. bei der Herstellung von Schwarzweißabzügen, es kann bei grünem oder rotem Dunkelkammerlicht verarbeitet werden. Orthochromatische Materialien sind sinnvoll, wenn Rottöne dunkler erscheinen sollen oder das Objekt kein Rot enthält. Solche Filme können bei rotem Licht verarbeitet werden. Panchromatische Filme (Negativfilme!) müssen stets in völliger Dunkelheit verarbeitet werden!

### Aufbau des Films und des Fotopapiers

Das Silberbromid und die Sensibilisatoren sind in einer Gelatineschicht emulgiert, die durch eine Haftschrift mit dem aus Celluloseacetat bestehenden Filmträger verbunden ist. Unter diesem Träger befindet sich bei Plan- und Rollfilmen eine Lichthofschutzschicht, die Lichtreflexionen innerhalb des Films verhindert (Abbildung 13).

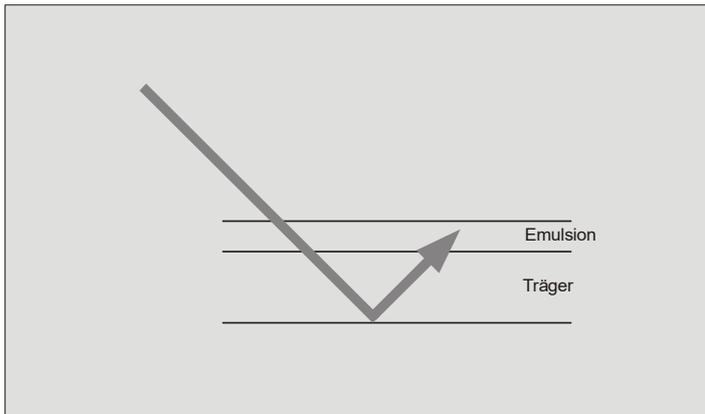


Abb. 13: Unerwünschte Reflexion innerhalb des Films ("Lichthof")

Bei handelsüblichen Kleinbildfilmen besteht der Lichthofschutz in einer Graufärbung des Trägers (*grey base*). Die Emulsion wird durch eine Schicht aus gehärteter Gelatine geschützt.

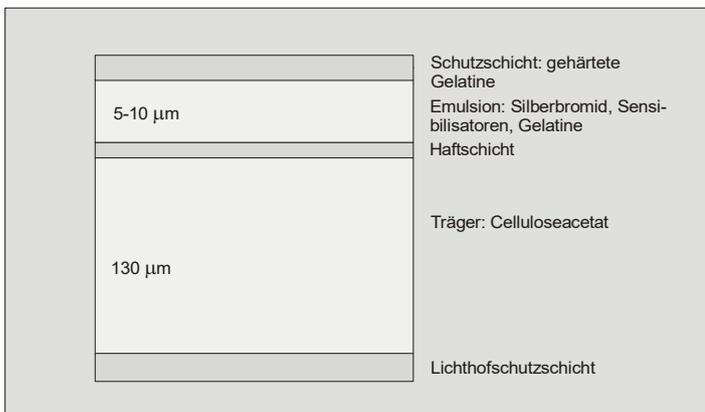


Abb. 14: Aufbau eines Schwarzweißfilms

Die lichtempfindliche Schicht des Schwarzweißabzugs (des Positivs) ist eine Emulsion aus Silberbromid und Gelatine. Auf Sensibilisatoren kann bei den Abzügen verzichtet werden, da ja nur die Hell-Dunkel-Werte des Negatives wiedergegeben werden. Bei Papierabzügen liegt zwischen der Emulsion und dem Trägerpapier die Barytschicht, eine Suspension aus Bariumsulfat und Gelatine. Sie verhindert das Einsinken der Emulsion in die Papierfasern und fungiert zugleich als Haftschrift. Baryt ist rein weiß und vergrößert das Reflexionsvermögen; fein oder glattgestrichen liefert es glänzende Abzüge, grobkörnig oder mit Zusätzen versehen entstehen matte Abzüge. Ein Nachteil der Papierabzüge ist, daß sie sich während der Entwicklung und Fixierung mit den Fotochemikalien vollsaugen, was eine lange Wässerungszeit nach sich zieht. Zudem trocknet die Emulsion schneller als das Papier, wodurch sich die Abzüge beim Trocknen rollen. Abhilfe schafft hier die Einbettung des Papiers in eine wasser- und chemikalienundurchlässige Schicht aus Polyethylen (PE). Solche Materialien heißen PE-Papier, im angelsächsischen Sprachraum RC (*resin coated*). Bei PE-Papieren entfällt die Barytschicht.

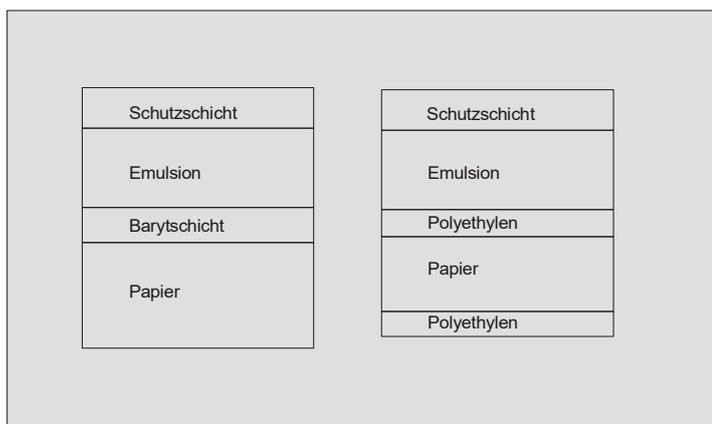


Abb. 15: Barytpapier und PE-Papier

Die *Gradationszahl* eines Papiers gibt Auskunft darüber, wie viele Grauabstufungen das Papier wiederzugeben vermag. Sind es wenige, so spricht man von *hartem* Papier, sind es viele, ist das Papier *weich*. Es wird im Handel in den Abstufungen *extra weich*, *weich*, *normal (mittel)*, *hart* oder *extra hart* angeboten.

### Filmempfindlichkeit

Die Silberbromidkörner der Emulsion haben Größen zwischen 0,2 und 2  $\mu\text{m}$ . Je größer die Körner, desto weniger Licht wird zur Einleitung des fotografischen Primärprozesses (s. u.) benötigt, d. h. die Lichtempfindlichkeit des Films steigt mit der Kerngröße. Andererseits macht sich diese Grobkörnigkeit beim Vergrößern bemerkbar, zur Darstellung feiner Details bei „gestochener Schärfe“ empfiehlt sich daher ein weniger lichtempfindlicher, also feinkörniger Film.

Die Lichtempfindlichkeit wird in ASA, DIN oder ISO angegeben. Einer Verdopplung der Empfindlichkeit entspricht eine Verdoppelung des ASA-Wertes oder eine Erhöhung um drei DIN- Stufen (vgl. folgende Tabelle).

ASA	DIN
25	15°
50	18°
100	21°
200	24°
400	27°

Die auf den handelsüblichen Filmen angegebene ISO-Angabe zeigt sowohl den ASA- als auch den DIN-Wert, z. B. ISO 100/21. Wenn Sie z. B. mit einem ISO 50/18-Film eine Blenden-Zeit-Kombination  $f = 8$ ,  $1/60$  s, also einen Lichtwert 12, ermittelt haben und sich in Ihrer anderen Kamera ohne Belichtungsmesser ein 100/21-Film befindet, so wählen Sie für die gleiche Schärfentiefe  $1/125$  s bzw. bei gleicher Belichtungszeit Blende 11.

## Filter und Verlängerungsfaktoren

Bei manchen Schwarzweißaufnahmen ist es wünschenswert, die Umsetzung der Farben in Grauwerte mit Filtern zu beeinflussen. Einer der am häufigsten verwendeten Filter ist der Gelbfilter, mit dem man eine kontrastreichere Darstellung von Wolken vor dem blauen Hintergrund des Himmels erreicht. Neben dem Gelbgrünfilter eignet er sich auch für Landschaftsaufnahmen, wenn die Wiedergabe differenzierter Grüntöne gewünscht wird. Orange- und Rotfilter verstärken bei Fernaufnahmen den Kontrast, Blaufilter dämpfen den hohen Rotanteil künstlicher Lichtquellen.

In Gegenden mit hoher Ultraviolettstrahlung, z. B. am Meer oder im Gebirge über 1000 m Höhe ist ein UV- oder „Skylight“-Filter zu empfehlen. Panchromatische Filme sind bis zu einer Wellenlänge von etwa 250 nm UV-empfindlich. Diese Strahlung wird vom Belichtungsmesser nicht gemessen und auch die Korrektur der chromatischen Aberration deckt diesen Bereich nicht ab.

Da der Filter selbst Licht absorbiert, ist eine längere Belichtungszeit oder eine größere Blendenöffnung erforderlich. Bei einer Kamera mit TTL-Belichtungsmessung brauchen Sie das meist nicht zu berücksichtigen, bei anderen Kameras müssen Sie die Einstellungen entsprechend verändern. Auf den Fassungen der Filter sind die *Verlängerungs-* oder *Filterfaktoren* eingraviert. Ein Verlängerungsfaktor 2 bedeutet, daß Sie die Belichtungszeit verdoppeln oder die nächstkleinere Blendenzahl wählen müssen.

## Teil 3: Belichtung, Entwicklung und Fixierung (Theorie)

Silberbromidkristalle sind, wie Abbildung 16 zeigt, regelmäßige Gitter aus positiven Silber- und negativen Brom-Ionen.

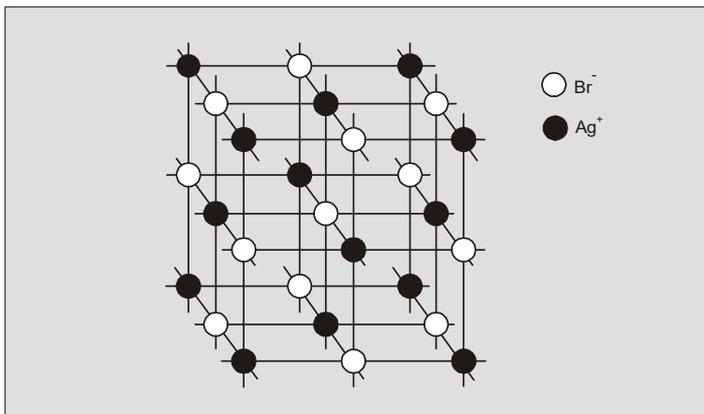


Abb. 16: Das Kristallgitter des Silberbromids (nach Marchesi)

Allerdings stellen die Kristalle in der fotografischen Emulsion keine solchen *idealen* Gitter dar, sondern weisen absichtlich erzeugte Deformationen auf: einige Gitterplätze sind nicht mit Silberionen besetzt, so daß diese sich frei im Kristall bewegen können. Ferner wandern Verunreinigungen aus der Gelatine in das Gitter, die sogenannten *Reifekeime*.

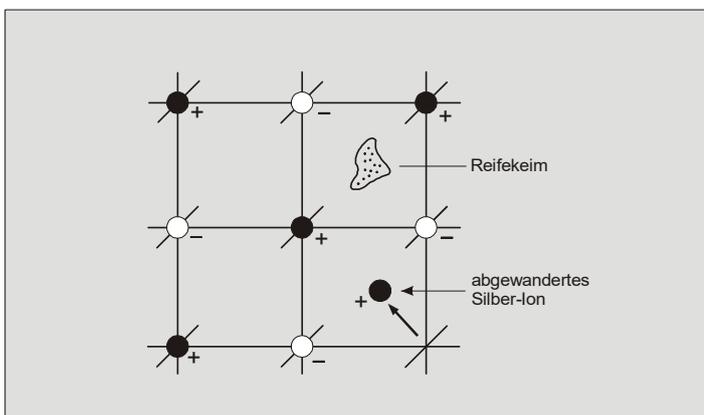


Abb. 17: Freie Gitterplätze und Reifekeime (nach Marchesi)

Wird ein Brom-Ion ( $\text{Br}^-$ ) durch Licht angeregt, so verliert es ein Elektron. Das nunmehr neutrale Brom-Atom ( $\text{Br}$ ) wird nicht mehr im Gitter festgehalten und wandert in die Gelatine bzw. die Entwicklerlösung ab, während der Reifekeim das Elektron aufnimmt.

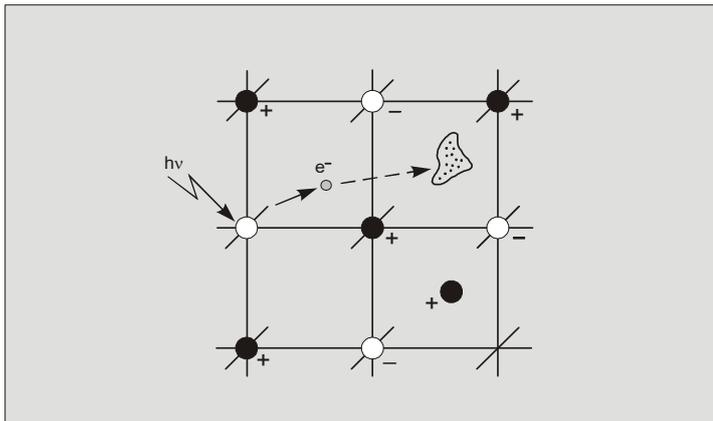


Abb. 18: Ein durch Lichtenergie freigesetztes Elektron wandert zum Reifekeim (nach Marchesi)

Das am Reifekeim angelagerte Elektron kann sich nun mit einem der positiven, frei beweglichen Silber-Ionen ( $\text{Ag}^+$ ) vereinigen, so daß schließlich am Reifekeim elementares Silber ( $\text{Ag}$ ) gebildet wird.

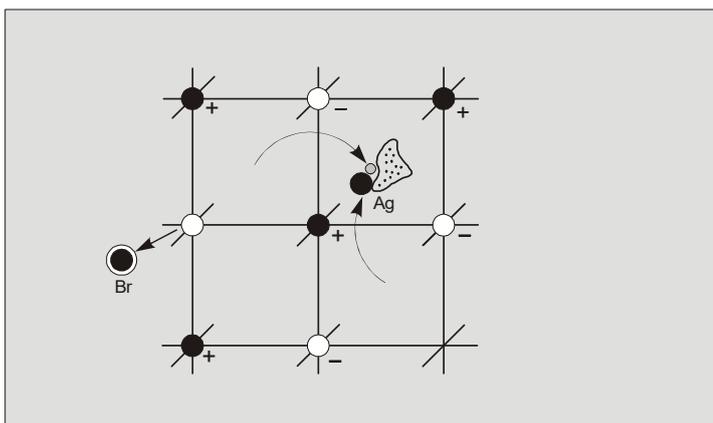
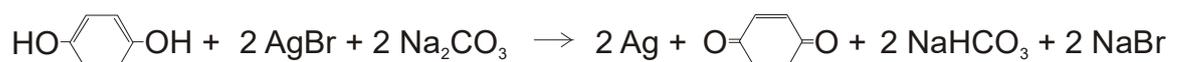


Abb. 19: Am Reifekeim entsteht elementares Silber (nach Marchesi)

Dieser *fotografische Primärprozeß* ist also ein „Dreckeffekt“, der im idealen Kristallgitter aus Abbildung 16 gar nicht stattfinden würde.

Mit der Bildung elementaren Silbers an den belichteten Stellen der Emulsion liegt das *latente Bild* vor. Allerdings sind diese Stellen zu klein, um sichtbar zu sein. Der nächste Schritt, die *Entwicklung*, besteht darin, einem anbelichteten Silberbromidkorn weitere Elektronen hinzuzufügen, die weitere Silberionen zu Silber reduzieren.

Neben dem Elektronen abgebenden Reduktionsmittel Hydrochinon enthält der Entwickler das alkalische Natriumcarbonat, das die freiwerdenden Brom-Ionen aufnimmt. Damit sieht die chemische Formulierung des Entwicklungsprozesses in vereinfachter Form folgendermaßen aus:



Daneben enthält Entwickler weitere Bestandteile, z. B. Natriumsulfit als Antioxidationsmittel und Kaliumbromid, das die Entwicklung unbelichteter  $\text{AgBr}$ -Kristalle verhindert.

Nach der Entwicklung ist in den belichteten Körnern alles zu Silber reduziert und das Bild ist sichtbar.

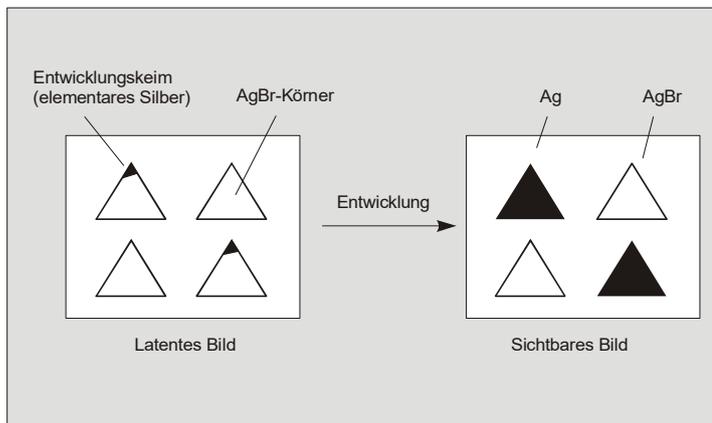
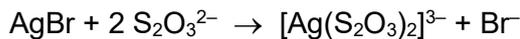


Abb. 20: Vom Keim zum Bild

Die im alkalischen Medium stattfindende Entwicklung wird im nachfolgenden sauren *Stopp-* oder *Unterbrecherbad* beendet; zum Beispiel bildet Essigsäure mit dem alkalischen Natriumcarbonat des Entwicklers das neutrale Natriumacetat:



In der Praxis wird das saure Stoppbad manchmal durch eine *Zwischenwässerung* ersetzt. Schließlich sind die noch vorhandenen unbelichteten Silberbromidkörner zu entfernen. Sie werden im *Fixierbad* in wasserlösliche Salze umgewandelt, die anschließend bei der *Wässerung* herausgespült werden. Als Fixierer eignet sich Natriumthiosulfat („Fixiernatron“). Der chemische Prozeß läuft in mehreren Stufen ab, lässt sich aber vereinfacht so darstellen:



Damit befindet sich nur noch elementares Silber auf dem Bild.

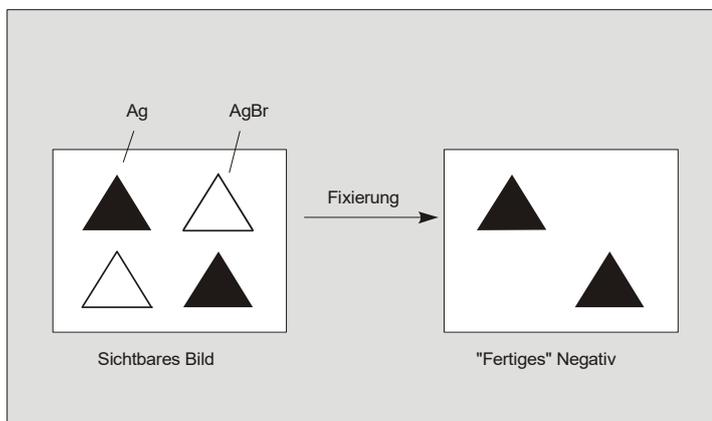


Abb. 21: Restliches Silberbromid wird beim Fixieren entfernt

#### Teil 4: Belichtung, Entwicklung und Fixierung (Praxis)

Dieser „Praxisteil“ dient nur als grobe Richtlinie. Wer selbst ein Fotolabor betreiben möchte, kommt ohne weiterführende Literatur nicht aus. Zu empfehlen sind auch die Broschüren und Datenblätter der Film- und Chemikalienhersteller.

##### Die Ausrüstung des Fotolabors

Für die Negativentwicklung benötigt man eine Entwicklerdose, zwei bis drei Plastikflaschen, Meßbecher bzw. Meßzylinder (Mensur), Thermometer, Klammern.

Die Positiventwicklung verlangt einen Vergrößerer, Dunkelkammerlampen, drei bis vier Fotoschalen, zwei bis drei Zangen, zwei bis drei Plastikflaschen, eine Vergrößerungskassette; evtl. noch eine Trockenpresse, falls man mit Barytpapier arbeitet, und eine Schneidemaschine.

Alle Chemikalien sollen etwa die gleiche Temperatur haben, d. h. um maximal 2 °C voneinander abweichen; eine empfehlenswerte Arbeitstemperatur liegt bei ca. 20 °C. Um gute Ergebnisse zu erzielen, sind die Gebrauchsanweisungen für die Chemikalien genauestens zu beachten!

Der Kontakt der Flüssigkeiten mit Haut und Augen ist zu vermeiden! Gegebenenfalls mit viel Wasser spülen und bei Augenkontakt einen Arzt aufsuchen!

### Negativ-Entwicklung

Filme werden in einem sogenannten *Tank* (auch *Entwicklerdose* genannt) entwickelt, der einerseits lichtundurchlässig ist, andererseits aber das Einfüllen und Ausgießen von Flüssigkeiten erlaubt. Zu solch einem Tank gehört eine Spirale, in der der Film aufgerollt wird; diese kommt in den Tank, der dann verschlossen wird.

Nicht vergessen: panchromatische Filme reagieren auch auf rotes Dunkelkammerlicht! Für Anfänger ist es sinnvoll, alle Arbeitsschritte im Hellen mit alten Filmen mehrfach zu üben, besonders das Einfädeln des Films in die Spirale.

### Vorbereitungen

- Im noch hellen Labor legt man sich die Einzelteile des Tanks bereit, so daß man sie auch im Dunkeln wiederfindet.
- Den aus der Patrone ragenden Teil des Films kann man etwas rundschnitten, damit er sich gut in die Spirale einfädeln läßt. Ist der Film ganz in die Patrone zurückgerutscht, so muß man sie *in völliger Dunkelheit (!!!)* öffnen und kann dann den Film rundschnitten. Zum Öffnen der Patrone eignet sich ein einfacher Flaschenöffner.
- Nachdem das Licht (*auch das Rotlicht!*) aus ist, wird der Filmanfang in den Eingang der Spirale gesteckt und der Film aufgewickelt. Sein Ende ist in der Patrone mit Klebeband angeklebt und kann einfach abgerissen werden.
- Den Kern durch die Spule stecken, die Klammer aufsetzen, beides in den Tank geben und diesen verschließen. Nun kann das Licht eingeschaltet und der Entwickler eingefüllt werden. Den Tank einmal kippen und auf der Handfläche aufstoßen, damit sich keine Luftblasen am Film festsetzen.

### Entwickeln, Fixieren und Wässern

- Die Dose nach Angabe des Filmherstellers auf den Kopf und wieder zurück drehen (dieser Vorgang heißt *Kippen*). Standard ist im Zweifelsfall einmal pro Minute. Nach der Entwicklungszeit den Entwickler auskippen und die Dose gut auslaufen lassen.
- Das Stoppbad (2%ige Essigsäure oder bei Zwischenwässerung Wasser) einfüllen. Er bleibt für ½ Minute, maximal 3 Minuten in der Dose, danach wieder ausgießen, Dose auslaufen lassen.
- Den Fixierer einfüllen. Sobald der Film im Fixierer ist, ist er lichtunempfindlich und man kann die Dose öffnen. Schnellfixierer läßt man 2 bis 3 Minuten, normalen Fixierer 5 Minuten auf den Film einwirken. Nicht vergessen: auch beim Fixieren die Dose einmal pro Minute kippen.
- Sodann wird gewässert. Verwendet man ein Schnellwässerungsverfahren (Schlauch vom Wasserhahn in den Tank), beträgt die Wässerungszeit 5 Minuten, andernfalls mindestens 15 Minuten unter fließendem Wasser. In das letzte Wasser gibt man einen Tropfen Spülmittel, danach kann man den Film zum Trocknen aufhängen. Das Trocknen des Films mit einem Föhn ist *nicht* empfehlenswert.

### Vergrößerungen (Abzüge, Positive)

Anders als bei der Negativentwicklung befinden sich die Lösungen in offenen Wannen. Zu jeder Wanne gehört eine Zange. Diese dürfen nicht in benachbarte Lösungen eintauchen! Die Arbeit kann bei rotem, gelbgrünen oder grünem Licht erfolgen.

#### **Arbeit am Vergrößerer**

Man legt den trockenen, staubfreien Film mit der matten, beschichteten Seite nach unten in die Filmbühne<sup>1</sup>. Nach dem Einschalten des Vergrößerers sieht man die Projektion des Negativs auf der Grundplatte.

Die *Schärfe* wird bei offener Blende mit dem Balgen, also mit dem Abstand zwischen Filmebene und Objektiv reguliert, die *Vergrößerung* über den Abstand zwischen Film- und Projektionsebene. Dann wird das Rotfilter vorgeschoben, so daß nur noch rotes Licht auf die Grundplatte kommt, auf die nun das Fotopapier gelegt wird.

Dann wird der Vergrößerer ausgeschaltet und das Rotfilter weggenommen. Anschließend den Vergrößerer für die gewünschte Belichtungszeit wieder einschalten. Zum Erzielen maximaler Schärfe sollte die Belichtung bei kleiner Blende erfolgen.

Die Belichtungszeit ist abhängig vom Entwickler, vom Papier, von der Vergrößerung, von den Eigenschaften des Vergrößerers (Lichtstärke etc.) und muß durch Probelichtungen bestimmt werden.

#### **Entwickeln, Fixieren und Wässern**

Nach der Belichtung wird das Fotopapier für 1 bis 2 Minuten in die Entwicklerschale gegeben. An die Stelle des Kippens tritt hier das gelegentliche Hin- und Herbewegen des Bildes im Chemikalienbad. In der nächsten Wanne (auf die richtige Zange achten!) wird der Entwicklungsprozeß gestoppt, Dauer ca. ½ bis 1 Minuten. Das Fixierbad in der dritten Wanne dauert bei PE-Papier ca. 5 Minuten (je nach Fixierer), bei anderen Papieren bis zu 10 Minuten.

Die fertigen Bilder können bis zur Schlußwässerung in einer vierten, mit Wasser gefüllten Wanne aufbewahrt werden. Diese dauert unter fließendem Wasser etwa 30 Minuten, dann können die Bilder getrocknet werden. PE-Papier wird an der Luft getrocknet, Barytpapier 10 bis 15 Minuten in der Trockenpresse.

---

<sup>1</sup> Die Filmbühne ist der wichtigste Teil des Vergrößerers, sie sollte keine zerkratzten Gläser oder schwergängige Führungen zeigen. Zur Überprüfung gibt es im Fachhandel Testnegative.

## Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1: Brennpunkt und Brennweite .....	4
Abb. 2: Brennpunktstrahlen verlassen die Linse als Parallelstrahlen .....	4
Abb. 3: Verlauf der Mittelpunktstrahlen.....	4
Abb. 4: Die Linse erzeugt ein Bild des Gegenstands.....	5
Abb. 5: Prinzip der Abbildung in einer Kamera .....	5
Abb. 6: Sphärische Aberration.....	5
Abb. 7: Chromatische Aberration.....	6
Abb. 8: Linsensystem eines Objektivs .....	6
Abb. 9: Spiegelreflexkamera.....	6
Abb. 10: Die Brennweite bestimmt die Größe des Bildes .....	7
Abb. 11a: Der Bildpunkt in der Filmebene .....	8
Abb. 11b: Der Punkt wird durch falsche Entfernungseinstellung zu einem Fleck.....	9
Abb. 11c: Auch durch eine Vergrößerung der Blende wird der Punkt unscharf.....	9
Abb. 12: Verschiedene Empfindlichkeiten der Filme .....	11
Abb. 13: Unerwünschte Reflexion innerhalb des Films ("Lichthof") .....	11
Abb. 14: Aufbau eines Schwarzweißfilms.....	11
Abb. 15: Barytpapier und PE-Papier.....	12
Abb. 16: Das Kristallgitter des Silberbromids .....	13
Abb. 17: Freie Gitterplätze und Reifekeime .....	13
Abb. 18: Ein durch Lichtenergie freigesetztes Elektron wandert zum Reifekeim.....	14
Abb. 19: Am Reifekeim entsteht elementares Silber .....	14
Abb. 20: Vom Keim zum Bild .....	15
Abb. 21: Restliches Silberbromid wird beim Fixieren entfernt .....	15

## Literatur

- Marchesi, Jost J.: Photokollegium (6 Bände). Schaffhausen, versch. Jge. (Verlag Photographie)  
Marchesi, Jost J.: Digital Photokollegium (3 Bände). Schaffhausen 2007 (Verlag Photographie)  
Feininger, Andreas: Die hohe Schule der Fotografie. München 2006 (Heyne)  
Feininger, Andreas: Feiningers kleine Fotolehre: das Geheimnis der guten Fotografie. Düsseldorf 1982 (Econ)  
Feininger, Andreas: Feiningers große Fotolehre. Düsseldorf 1979 (Econ)  
*Nachtrag: Dieses Buch habe ich 2009 noch als „Neuausgabe 2001, Druck 2007“ erhalten (Heyne).*

## Acknowledgements

Ich danke Herrn Stefan Schertel, München, für die technische Hilfe bei der Erstellung der ersten Version dieses Kurses im Jahre 1995 sowie Herrn Eugen Rohland „Euro“ Rohn, München, für die kritische Durchsicht der vorliegenden Version.

Home: <http://www.rkuhnke.eu/foto.html>

Dieser Text darf ohne besondere Genehmigung für Lehr- und Unterrichtszwecke verwendet werden.

Kontakt: rkuhnke(at)rkuhnke.eu

Rüdiger Kuhnke 1995, 2007