

Grundwissen Klassische Fotografie

Inhalt

Grundbausteine der Fotografie - Silber.....	4
Vorkommen und Eigenschaften	4
Silber in fotografischen Schichten.....	4
Recycling möglich	5
Der lange Weg zum Film.....	5
Grundbausteine der Fotografie - Gelatine.....	7
Naturprodukt mit vielen Vorzügen	7
Der Reifungsprozess	8
Grundbausteine der Fotografie - die Emulsion	10
Der Teufel steckt im Detail	10
Weites Experimentierfeld.....	11
Filmentwickler - Übersicht	12
Entwicklersubstanzen.....	12
Der pH-Wert macht's	12
Spezielle Zusätze für den letzten Schliff.....	13
Benzol - die Mutter aller Entwickler.....	13
Feinkornentwickler	15
T-Grain und Co.....	15
Der Unterschied von Fein- und Feinstkorn	15
Der Preis für feines Korn	16
Chemische und physikalische Entwicklung	17
Was ist Korn?.....	17
Das Feinkorn- Who is Who	17
Rezepturen für Fein- und Feinstkornentwickler	18
Schärfeentwickler	20
Völlig aufgelöst	20
Scharfe Negative für scharfe Bilder.....	20
Zwei Spezialisten	21
Ende der Legende.....	22
Das Who is Who der Schärfeentwickler – Rodinal und die Panzerknacker	22
Rezepturen für Schärfeentwickler.....	22
Was ist Schärfe?	23

Pushentwickler	25
Die Korngröße entscheidet.....	25
Eine Blende geht immer	25
Mit der Entwicklungszeit spielen.....	26
Alles nur Illusion	27
Das Who is Who der Pushentwickler	27
Rezepturen für Pushentwickler	27
Weitere Push-Methoden.....	28
Der T-max P-3200 in der Nachbelichtung	29
Spezialentwickler.....	30
Zwei Bäder für mehr Einfluss	30
Schwarz oder weiß	31
Weiche Welle	31
Das Who is Who der Spezialisten	32
Typische Rezepturen	32
Umkehrentwickler.....	34
In fünf Schritten zum Dia.....	34
Der kritische Punkt	35
Zwischenbelichtung muss nicht sein	36
Umkopieren als Alternative.....	36
Rezeptur für Umkehrentwickler.....	36
Schnellentwickler.....	39
Aus den Kindertagen des Films	39
Tempo durch Arbeitsteilung.....	39
Alles in einem	40
Rezepturen für Schnellentwickler	41
Filme entwickeln - Die richtige Bewegung	43
Standardisierter Vergleich.....	43
Kurventechnik.....	44
Entwicklungsdaten	45
Papierentwickler	46
Anforderungsprofil	46
Viel hilft viel.....	47
Ton in Ton.....	47
Rezepturen für Papierentwickler	48
Das Who is Who der Papierentwickler.....	49

Stoppbäder.....	50
Vorsicht vor den Stoppbad-Mördern	50
Indikatoren	52
Fixierbäder	53
Bewährte Rezepturen.....	53
Entsilbern oder ab zur Sammelstelle.....	53
Rezepturen für Fixierbäder	54
Braun- und Rottener	56
Auch PE-Papiere geeignet	56
Rezepturen:.....	57
Blau- und Grüntoner	60
Empfindliche Lösungen	60
Rezepturen für Blau- und Grüntoner	60
Sensitometrie - die Gradation	63
Die Schwärzungskurve.....	63
Die Keilschrift.....	63
Der Betawert als Richtgröße	64
Sensitometrie - die Empfindlichkeit.....	65
Wo nichts ist, ist nichts zu holen	65
Der erwünschte Fehler	66
Sensitometrie - Filme eintesten	67
Der Testaufbau	67
Film ab	68
Blendenreihe	70
Rechenbeispiel	70
Filmempfindlichkeit en detail.....	71
Blendenreihe	72
DIN und ASA	73

Grundbausteine der Fotografie - Silber

Das älteste überlieferte "Foto" produzierte im Jahr 1826 der Franzose Niépce, der eine Asphaltplatte in einer Lochkamera belichtete. Das Licht härtete den Asphalt und machte ihn dadurch lösungsmittelbeständig, während unbelichtete Stellen mit Terpentin ausgewaschen werden konnten. Belichtungszeit anno 1826: nicht weniger als acht Stunden.

Rund dreizehn Jahre später bedampfte Daguerre polierte Silberplatten mit Jod und entdeckte die Silberhalogenide als Informationsträger. Seitdem gilt das Jahr 1839 als eigentliche Geburtsstunde der Fotografie in ihrer heute bekannten Form. Der große Vorteil von Daguerres Silberplatte gegenüber Niépces Asphaltplatte lag in der viel höheren Empfindlichkeit. Belichtungszeiten werden seither eher in Sekunden und Minuten denn in Stunden gezählt. Heute ist Silber der mit Abstand wichtigste Ausgangsstoff zur Herstellung lichtempfindlicher Materialien - auch wirtschaftlich. Jährlich werden einige Tausend Tonnen des Edelmetalls, Gesamtwert mehr als eine Milliarde Mark, in der Fotobranche umgesetzt - allein im großen Deutschland sind es 150 bis 200 Tonnen.

Vorkommen und Eigenschaften

Silber, chemisches Kürzel Ag (vom lateinischen Argentum), ist ein chemisches Element aus der ersten Nebengruppe des Periodensystems, mit Ordnungszahl 47 und einem Atomgewicht von 107,87. Silber hat eine Dichte von 10,5 Gramm pro Kubikzentimeter und schmilzt bei etwa 960 Grad. Da es resistent gegenüber nicht oxidierenden Säuren, wie Salzsäure, ist, zählt man es zu den Edelmetallen. Silber besticht durch ein paar interessante physikalische und chemische Eigenschaften: Es leitet Strom und Wärme besser als jedes andere Metall - weshalb es in großem Stil in der Elektroindustrie verwendet wird - und ist extrem dehnbar. Man kann Silber zu Folien ausziehen, die nur einen tausendstel Millimeter dick sind, oder zu Drähten, von denen ein ganzer Kilometer nur 500 Gramm wiegt.

Es kommt in reiner Form vor - als sogenanntes gediegenes Silber - oder als Verbindung (Silbererz). Die wichtigsten Erze sind Ag_2S (Silberglanz), Ag_3SbS_3 (dunkles Rotgültigerz), Ag_3AsS_3 (lichtes Rotgültigerz), AgCl (Hornsilber) sowie das Fahlerz ($\text{Cu, Ag}_3\text{SbS}_3$). Kleinere Fundstätten gibt es im Harz und im sächsischen Erzgebirge, weit größere Vorkommen in Kanada, Mexiko, der GUS und in den USA. Als fotografischer Grundstoff wird jedoch fast ausschließlich Silbernitrat (AgNO_3) verwendet, das wegen der Störanfälligkeit fotografischer Prozesse überaus rein sein muss. Silbernitrat entsteht, wenn man metallisches Silber in Salpetersäure (HNO_3) löst. Das farblose, kristalline Silbernitrat zerfällt bei Temperaturen über 210 Grad Celsius in Silber, Stickstoffdioxid und Sauerstoff.

Silber in fotografischen Schichten

Nun bestehen Fotoemulsionen bekannterweise nicht aus Silbernitrat, sondern aus den Halogeniden Silberchlorid, Silberbromid und Silberjodid, die im Fachchinesisch der Fotografen Chlorsilber, Bromsilber und Jodsilber heißen. Die Halogenide entstehen nach dem Partnertausch-Prinzip aus Umsetzungen mit Kochsalz (Natriumchlorid, NaCl), Kaliumbromid (KBr) und Kaliumjodid (KJ). Silberchlorid ist weiß, Silberjodid gelb, das Silberbromid liegt im Farbton irgendwo dazwischen.

Silberhalogenide bilden Kristallgitter. Da die Elemente in diesem Gitter geladen vorliegen (Ag^+ , Cl^-) spricht man von einem Ionengitter. Dabei ist, theoretisch zumindest, jedes Silberatom von sechs Chloratomen (respektive Brom-, Jod-) umgeben und jedes Chloratom von sechs Silberatomen. Praktisch sieht es aber so aus, dass zumindest ein paar der Silberionen, sogenannte Zwischengitter-Silberionen, ihren Stammplatz räumen und im

Kristall herumvagabundieren. Diese Ionen spielen eine wichtige Rolle bei der Entstehung des latenten Bildes.

Alle Silberhalogenide sind lichtempfindlich, wobei die Empfindlichkeit vom Chlorid über das Bromid zum Jodid zunimmt. Doch "sehen" können sie nur blaues Licht und UV-Licht, für alle anderen Farben sind sie stockblind. Deshalb werden sie spektral sensibilisiert. Im Klartext heißt das, dass die Kristalle mit einem Mäntelchen aus Farbstoffmolekülen eingekleidet werden, die Lichtquanten einfangen und dem Kristall Elektronen zuführen.

Trifft nun ein solches wanderndes Elektron (das heißt Fotoelektron) auf ein Zwischengitter-Silberion, so vereinigen sich beide zum Silberatom, um sich im nächsten Moment wieder zu trennen. Passiert das Ganze aber in der Nähe eines Ag₂-Reifungskeimes - der bei der chemischen Reifung der Emulsion entstanden ist - dann kommt die Zweierkiste nicht in die Krise: Zwischengitterion und Fotoelektron bleiben beieinander und lagern sich als Silberatom an den Reifungskeim an. Aus dem Ag₂-Keim wird ein Ag₃-Cluster. Zieht ein weiteres Pärchen ein, entsteht ein Ag₄-Cluster, das langzeitstabil und entwickelbar ist: ein Latentbild.

Alle Kristalle, die ausreichend Licht abbekommen, enden somit irgendwann einmal als metallisches Silber und werden in Bilderalben oder Negativmappen gelagert. Der nicht belichtete Teil wird beim Fixieren aus der Schicht herausgespült und schwimmt anschließend im Fixierer. Beim Farbprozess landet gar das gesamte Silber im Bleichfixierer.

Recycling möglich

Gebrauchte Fixierlösungen enthalten bis zu sechs Gramm Silber pro Liter. Dieses Silber wird recycelt - auch ohne den bekannten grünen Punkt auf der Flasche. Denn erstens sind die Ressourcen begrenzt, und zweitens sind die Ionen in höheren Konzentrationen nicht gerade gesundheitsfördernd: Wie andere Metallionen denaturieren sie Proteine und können so zu Vergiftungen führen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Silberionen aus der Lösung zu entfernen:

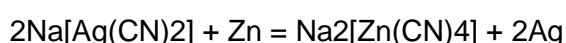
- Chemisches Fälln entsilbert gründlich, doch der Aufwand, der getrieben werden muss, ist hoch.
- Bei der Elektrolyse wird durch eine angelegte elektrische Spannung metallisches Silber in sehr reiner Form abgeschieden. Die Elektrolyse ist bei Konzentrationen unter 100 Milligramm pro Liter jedoch langsam und teuer.
- Bei der sogenannten Zementation an Stahlwolle fällt ebenfalls metallisches Silber an. Doch die Recycling-Quote ist schlecht, und anstelle des Silbers gehen Eisenionen in Lösung.
- Ionenaustauscher arbeiten sehr effizient und eignen sich deshalb vorzüglich gerade für Mini-Konzentrationen. Dafür reagieren sie aber sehr empfindlich auf eingeschleppte Verunreinigungen.

Der lange Weg zum Film

Silber kommt in der Natur vor allem als Erz vor, so als Sulfid, das unter dem Namen Silberglanz bekannt ist. Bei der Aufarbeitung wird dieses Sulfid mit Natriumcyanid-Lösung versetzt, dabei geht das Silber als Dicyanoargentat in Lösung:



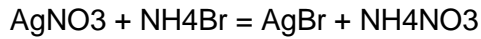
Aus dieser Lösung fällt man das metallische Silber mit Zinn- oder Aluminiumstaub:



Silbernitrat, das als Ausgangssubstanz für alle weiteren Silberverbindungen dient, stellt man durch Lösen des Metalls in Salpetersäure dar:



Silbernitrat wird zu Silberhalogenid, beispielsweise Silberbromid, umgesetzt:



Dieses Silberbromid reift zu einem lichtempfindlichen Kristall heran, das anschließend am Scheideweg steht:

Möglichkeit 1: Es wird durch Belichtung und Entwicklung wieder zu metallischem Silber reduziert und bleibt auf ewig Bildsilber.

Möglichkeit 2: Es wird nicht belichtet, folglich auch nicht entwickelt. Anschließend wird das schwer lösliche Silberbromid im Fixierer in einen leicht löslichen Thiosulfat-Komplex umgewandelt und ausgewaschen:



In diesem Komplexsalz liegt Silber als Kation Ag^+ vor. Legt man an eine solche Komplexsalzlösung elektrische Spannung an, dann scheidet sich an der Kathode metallisches Silber (Ag) ab. Dieses Silber kann wieder zur Darstellung von Silbernitrat genutzt werden, so schließt sich der Kreis.

Grundbausteine der Fotografie - Gelatine

Als Daguerre vor rund 150 Jahren seine ersten Platten belichtete, enthielt die lichtempfindliche Silberjodidschicht keinerlei Bindemittel. Sie war durch Jodbedampfung einer polierten Silberplatte entstanden. Fotografische Emulsionen, feinverteilte Silbersalze in einer lichtdurchlässigen Matrix, kamen rund zehn Jahre später in Form der Kollodiumplatten. Die entsprachen schon in etwa unseren heutigen Filmen, hatten aber einige gravierende Nachteile: Kollodiumschichten - eine Lösung von Nitrozellulose in organischen Lösungsmitteln - konnten im ausgetrockneten Zustand nicht verarbeitet werden. So musste sich jeder seine Emulsion selbst herstellen, und zwar vor jeder Aufnahme frisch. Erst nachdem der britische Arzt John Maddox 1871 Gelatine als Bindemittel für lichtempfindliche Schichten vorgestellt hatte, konnte sich die Fotografie von einer "Geheimwissenschaft" zu einem "Massensport" entwickeln. Die Verwendung von Gelatine erlaubte die industrielle Herstellung von Trockenplatten, die lange Zeit gelagert werden können.

Naturprodukt mit vielen Vorzügen

Seitdem ersetzen flexible Papier- und Kunststoffträger die unbeweglichen Glasplatten, hielten Farbkuppler und T-Grains Einzug in die Emulsionen. Beim Bindemittel blieb dagegen alles beim Alten. Viele Hersteller versuchten zwar, die aus der Natur gewonnene Gelatine durch synthetische Stoffe zu ersetzen. Doch keines der Kunstprodukte brachte die gleiche Qualität. Nachdem moderne Technologie auch bei der Filmherstellung schon lange Einzug gehalten hat, wirkt die Gelatinegewinnung wie ein Relikt aus vergangenen Tagen. Der Weg zum Film beginnt nämlich im Schlachthof.

Dort werden Knochen und Häute entfleischt, entfettet und zerkleinert, bevor sie in Gelatinefabriken weiterverarbeitet werden. Für hochwertige Gelatine verwendet man heute ausschließlich Knochensubstanz. Zunächst wird durch Säurebehandlung das unlösliche Trikalziumphosphat, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, in ein säurelösliches Salz, $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$, umgewandelt und herausgelöst. Die demineralisierte Masse (Ossein) wird anschließend rund drei Monate lang in Lauge eingelegt - "geäschert" heißt das in der Fachsprache. Diese zeitaufwendige Prozedur liefert einen Rohstoff namens Kollagen, der auch als Grundstoff für viele Kosmetika dient. Aus dem Kollagen gewinnt man die "Bouillon", eine wässrige Lösung, in der alle bei 50 bis 60°C löslichen Bestandteile enthalten sind. Die Temperatur wird dann schrittweise bis zum Siedepunkt gesteigert; jeden Temperaturschritt nennt man Abzug. Die einzelnen Abzüge unterscheiden sich in ihren physikalischen Eigenschaften erheblich. Die Abzüge, die einen Gelatineanteil von sechs bis acht Prozent haben, werden dann filtriert, bei 50 °C eingedickt und in dünnen Schichten erstarrt. Für fotografische Zwecke wird in erster Linie Gelatinegranulat verwendet, während Haushaltsgelatine als Pulver oder als Blattgelatine in den Handel kommt.

Chemisch gesehen ist Gelatine ein Protein (Eiweiß) mit einem durchschnittlichen Molekulargewicht von 60.000. Das exakte Molekulargewicht kann, je nach Herkunft und Verarbeitungsprozess, zwischen 20.000 und 360.000 liegen. Wie jedes andere Protein besteht auch Gelatine aus unterschiedlichen Aminosäuren, die durch eine sogenannte Peptidbindung zu einer Kette verknüpft sind. Beim Ausgangsstoff der Gelatineherstellung, dem Kollagen, sind drei solcher Ketten umeinander gewunden. Während des Prozesses werden diese Ketten voneinander gelöst. Da außerdem verschiedene Seitengruppen der Kette untereinander reagieren können, entstehen lange, zufällig gefaltete Ketten. Je nach pH-Wert tragen diese Ketten unterschiedliche elektrische Ladungen. Diese positiven und negativen Ladungen sind wichtig für Interaktionen mit den ebenfalls geladenen Silberhalogeniden.

Eine der wichtigsten Eigenschaften für die Fotografie ist die Fähigkeit zur Gelbildung - aus einer wässrigen Lösung beim Abkühlen zu erstarren und sich beim Erwärmen wieder zu verflüssigen. Diese reversible Gelierfähigkeit ist deshalb wichtig, weil die Emulsion während der Herstellung mehrmals verflüssigt und wieder erstarrt wird. Die Gelbildung ist vor allem von den Faktoren Molekulargewicht, Konzentration und Temperatur abhängig. Je höher die Konzentration und das Molekulargewicht und je niedriger die Temperatur, desto schneller wird die Gelatine fest.

Der Reifungsprozess

Damit die Schicht nun nicht bei höheren Temperaturen vom Träger läuft, wird sie gehärtet. Organische Substanzen, wie Aldehyde, oder Metallionen, wie Aluminium- oder Chromionen, vernetzen dabei die einzelnen Gelatinemoleküle miteinander. Dadurch steigt die Temperatur, bei der die Gelatine sich verflüssigt, stark an.

Doch die Gelatine ist mehr als nur Spielwiese für Silbersalze und Lichtquanten, sie hat selbst direkten Einfluss auf den fotografischen Prozess. Dieser Einfluss geht größtenteils auf das Konto sogenannter Mikrobestandteile:

Je nachdem, ob sie die Lichtempfindlichkeit erhöhen oder absenken, spricht man von Reifkörpern oder Hemmkörpern. Sie erleichtern oder erschweren die physikalische und chemische Reifung der Silberhalogenid-Kristalle. Unter diesen "Körpern" darf man sich keine Partikel vorstellen - es sind einfach nur chemische Substanzen. Die wichtigsten Reifkörper sind schwefelhaltige Verbindungen; vor allem Isothiocyanate, die in Mengen zwischen 0 und 50 ppm in der Gelatine vorkommen und Thiosulfate, die aus der schwefelhaltigen Aminosäure Cystein entstehen können. (ppm = parts per million, beispielsweise ein Gramm pro Tonne). Hemmkörper sind vor allem Nukleinsäuren, Nukleotide (die Einzelbausteine der Nukleinsäuren) und Mineralstoffe, wie Kalzium. Wie Reif- und Hemmkörper genau wirken, ist noch ungeklärt. Fest steht dagegen, dass der Gehalt an fotografisch aktiven Substanzen von Charge zu Charge variiert.

Das stört bei der Emulsionsherstellung, deshalb entfernt man diese Stoffe so vollständig wie möglich - durch Behandlung mit Oxidationsmitteln, Ionenaustauschern oder Adsorbieren. Man erhält "Inertgelatinen", denen die vorher entfernten Stoffe dann genau dosiert wieder zugesetzt werden. Neben den Inertgelatinen werden noch sogenannte aktive Gelatinen und gehemmte Gelatinen verwendet, bei denen jeweils Reif- oder Hemmkörper als fotografisch aktive Substanzen überwiegen. Außerdem gibt es Semi-Inertgelatinen, wo sich die fördernden und hemmenden Substanzen in etwa die Waage halten.

Nicht nur die eigentlichen Emulsionen, auch Lichthofschutz- oder andere Funktionsschichten werden aus Gelatine gefertigt. Obwohl man schon seit mehr als 100 Jahren auf der Suche nach Ersatzstoffen ist, kann man bis heute nur rund 25 Prozent der Gelatine durch Kunststoffe ersetzen. Das Naturprodukt ist in der Vielfalt seiner Eigenschaften jedem synthetischen Polymer überlegen. Sie ist:

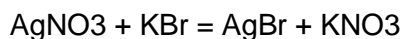
- lichtdurchlässig.
- verhindert das Klumpen von Silberhalogenid-Kristallen bei der Ausfällung.
- erlaubt das Kornwachstum bei der physikalischen Reifung (Ostwald-Reifung). Die Kristalle können größer werden.
- lässt sich wiederholt schmelzen und erstarren.

- kann gehärtet werden und gewährleistet dadurch die mechanische Festigkeit der Emulsion.
- nimmt Bromid- und Chlorid-Ionen auf, die während der Belichtung gebildet werden und stabilisiert so das latente Bild.
- erlaubt den Stoffaustausch bei der Verarbeitung. Entwickler und Fixierer können schnell durch die Schicht diffundieren.
- stabilisiert als Schutzkolloid das entwickelte Silber.
- verleiht Barytpapieren ihren Hochglanz.

Nach einem Kunststoff, der die gleichen Eigenschaften in sich vereinigt, müssen die Chemiker womöglich ähnlich lange suchen, wie nach dem Stein der Weisen.

Grundbausteine der Fotografie - die Emulsion

Früher war die Herstellung von Foto-Emulsionen nichts für Farbenblinde. Vor 50 Jahren beschrieb T. Thorne Baker, wie die Meisterchemiker vergangener Jahrzehnte die Herstellung überwachten: "Beim Köcheln der Emulsion zapften sie immer mal wieder etwas ab und beobachteten, wie die Lösung im Durchlicht ihre Farbe änderte: von Gelb über Grün nach Türkis. Sobald sie blau schimmerte, hatte sie die maximale Empfindlichkeit erreicht." In der Zwischenzeit ist aus der Kunst eine reproduzierbare Wissenschaft geworden - fast schon eine Geheimwissenschaft, denn die Rezepturen werden gehütet wie ein Staatsgeheimnis. Dabei ist alles im Prinzip ganz einfach: Man mischt Silbernitrat mit einem Alkalihalogenid in einer wässrigen Gelatinelösung und rührt dabei kräftig um - schon fallen die schwer löslichen Silberhalogenide aus:



Die Gelatine sorgt dafür, dass die Halogenid-Kristalle nicht verklumpen, sondern schön gleichmäßig verteilt bleiben - das ist alles.

Der Teufel steckt im Detail

Doch der Teufel steckt wie immer im Detail. Kleinste Verunreinigungen der Rohstoffe können die Emulsion vollständig ruinieren. Deswegen wird die Luft gefiltert und das Wasser vollständig deionisiert. Rohchemikalien sollten den Anforderungen des DAB (Deutsches Arzneibuch) entsprechen, wie sie für die Pharmaindustrie verbindlich sind.

Größter Unsicherheitsfaktor ist die Gelatine. Die variiert schon mal von Charge zu Charge, sodass letzten Endes immer die fotografische Prüfung über die Tauglichkeit einer Emulsion entscheidet. Drei Herstellungsschritte sind allen Emulsionen gemeinsam: das Ausfällen der Kristalle, das Entfernen löslicher Salze und die als chemische Reifung bekannte Oberflächenbehandlung der Kristalle. Verschieden sind dagegen die Herstellungsverfahren.

Beim Monoeinlauf kippt man Silbernitratlösung in eine Lösung aus Alkalihalogenid und Gelatine. Bei der inversen Fällung warten Silbernitrat und Gelatine im Topf auf das zulaufende Halogenid. Beim Doppeleinlauf fließen Halogenid und Silbernitrat gleichzeitig, aber aus getrennten Gefäßen, in die Gelatinelösung. Die Monoverfahren sind technisch einfacher, aber mit einem Makel behaftet: Emulsionen mit Silber-Überschuss neigen dazu, Silberionen auch ohne Belichtung zu metallischem Silber zu reduzieren. Das verhindert man, indem man die Halogenide viel höher dosiert. Dadurch ändert sich aber beim Fällern schnell das Verhältnis von Silber- zu Halogenidionen. Ein Beispiel: 10 Teilen Silberionen stehen 100 Teile Bromionen gegenüber, ein Verhältnis von 1:10. Fallen jeweils fünf Teile als Kristall aus, bleiben 5 Teile Silber und 95 Teile Brom zurück - ein Verhältnis von 1:19.

Die Brom-/Silber-Relation hat aber entscheidenden Einfluss auf Form und Größe der entstehenden Kristalle. Man erhält also sogenannte polydisperse Emulsionen, deren Kristalle in Form und Größe - und auch in ihren fotochemischen Eigenschaften - differieren. In aufwendigen Doppeleinlaufmaschinen kann man das Ag/Br-Verhältnis konstant halten und monodisperse Kristalle züchten - Kristalle gleicher Form und Größe. Dabei kontrollieren im Kessel angebrachte Elektroden die Konzentration der Reaktionspartner und steuern über einen Regelkreis den Nachschub. Leitet man äquimolare Mengen (gleiche Anzahl an Atomen) Silber und Halogenid ein, so erhält man, je nach Konzentration der Silberionen, Würfel, Achtecke oder andere gleichförmige Vielflächner. Hält man dagegen einen genau definierten Halogenüberschuss konstant, dann wachsen die Kristalle tafelförmig - die sogenannten T-Grains.

Nicht alle neu geborenen Kristalle überleben. Rührt man nach der Fällung gleichmäßig weiter, dann lösen sich viele kleine Kristalle auf, und die freigewordenen Ionen lagern sich an das Gitter größerer Kristalle an. Man nennt diesen Vorgang physikalische Reifung: Die mittlere Korngröße nimmt zu, die Anzahl der Körner dagegen ab.

Weites Experimentierfeld

Während all dieser Schritte gibt es für die Chemiker viele Möglichkeiten, an der Form der Kristalle herum zu modellieren: Konzentrationen verändern oder Bromid durch Chlorid oder Jodid ersetzen. Das geht sogar in einem Guss, wenn es sein muss. Dann entstehen Kristalle mit schalenförmigem Aufbau, wie Core-Shell-Emulsionen. Mehr noch: Während der physikalischen Reifung beeinflussen Temperatur und Zeit die Kristallisation, auch Komplexbildner wie Ammoniak oder Thioether drücken aufs Reifungstempo. Überschüssiges Halogenid muss jetzt aus der Emulsion entfernt werden, damit es später keinen Unfug anrichtet. Dazu wird die Emulsion abgekühlt und durch einen überdimensionierten Fleischwolf gedreht - genudelt, wie das im Fachjargon heißt. Der genudelte Brei wird dann so lange gewässert, bis alles überschüssige Halogenid ausgewaschen ist. Alternative Methoden zum Entsalzen sind das Ausflocken der Gelatine/Silberhalo-Mixtur mit organischen Verbindungen oder die Ultrafiltration an halbdurchlässigen Membranen, wo die kleinen Ionen ungehindert passieren, während die großen Gelatine-Kristallkomplexe festgehalten werden.

Die Lichtempfindlichkeit der so gereiften Emulsionen lässt noch schwer zu wünschen übrig: Zu viele latente Bilder entstehen im Inneren des Kristalls, wo der Entwickler nicht zupacken kann. Damit das Latentbild außen am Kristall entsteht, wird die Oberfläche behandelt - chemisch sensibilisiert, wie das heißt. Dabei hinterlassen Thiosulfat, Thioharnstoff oder Gold-Thiocyanat-Komplexe auf der Oberfläche Reifkeime in Form von Gitterdefekten. Das können Ag_2 -Keime sein, aber auch Ag_2S , AgAuS oder Au_2S . An diesen Reifkeimen kann sich bei der späteren Belichtung der Latentbildkeim bilden - frei zugänglich für den Entwickler. Durch die chemische Reifung wird die Lichtempfindlichkeit bis zum 50fachen gesteigert.

Die fotografisch wichtigsten Eigenschaften stehen jetzt fest. Die Lichtempfindlichkeit ist eine Funktion der Korngröße: Je kleiner die Kristalle, desto geringer die Empfindlichkeit und umgekehrt. Die Gradation wird dagegen von der Verteilung der Korngröße bestimmt. Sind alle Kristalle mehr oder minder gleich groß, dann reagiert die Schicht hart - Lithfilme sind ein Beispiel für diesen Typ. Eine breite Verteilung sorgt dagegen für eine weiche Gradationskurve.

"Die Kunst bei der Herstellung fotografischer Emulsionen besteht darin, die richtige Menge an Verunreinigungen im Kristall unterzubringen" kommentierte Trivelli 1929 in seinem Aufsatz "Versuch zu einer Hypothese des latenten Bildes". An diesem empirischen Ansatz hat sich, trotz wissenschaftlicher Erkenntnisse, bis heute nicht viel geändert.

Filmentwickler - Übersicht

Alle Entwickler sollen zunächst einmal das Gleiche tun. Sie sollen aus latenten, unsichtbaren Bildern stabile Silberbilder machen. Und daher enthalten alle Entwickler auch die gleichen Grundbestandteile: - Entwicklersubstanzen - Konservierungsmittel - Entwickleralkali - Verzögerungs- und Klärmittel - Entwicklerzusätze (worunter man alles verstehen darf, was sich in keine der anderen Rubriken einordnen lässt) - Wasser als Lösungsmittel.

Entwicklersubstanzen

Entwicklersubstanzen sind spezielle Reduktionsmittel, die zwischen belichteten und unbelichteten Silberhalogenidkristallen unterscheiden können. Unter Reduktionsmitteln versteht der Chemiker solche Stoffe, die Elektronen an andere Stoffe abgeben können. Das Reduktionsmittel, unsere Entwicklersubstanz, wird dabei oxidiert (gibt Elektronen ab). Die Silberionen nehmen die vom Entwickler abgegebenen Elektronen auf und werden zu metallischem (= sichtbarem) Silber reduziert. Diese Reaktion wird durch die Entwicklungskeime des latenten Bildes beschleunigt, die bei der Belichtung entstanden sind. Daher findet sie vor allem an den Stellen statt, wo Licht ein Silberhalogenid-Kristall getroffen hat. Es sind mehr als tausend verschiedene Entwicklersubstanzen bekannt. Davon haben sich etwa 15 durchgesetzt; fast ausschließlich Benzolderivate (siehe unten).

In vielen Entwicklerrezepturen werden zwei Entwicklersubstanzen kombiniert. Sie unterstützen sich im Idealfall in der Weise, dass sie schneller und stabiler arbeiten als die Einzelkomponenten. Dieses Phänomen nennt man Superadditivität. Kombinationen von mehr als zwei Entwicklersubstanzen sind unüblich, weil dadurch keine weitere Steigerung der Entwicklungsleistung mehr möglich ist. Die Konzentration beeinflusst bei allen Entwicklern das Tempo erheblich, und zwar in der Richtung, dass steigende Konzentrationen schneller entwickeln.

Entwicklersubstanzen als Reduktionsmittel reagieren nicht nur mit Silberionen, sondern auch mit Sauerstoff oder anderen Oxidationsmitteln, die ihnen gerade unterkommen (zum Beispiel in Bleichbädern). Die dabei entstehenden Entwickleroxidationsprodukte können nun ihrerseits mit Entwicklermolekülen reagieren. Diese Kettenreaktion würde sehr schnell zur Zersetzung des gesamten Entwicklers führen. Um das zu verhindern, sind in allen Entwicklern Konservierungsmittel enthalten. Das am weitesten verbreitete Stöfchen dieser Art ist Natriumsulfit (Na_2SO_3), andere sind Kaliumsulfit (K_2SO_3) und saure Sulfite wie Kaliumdisulfit ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$). Sie alle machen die Oxidationsprodukte des Entwicklers unschädlich, indem sie mit ihnen zu Sulfonaten reagieren. Dadurch wird die Selbstzersetzung des Entwicklers verhindert. In höheren Konzentrationen kann Natriumsulfit außerdem Silberbromid lösen, was man sich bei einigen Feinkornentwicklern zunutze macht, und beeinflusst den Farbton des Silberbildes.

Der pH-Wert macht's

Bei der Redox-Reaktion zwischen der Entwicklersubstanz und den Silberionen wechseln nicht nur Elektronen den Besitzer, auch Wasserstoffionen (=Protonen = H^+) werden in großem Umfang verschoben. Die Abgabe von Wasserstoffionen, auch Dissoziation genannt, ist ganz wesentlich vom pH-Wert der Lösung abhängig. Je höher der pH-Wert, umso höher der Dissoziationsgrad der Entwicklersubstanz. Das lässt sich einfach dadurch erklären, dass die von der Entwicklersubstanz abgegebenen Wasserstoffionen mit den im Überschuss vorhandenen OH^- -Ionen zu Wasser reagieren können ($\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$). Nur dissoziierte Entwicklermoleküle können mit Silberionen zu metallischem Silber reagieren, daher arbeiten alle Entwickler nur oberhalb eines bestimmten pH-Wertes. Die Wahl des Alkalis richtet sich

demnach weitgehend nach der verwendeten Entwicklersubstanz und der gewünschten Geschwindigkeit. Im Allgemeinen benutzt man:

- Ätzalkalien (pH 11-13) wie Natriumhydroxid (Ätznatron, NaOH) oder Kaliumhydroxid (Ätzkali, KOH) für schnell und hart arbeitende Entwickler.
- Karbonatalkalien (pH 9-11) wie Natriumkarbonat (Soda, Na₂CO₃) und Kaliumkarbonat (Pottasche, K₂CO₃) für Positiventwickler.
- Schwache Alkalien (pH 7,5-9) wie Natriumtetraborat (Borax, Na₂B₄O₇) und Natriummetaborat (Kodalk, NaBO₂) für Feinkorn- und Zweibadentwickler.

Entwickler mit hohem pH-Wert und aktiven Entwicklersubstanzen arbeiten so schnell, dass eine gezielte Steuerung des Entwicklungsprozesses nicht mehr möglich ist. Außerdem haben sie die hässliche Tendenz, auch unbelichtete Silberkristalle zu reduzieren, und damit einen Schleier über Film oder Papier zu ziehen. Diese Nachteile können durch Zusatz von Kaliumbromid (KBr) vermindert oder ganz vermieden werden. Neben Kaliumbromid werden noch organische Substanzen verwendet, Benzotriazol und Phenylmercaptotetrazol zum Beispiel. Die Wirkung der Antischleiermittel beruht darauf, dass sich Anionen (Br⁻ im Falle von KBr) um die Silberhalogenid-Kristalle lagern und damit den ebenfalls negativ geladenen Entwicklerionen den Zugang erschweren. Diese abstoßenden Kräfte wirken natürlich auf höher geladene Entwicklermoleküle wie Hydrochinon stärker. Entwicklungshemmung tritt besonders bei unbelichteten und schwach belichteten Kristallen auf. Damit unterdrücken die Klär-Mittelchen nicht nur den Grundsleier, sie senken auch die Empfindlichkeit. Kaliumbromid setzt man zwischen 0.5 und 2 Gramm pro Liter zu, bei den organischen Klärern reichen Mengen im Milligramm-Bereich (Benzotriazol 100, Phenylmercaptotetrazol 10-20 Milligramm/Liter).

Spezielle Zusätze für den letzten Schliff

Komplexierungsmittel binden Schwermetalle und reduzieren die Wasserhärte, indem sie Kalziumionen entfernen. Das erhöht die Haltbarkeit des Entwicklers. Am häufigsten verwendet werden EDTA (Ethylendiamin-tetraacetat) und Calgon, eine Mischung aus Natriumhexametaphosphat ((NaPO₃)₆) und Natriumpyrophosphat (Na₄P₂O₇).

Entwicklungsbeschleuniger sind vor allem Neutralsalze wie Kaliumnitrat (KNO₃) und Kaliumsulfat (K₂SO₄). Sie machen die Gelatine durchlässiger für Entwicklersubstanzen und Alkali. Organische Entwicklungsbeschleuniger wie Monoethanolamin und Phenylethylamin erniedrigen die negative Oberflächenladung der Silberhalogenid-Kristalle. Dadurch ist der Entwicklungskeim besser zugänglich.

Empfindlichkeitssteigernde Zusätze wie Hydrazinhydrochlorid und Hydrazinsulfat.

Netzmittel wie Natriumlaurylsulfat sorgen für eine gute Schichtbenetzung, indem sie die Oberflächenspannung des Wassers herabsetzen.

Benzol - die Mutter aller Entwickler

Alle modernen Entwicklersubstanzen leiten sich vom Benzol ab, dessen Grundgerüst, der sogenannte aromatische Ring, Ausgangsstoff für unzählige Verbindungen ist. Schon vor mehr als 100 Jahren erkannten die Gebrüder Lumiere, welcher Zusammenhang zwischen der Struktur einer organischen Verbindung und ihrem Entwicklungsvermögen besteht. Sie fassten diese Kenntnisse in ihren "Entwicklerregeln" zusammen. Die Wichtigsten davon sind:

1. Als Entwicklersubstanzen geeignet sind solche Benzolderivate, die entweder zwei Hydroxy-Gruppen, zwei Amin-Gruppen oder eine Hydroxy- und eine Amingruppe

enthalten.

2. Die beiden Gruppen müssen in ortho- (o-) oder para- (p) Stellung zueinander stehen. Die meta- (m-) Stellung ist unwirksam.
3. Die Wasserstoffatome der Amin-Gruppen können durch Alkyl-Gruppen ersetzt werden.

Aus diesen drei Regeln lässt sich die Struktur fast aller hier vorgestellten Entwicklermoleküle ableiten. Einzige Ausnahme ist das Phenidon, dessen Entwicklungsfähigkeit auf der Struktur der Pyrazolidin-Gruppe beruht, die an den Benzolring angehängt ist. Gebräuchlich sind vor allem:

- Metol (P-Methylaminophenol): weich arbeitender Entwickler mit guter Empfindlichkeitsausnutzung und hoher Kantenschärfe. Metol wird meist in Kombination mit anderen Entwicklern eingesetzt, und zwar sowohl bei der Positiv- als auch bei der Negativentwicklung.
- Phenidon (1-Phenyl-3-pyrazolidon): extrem weich arbeitender Entwickler mit guter Empfindlichkeitsausnutzung und mäßiger Konturenschärfe. Phenidon kann in allen Entwicklerkombinationen das Metol ersetzen und wird aufgrund seiner geringen Bromidempfindlichkeit gerne in Spezialentwicklern eingesetzt.
- Hydrochinon (P-Dihydroxybenzol): normal bis hart arbeitende Substanz mit schlechter Empfindlichkeitsausnutzung, arbeitet erst ab etwa pH 10. Hydrochinon arbeitet bei geringem Sulfitzusatz (ca. 2 Gramm / Liter) extrem kontrastreich und wird dann vor allem als Lithentwickler verwendet.
- Brenzkatechin (O-Dihydroxybenzol): weich arbeitender Entwickler mit hohem Ausgleichsvermögen. Brenzkatechin kann in sulfitarms entwickelnden Entwicklern die Gelatine gelben und erzeugt dann Reliefbilder. Entwickelt bräunliche Bildtöne.
- P-Aminophenol: im Kontrastverhalten abstimmfähiger Entwickler mit sehr hoher Kantenschärfe. Mit Ätzalkalien sind sehr hochkonzentrierte Einmalentwickler herstellbar (zum Beispiel Rodinal).
- Glycin (P-Hydroxyphenylglycin): als alleinige Entwicklersubstanz kaum mehr verwendet. Glycin benutzt man in Verbindung mit Hydrochinon zur Herstellung warmtonig arbeitender Positiventwickler. Außerdem als Zusatz zu Feinstkornentwicklern, um die Entwicklung ohne Kornvergrößerung zu beschleunigen.
- N-Hydroxyethyl-o-aminophenol: Wird in verschiedenen Feinkorn-Entwicklerkombinationen eingesetzt. Liefert die höchste Empfindlichkeitsausnutzung und ist gleichzeitig ein echter Feinkornentwickler.

Heute praktisch nicht mehr verwendet wird P-phenylendiamin, da es eine geringe Empfindlichkeitsausnutzung zeigt und sehr giftig ist. Viele Derivate des P-phenylendiamins sind in Farbentwicklern enthalten und können für die chromogene Entwicklung verwendet werden.

Die gebräuchlichsten Kombinationen sind Metol-Hydrochinon und Phenidon-Hydrochinon. Diese zeigen Superadditivität und werden in sehr vielen Industrierezepturen eingesetzt. Sie entwickeln in kurzer Zeit zu hoher Deckkraft (Hydrochinon), gepaart mit Metol- oder Phenidon-Eigenschaften wie hoher Empfindlichkeitsausnutzung und geringer Bromidempfindlichkeit.

Feinkornentwickler

Über den richtigen Entwickler sollten Sie nicht erst nachdenken, wenn Sie den belichteten Film aus der Kamera holen. Vor allem, wenn feinkörnige Negative auf Ihrer Wunschliste stehen, müssen Sie schon vorher die richtige Wahl treffen. Denn drei Faktoren mischen mit, wenn es um feines oder grobes Korn geht: die Emulsion, die Belichtung und die Entwicklung.

Auf die Emulsion haben Sie nur insofern Einfluss, als Sie sich aus einem breiten Angebot den geeigneten Film herauspicken können. Nach wie vor gilt die Grundregel, dass Feinkörnigkeit und hohe Empfindlichkeit kaum unter einen Hut zu bringen sind. Hohe Empfindlichkeit erfordert große Kristalle, die aber entwickeln zu großen, sprich groben, Silberkörnern.

T-Grain und Co.

Die Hersteller haben mit Core-Shell- und T-Grain-Emulsionen versucht, der Physik ein Schnippchen zu schlagen. Flache Kristalle mit großer Oberfläche und kleinem Volumen sorgen bei den 400ern T-Max, Delta oder Neopan für ein Korn, das vor ein paar Jahren noch jedem 100er zur Ehre gereicht hätte. Doch alles hat seinen Preis, und selbst die Newcomer von Kodak, Ilford und Fuji müssen steigende Empfindlichkeit mit größerem Korn bezahlen. Deshalb sollte man die Filmempfindlichkeit generell so niedrig wählen, wie es die Aufnahmesituation eben noch zulässt.

Auch die Belichtung, die Sie dem Film angedeihen lassen, wirkt sich auf die Körnigkeit des Negativs aus. Bei knapper Belichtung entsteht ein entwickelbares, latentes Bild nur in den obersten Schichten der Emulsion. Je fetter Sie belichten, desto mehr Silberkörner werden auch in den tieferen Schichten gebildet und die Gefahr einer inhomogenen Verteilung, die für den körnigen Eindruck verantwortlich ist, steigt.

Bevor Sie mit dem Entwickeln beginnen, sind wesentliche Entscheidungen in Sachen Korn also schon gefallen. Ein Feinkornentwickler kann daher das Korn nur im abgesteckten Rahmen so fein als möglich halten. Ist die Körnerwüste durch reichliche Belichtung einer schnellen Emulsion vorprogrammiert, dann kann auch der beste Entwickler nichts mehr ausrichten.

Fein- und Feinstkornentwickler zeichnen sich dadurch aus, dass sie die Entwicklungskeime nicht nur chemisch, sondern auch physikalisch entwickeln. Fein(st)kornentwicklung ist eine halbphysikalische Entwicklung! Das stellen bei allen Mitgliedern der Zunft vor allem zwei Dinge sicher: die geringe Alkalität - der pH-Wert liegt unter 9 - und die Fähigkeit, Silberhalogenide zu lösen.

Als Alkali werden Borate und Karbonate verwendet, die bei den erwünschten pH-Werten zwischen 8 und 9 wesentlich besser puffern als verdünnte Ätzalkalien. Der pH-Wert ist aus zwei Gründen von Bedeutung. Zum einen arbeiten die meisten Entwicklersubstanzen bei höherem pH so schnell, dass alle Entwicklungskeime chemisch durchentwickelt sind, bevor eine ausreichende physikalische Entwicklung stattfinden kann. Andererseits lassen Ätzalkalien die Gelatine stark quellen und damit weich werden. Dadurch sind die Silberpartikel in der Matrix beweglicher und können Aggregate bilden, die als grobes Korn unangenehm auffallen.

Der Unterschied von Fein- und Feinstkorn

Der Hauptunterschied zwischen Fein- und Feinstkornentwicklern liegt nicht in der Körnigkeit, wie man meinen könnte. Hier sind die Übergänge fließend: Ein gut abgestimmter

Feinkornentwickler wie Ultrafin SF erreicht durchaus das Niveau der Feinstkorn-Kollegen. Der Unterschied liegt vielmehr in der Rezeptur:

- Feinkornentwickler enthalten viel Sulfid (85-100 Gramm pro Liter) - genug um so viel Silber aus dem Silberbromid-Kristall zu lösen, dass eine physikalische Entwicklung stattfindet. Ein niedriger pH-Wert bremst die Entwicklungsgeschwindigkeit. Sonst kann während der Entwicklungszeit nicht genügend Silber gelöst werden - rein chemische Entwicklung und damit gröberes Korn sind die Folge.

Bei richtig abgestimmter Aktivität hat die Art der Entwicklersubstanz nur geringen Einfluss auf die Körnigkeit. Üblicherweise verwendet man die superadditiven Kombinationen Metol-Hydrochinon oder Phenidon-Hydrochinon, wie bei D-76 (Metol-Hydrochinon) und Microphen (Phenidon-Hydrochinon).

- Feinstkornentwickler enthalten neben Sulfid noch weitere Silberbromid-lösende Substanzen, um die physikalische Entwicklung gegenüber der chemischen zu verstärken. Gebräuchliche Silberlösemittel sind Kalium- und Natriumrhodanid (=Thiocyanat), Natriumthiosulfat, Ammoniumchlorid oder Alkanolamine (Diethanolamin beispielsweise).

Diese Substanzen müssen in ihrer Aktivität der Entwicklungsgeschwindigkeit angepasst werden. Wird mehr Silber gelöst als zur Entwicklung erforderlich, diffundieren die Ionen ins Blaue und Filmempfindlichkeit und Maximaldichte gehen in den Keller. Microdol X oder Perceptol sind Vertreter dieses Entwicklertyps, der mit Metol als alleiniger Entwicklersubstanz arbeitet.

Bei den "klassischen" Feinstkornentwicklern dient die Entwicklersubstanz selbst als Silberlösemittel. Nur p-Phenylendiamin, o-Aminophenol und einige ihrer Derivate vermögen Silberbromid in ausreichender Menge zu lösen. Heute werden, wegen der hohen Giftigkeit der Ausgangssubstanzen, nur noch Derivate verwendet; beispielsweise N-Hydroxyethyl-o-aminophenol (in Promicrol) oder die vom p-Phenylendiamin abstammenden Farbentwicklersubstanzen (im Orwo A49).

Der Preis für feines Korn

Besonders feines Korn dürfen Sie erwarten, wenn Sie den Film knapp belichten und in einem Fein(st)kornentwickler zu einem Betawert zwischen 0.55 und 0.65 entwickeln. Größer sollte der Negativkontrast keinesfalls sein. Kopieren Sie flauere Negative lieber auf hartes Papier als die Negativentwicklung zu pushen.

So auf feines Korn getrimmte Negative glänzen selten durch knackige Kontraste. Daher nährt sich wohl auch das Märchen, das Feinstkornentwicklern eine schlechte Schärfeleistung nachsagt. Hier werden offensichtlich Schärfe und Kontrast verwechselt, denn manche Feinkornentwickler, wie Microdol X, bringen mit die beste Schärfewiedergabe überhaupt.

Eine hohe Empfindlichkeit lässt sich dagegen mit Feinkornentwicklern nicht aus der Emulsion herausholen. Die Gründe sind offensichtlich: physikalisch entwickelte Silberkörner gleichen kompakten Klümpchen. Bei gleicher Silbermenge ist deren Deckkraft deutlich geringer als die des grobkörnig wirkenden Silberknäuels, das bei der chemischen Entwicklung entsteht. Empfindlichkeitsausnutzung und maximale Dichte nehmen deshalb ab.

Dem wirken Entwicklersubstanzen wie Phenidon-Hydrochinon oder N-Hydroxyethyl-o-aminophenol entgegen, die auch schwach belichtete Silberkörner entwickeln - was man sich bei Ultrafin SF oder Atomal zunutze macht.

Ein "Korn" ganz anderer Art ist das sogenannte Runzelkorn. Dabei handelt es sich um kleine Risse in der Gelatinematrix, die durch Temperatursprünge bei der Verarbeitung entstehen.

Aber auch Runzelkörner springen unangenehm ins Auge. Sie sollten daher auf die Temperierung der Bäder achten, auch wenn die heutigen Emulsionen sehr tolerant gegen Temperatursprünge sind.

Vor allem bei Abzügen vom Kleinbild-Negativ hat ein Korn zu viel schon manchem zu schaffen gemacht. Je größer der Abbildungsmaßstab, desto unangenehmer macht sich grobes Korn bemerkbar. Für Prints im Posterformat sollte man daher schon bei der Filmentwicklung alle Parameter streng auf Feinkorn-Kurs halten. Lloyd Varden, ein amerikanischer Fotochemiker, hat Freunden des feinen Kornes seine "Five factors for fine grain" ins Notizbuch geschrieben:

- Niedrigempfindlicher Film
- Knappe aber ausreichende Belichtung
- Fein(st)kornentwickler
- Negativ-Kontrast (β -Index) maximal 0.65
- Alle Bäder und Trockenluft gleiche Temperatur

Das war 1940. Auch heute, im Zeitalter der T-Max-Brothers, ist dem eigentlich nichts hinzuzufügen.

Chemische und physikalische Entwicklung

Bei jedem fotografischen Entwickeln werden Silberionen zu metallischem Silber reduziert. Nach der Herkunft der Silberionen unterscheidet man zwischen chemischer und physikalischer Entwicklung.

Bei der chemischen Entwicklung kommen die Silberionen aus dem Kristallgitter des Silberhalogenid-Kristalls; bei der physikalischen Entwicklung kommen sie als freie Ionen aus der Entwicklerlösung. Die Art der Entwicklung hat großen Einfluss auf die Struktur des entwickelten Silbers: Physikalisch entwickeltes Silber hat die Form feiner Klümpchen und wirkt feinkörniger als die Knäuel aus Silberfäden, die bei der chemischen Entwicklung entstehen.

Kollodiumplatten, die in Ihrer Schicht gelöstes Silbernitrat (und damit freie Silberionen) enthalten, werden rein physikalisch entwickelt. Aber auch die Kontrastverstärkung von Negativen nach dem Fixieren beruht auf diesem Prinzip: Silberionen aus dem silbernitrat-haltigen Entwickler lagern sich an schon vorhandenes Silber an. Die Fähigkeit der Fein- und Feinstkornentwickler zur physikalischen Entwicklung beruht nicht darauf, dass die Rezeptur Silbersalze enthält, sondern auf Ihrem Silberlösevermögen. Im Klartext heißt das, sie sind in der Lage, geringe Mengen von Silberionen aus den Silberhalogenid-Kristallen herauszulösen, die sich in einem weiteren Schritt an Entwicklungskeime anlagern.

Was ist Korn?

Körnigkeit ist ein visueller Eindruck, der dadurch entsteht, dass eine einheitliche Fläche nicht durch vollkommen gleichmäßige Silberablagerungen dargestellt wird. Bei entsprechender Vergrößerung sind Regionen unterschiedlicher Silberdichte zu erkennen, vor allem im Bereich mittlerer Dichte. Der Eindruck von Körnigkeit ist von zwei Faktoren abhängig: der Größe und der Verteilung der Silberkörner. Den feinsten Eindruck hinterlassen gleichmäßig verteilte Körner uniformer Größe. Unterschiedliche Größe und unregelmäßige Verteilung der Partikel lassen das Korn gröber erscheinen.

Das Feinkorn- Who is Who

Fein- und Feinstkornentwickler lassen sich in vier Gruppen unterteilen:

Feinkornentwickler auf Metol-Hydrochinon-Basis

- Kodak D-76
- Ilford ID-11 (identisch mit D-76)
- Orwo 19 (identisch mit D-76)
- Tetenal Ultrafin liquid

Feinkornentwickler auf Phenidon-Hydrochinon-Basis

- Ilford Microphen
- Agfa Atomal FF
- Tetenal Ultrafin SF

Feinstkornentwickler mit Silberlösemittel

- Kodak Microdol X
- Ilford Perceptol (identisch mit Microdol X)
- CG-Chemie 512-Spezial
- Kodak DK-20

Klassische Feinstkornentwickler

- Agfa Atomal
- May & Baker Promicrol
- Orwo A-49

Rezepturen für Fein- und Feinstkornentwickler

D-76

Metol 2 g
Hydrochinon 5 g
Natriumsulfit sicc. 100 g
Natriumtetraborat (Borax) 2 g
Calgon 2 g
Wasser auf 1 l

Promicrol

N-Hydroxyethyl-o-aminophenol 6 g
Glycin 1.2 g
Natriumsulfit sicc. 100 g
Natriumkarbonat (Soda) sicc. 11.5 g
Calgon 1.7 g
Wasser auf 1 l

Viele Feinstkorn-Entwicklersubstanzen sind entweder nicht im Handel oder giftig. Daher hat Karl Neumeier einen eigenen Feinstkornentwickler kreiert, der auf der Farentwicklersubstanz T 32 basiert und den Namen **GT 320** erhielt. Hinter dem Kürzel T32 verbirgt sich der Zungenbrecher N-Ethyl-, N-Hydroxyethyl-p-Phenylendiamin; im Handel meist als schwefelsaures Salz mit eingelagertem Kristallwasser (kenntlich durch den Anhang -sulfat-Monohydrat).

GT 320

Calgon 2 g

Natriumsulfit 100 g

Glycin 1.5 g

T32 5 g

Kaliumkarbonat sicc. 7 g

Wasser auf 1 l

Lösen Sie die Substanzen in der angegebenen Reihenfolge in 800 Millilitern Wasser auf. Kontrollieren Sie den pH-Wert - er sollte zwischen 8.7 und 9 liegen - und füllen dann auf einen Liter auf.

Verglichen mit ID-11 nützt der GT-320 die Empfindlichkeit etwas besser aus, hat wesentlich feineres Korn und ist in der Schärfeleistung fast ebenbürtig. In der Disziplin Korn findet er in Perceptol seinen Meister - bei fast 6 DIN mehr Empfindlichkeit ist das jedoch leicht zu verschmerzen.

Schärfeentwickler

Erfahrene Laboranten wissen, wie auch bei leicht unscharfen Bildern noch etwas zu retten ist: Sie ziehen auf hartes Papier ab. Tatsächlich wirkt ein harter Abzug schärfer als einer, der vom gleichen Negativ auf normales oder weiches Papier geprintet wurde. Das wirft die banale Frage auf: Was ist das eigentlich, Schärfe? Messen lässt sie sich nur bedingt, denn Schärfe hat auch eine sehr subjektive Komponente. Exakt lassen sich bestenfalls ein paar Parameter bestimmen, die zum Schärfeeindruck beitragen: Auflösungsvermögen und Modulation beispielsweise.

Völlig aufgelöst

Das Auflösungsvermögen eines Films bestimmt man, indem man ein Linienmuster aufbelichtet. Lichtstrahlen werden an der Grenzfläche Luft/Emulsion gebrochen oder vom Trägermaterial des Films reflektiert. Bei der Belichtung des Linienmusters führt das dann dazu, dass auch zwischen den Linien eine Reihe von Silberhalogenidkristallen belichtet wird. Ab einer bestimmten Liniendichte werden die Zwischenräume nicht mehr weiß wiedergegeben. Die Zahl der Linienpaare, die noch getrennt abgebildet werden können, bezeichnet man als Auflösungsvermögen.

Die Streuung nimmt mit der Größe der Kristalle, und mithin der Filmeempfindlichkeit, zu. Ebenso wird natürlich bei zunehmender Belichtung mehr Licht gestreut. Minimal bleibt die Streuung daher, wenn man einen niedrigempfindlichen Film moderat belichtet. Das hat den angenehmen Seiteneffekt, auch das Filmkorn klein zu halten.

Doch ein hohes Auflösungsvermögen allein garantiert noch keine Schärfe. Ein SW-Film löst rund 150 Linienpaare pro Millimeter auf; einen Schärferückgang registrieren wir aber erst, wenn die Auflösung auf Werte zwischen 20 und 30 Linienpaare sinkt. Eine Holografieplatte schafft deren 2000 bis 3000 - und wirkt dabei unschärfer als jeder SW-Film. Wie kommt's? Jetzt tritt die Modulation auf den Plan. Unser Wahrnehmungssystem Auge/Gehirn ist für Helligkeitsänderungen viel empfindlicher als für konstante Lichtwerte. Es gaukelt uns bei hohen Dichteunterschieden und einem steileren Übergang ein größeres Auflösungsvermögen vor. Beides wird durch eine harte Papiergradation gesteigert, deshalb wirkt ein harter Abzug subjektiv schärfer.

Scharfe Negative für scharfe Bilder

Ist ultrahartes Papier also ein Wundermittel für Schärfefanatiker? Wohl kaum, denn die Hardliner aus dem Papierregal glänzen nicht gerade durch feine Tonwertwiedergabe und sägen dadurch am anderen Standbein feiner Schwarzweiß-Prints. Optimal scharfe Abzüge lassen sich nur aus optimal scharfen Negativen herausholen - und das ohne beinharte Papiergradationen.

Wie kommt man zu solchen Negativen? Man macht sich den sogenannten Kanteneffekt zunutze. Der steigert an den Stellen des Bildes, wo Bereiche sehr unterschiedlicher Belichtung aneinander grenzen, den Kontrast, ohne flächige Strukturen wesentlich zu beeinflussen. Wieweit sich der Kanteneffekt aber tatsächlich schwarz auf weiß in der Emulsion bemerkbar macht, hängt vom Entwickler und vom Verarbeitungsprozess ab. Gemäß der alten Bauernregel, nach der weniger manchmal mehr ist, sind gute Schärfeentwickler "dünne Suppen". Und das aus mehreren Gründen:

- Die Entwicklersubstanz soll sich in den hohen Bilddichten rasch erschöpfen, darf also nicht hoch konzentriert sein. Die Endkonzentrationen liegen zwischen 0.1 und 1

Gramm pro Liter.

- Der pH-Wert soll lokal stark absinken können und dadurch die Entwickleraktivität verringern. Das erreicht man durch eine geringe Pufferkapazität - stark verdünnte Karbonat- oder Ätzalkalien sind gefragt.
- Bromid soll die Entwicklung lokal hemmen. Damit überhaupt bemerkbare lokale Konzentrationsunterschiede auftreten können, muss die Bromidkonzentration im Entwickler gering sein.
- Entwickleroxidationsprodukte können, je nach Entwicklersubstanz, die Entwicklung verzögern oder beschleunigen. Um sich diese "Abfallstoffe" zum Bremsen nutzbar zu machen, muss man einerseits zur richtigen Entwicklersubstanz greifen (Metol oder p-Aminophenol), andererseits die Sulfitkonzentration so niedrig halten, dass nicht alle oxidierten Moleküle als Sulfonate aus dem Verkehr gezogen werden.

Gehen bei der Filmauswahl und -belichtung Schärfe und Feinkörnigkeit noch Hand in Hand, so trennen sich die Wege bei der Entwicklung: Fein(st)kornentwickler mit ihren hohen Sulfitkonzentrationen und Silberhalogenid-Lösemitteln sieben ihr feines Korn deutlich auf Kosten der Schärfe. Dafür hinterlassen die wässrigen Schärfeentwickler ziemliche Brocken in der Emulsion. Welchen Weg schlagen die einzelnen Entwickler an dieser Kreuzung ein? Ein Blick auf die Rezepturen gibt Aufschluss:

- Phenidon-Hydrochinon-Entwickler zeigen überhaupt keinen Kanteneffekt. Phenidon ist selbst in Spuren noch sehr wirksam und kaum so zu dosieren, dass es schnell ausgelaugt werden kann. Außerdem ist es extrem bromid- und pH-unempfindlich. Microphen, T-Max-Entwickler, Ultrafin plus und Konsorten halten zwar das Korn klein, können im Fach Schärfe aber keine Meriten ernten.
- Metol-Hydrochinon-Entwickler, wie D-76 oder ID-11, sind kaum besser. Zwar kann der Kanteneffekt hier durch Verdünnung des Entwicklers geringfügig gesteigert werden - trotzdem ist Schärfeentwickeln nicht ihr Metier.
- Reine Metol-Sulfit-Entwickler, Microdol X oder CG-512 beispielsweise, lassen sich da schon besser abstimmen. Bei 1+3- oder 1+4-Verdünnung zeigen sie bereits einen ausgeprägten Kanteneffekt. Als Feinstkornentwickler, als die sie eigentlich konzipiert wurden, müssen sie dafür im verdünnten Zustand Federn lassen. **Sie gehen den goldenen Mittelweg zwischen Schärfe und Feinkörnigkeit.**

Zwei Spezialisten

Den stärksten Kanteneffekt und damit die beste Bildschärfe bringen Schärfeentwickler wie Agfas Rodinal oder Neofin aus dem Hause Tetenal - ohne Rücksicht auf Verluste. Während im Neofin Metol als Entwicklersubstanz tätig ist, macht im Rodinal p-Aminophenol den Job.

Rodinal wird von Haus aus 1+50 verdünnt. Je nach Art des Films können aber auch anders konzentrierte Ansätze benutzt werden. Agfa gibt im Beipackzettel die Verdünnung 1+25 an. Das hält die Verarbeitungszeiten kurz, sollte aber nur T-Grain- oder Core-Shell-Emulsionen zugemutet werden. Andere Filme, vor allem hochempfindliche, reagieren mit wilden Körnerwüsten. Agfapan, FP- 4 und Kollegen entwickelt man deshalb besser in der 1+50-Verdünnung und verlängert die Entwicklungszeit entsprechend. Agfaortho und Agfapan 25 sollte man sogar mit einer 1+100-Verdünnung verwöhnen. Dann ist die Schärfe absolut konkurrenzlos. Neofin kommt ohne den ganzen Verdünnungs-Poker aus: 1+20 hilft für alle Gelegenheiten. Dafür bietet Tetenal eine ganze Modellreihe an: Neofin rot für mittel- und hochempfindliche Filme, Neofin blau für die niedrigempfindlichen Uhus (unter hundert ISO)

und Neofin doku zur Entwicklung von orthochromatisch sensibilisierten Filmen wie Technical-Pan und Agfaortho.

Genau wie eine hohe Entwicklerkonzentration unterdrückt auch eine kräftige Bewegung das Auftreten von Kanteneffekten. Wird eine stark belichtete Stelle ständig mit frischem Entwickler umspült, dann ist ein lokales Auslaugen unmöglich. Deshalb sollte man, will man rasiermesserscharfe Negative, Kleinbild- oder Rollfilme nur einmal pro Minute kippen und auf keinen Fall bei ständiger Rotation entwickeln. Ganz ohne Bewegung geht es allerdings auch nicht. Zumindest dann nicht, wenn der Film senkrecht steht, wie in der Dose oder im Planfilm-Entwicklungstank der Fall. Sonst kann es zu sogenannten Bromidabläufen kommen: An Stellen intensiver Belichtung entsteht viel metallisches Silber und in seinem Gefolge auch viel Bromid. Das kann in der Lösung nach unten sinken und hemmt dort die Entwicklung - helle Streifen auf dem Negativ sind die Folge. Höchstens Planfilmen oder Glasplatten darf man beim Entwickeln absolute Ruhe verordnen - liegend in der Schale. Das sorgt für einen sehr ausgeprägten Kanteneffekt und mithin für optimale Schärfe.

Ende der Legende

Die sogenannte Schichtoberflächenentwicklung, Lieblingskind vieler Autoren, trägt dagegen kein Scherflein zum Schärfeeindruck bei. Warum nicht? Weil es sie bei der Filmentwicklung schlicht und einfach nicht gibt. Schloemann und Trabert beschrieben dieses Phänomen für Fotopapier. Im Laufe der Zeit wurde es, nach dem Prinzip "Stille Post", auch auf Filme übertragen. Zu unrecht. Eine Entwicklersubstanz, gleich welche, benötigt drei bis fünf Sekunden um durch die gesamte Emulsion zu diffundieren. Das Entwickleralkali, das den Entwickler aktiviert, braucht deren 40 bis 60. Von Schichtoberflächenentwicklung kann man also nur dann reden, wenn die gesamte Entwicklungszeit diese 60 Sekunden nicht übersteigt - wie das bei den meisten Papierentwicklern der Fall ist. Bei den für Filme üblichen Entwicklungszeiten zwischen fünf und zwanzig Minuten spielt dieser Effekt jedoch keine Rolle. Alle Filmentwickler sind Schichttiefenentwickler!

Das Who is Who der Schärfentwickler – Rodinal und die Panzerknacker

Einmalentwickler auf Metol-Basis

- Tetenal Neofin blau
- Tetenal Neofin rot
- Tetenal Neofin doku

Einmalentwickler auf p-Aminophenol-Basis

- Agfa Rodinal
- Orwo R-09
- Tetenal Paranol

Rezepturen für Schärfentwickler

Mehr als 50 Jahre wurde die **Rodinal**-Rezeptur gehütet wie ein Staatsgeheimnis - bis 1945 die Alliierten die Panzerschränke der Agfa in Wolfen plünderten. Seitdem ist sie im Bericht des "Combined Intelligence Objectives Sub-Committee" nachzulesen.

Wasser 75 ml
p-Aminophenol 5.5 g
Kaliumsulfid sicc. 4 g
Kaliumhydroxid 4 g
Kaliumbromid 1 g

Na₄EDTA 2 g
Wasser auf 100 ml

Verwenden Sie freies p-Aminophenol, kein -hydrochlorid. Das ist billiger und besser. Kaliumhydroxid lösen Sie am besten zunächst in vier Millilitern Wasser und setzen es dann zu. Erst jetzt, im alkalischen Milieu, geht das p-Aminophenol in Lösung.

Die exakte **Neofin**-Rezeptur ist und bleibt Firmengeheimnis von Tetenal. Folgendes Rezept aus Willi Beutlers "Dunkelkammerpraxis" dürfte Neofin blau aber recht nahe kommen und darf als typischer Vertreter der extrem dünnen Einmalentwickler gelten:

Metol 1 g
Natriumsulfit sicc. 5 g
Natriumkarbonat sicc. 5 g
Wasser auf 1.2 l

Was ist Schärfe?

Film, Auge und Gehirn gaukeln uns falsche Tatsachen vor, wenn es um die Schärfe des Objektes geht. Doch wir profitieren davon: Manche Dinge sehen wir schärfer, als sie eigentlich sind.

Wenn wir einen Gegenstand fixieren, dann macht das Auge winzige Bewegungen - hin und her, 50mal in der Sekunde. Wir merken das nicht, weil das Gehirn dieses Zittern bei der Bilderstellung mitberechnet.

Die Sehzellen des Auges reagieren weniger auf einen absoluten Lichtwert als auf Helligkeitsänderungen. Durch die Hin- und Herbewegung des Auges wird beim Betrachten einer Kante die gleiche Sehzelle immer wieder über den Dichtesprung geführt und dadurch überproportional stark gereizt. Gleichzeitig unterdrückt sie Informationen, die Nachbarzellen zum Gehirn senden. Durch diese laterale Inhibition wird der Kontrast nochmals verstärkt.

Auch der Kanteneffekt in fotografischen Emulsionen sorgt für eine lokale Kontrastverstärkung. Wie er entsteht, lässt sich am besten an einer aufbelichteten Stufe erklären: ein Teil eines Filmstücks erhält viel, der andere sehr viel weniger Licht.

Durch Beugung und Brechung des Lichts in der Emulsion wird die effektive Belichtung weniger steil. Entwickelt man dieses Filmstück, findet im belichteten Teil eine starke Entwicklungsreaktion statt; Entwickler wird verbraucht und entwicklungshemmende Nebenprodukte (Bromid, oxidiertes Entwickler) entstehen - die Entwicklung wird verlangsamt.

Lediglich am äußersten Rand kann frischer Entwickler aus der wenig belichteten Region nachdiffundieren hier wird die Dichte am höchsten. Umgekehrt tauchen Bromid und Entwickleroxidaionsprodukte in die Gegend geringer Belichtung ab und hemmen dort die ohnehin schwache Entwicklung. Das führt zur lokalen Kontrastverstärkung. Eine weiße Linie um hohe Dichten herum verdankt ihre Existenz dieser Tatsache. Man nennt sie Mackie-Linie.

Ein Spezialfall des Kanteneffekts ist der sogenannte Eberhardt-Effekt (nach Gustav Eberhardt, der das Phänomen 1912 zum ersten Mal beschrieb): Ist eine Struktur sehr fein, dann kann sich der Kanteneffekt über die ganze Breite entfalten. Dadurch werden, bei gleicher Belichtung, feine Linien dichter wiedergegeben als größere Flächen.

Dichteunterschied und Gradation lassen sich mit Hilfe komplizierter Formeln auch als Zahlen ausdrücken: als Modulation oder, davon abgeleitet, als Modulationsübertragungsfunktion (MTF, vom englischen Modulation Transfer Function). Je größer die Modulation, desto schärfer der Eindruck. Aber nur, wenn diese Modulationserhöhung auch in dem

Ortsfrequenzbereich (das ist die Zahl der Linienpaare pro Millimeter) stattfindet, den unser Auge noch wahrnimmt.

Pushentwickler

Wer jemals mit dem Teleobjektiv auf Fotopirsch war, kennt das Problem: Lange Tüten erfordern kurze Belichtungszeiten - und das bei der ohnehin geringen Lichtstärke der Objektive. Trotz hochempfindlicher Filme steht man da schnell vor der Frage: Verwackeln oder unterbelichten. Für den Selbstverarbeiter liegt die Antwort auf der Hand: Während er mit verwackelten Aufnahmen allenfalls seinen Papierkorb tapezieren kann, hilft er unterbelichteten Filmen mit ein bisschen Know-how und dem richtigen Entwickler auf die Sprünge. Empfindlichkeitssteigernde Entwicklung empfehlen die Verfasser schlauer Fotobücher, der Praktiker spricht weniger respektvoll von Pushen.

Die Korngröße entscheidet

Wie genau muss man sich an die angegebene Filmempfindlichkeit halten? Auf Beipackzetteln protzen die Hersteller schon mal mit Steigerungen von 12 DIN und mehr; frei nach dem Motto: "Der Entwickler wird's schon richten." Dabei haben sie die Empfindlichkeit durch die Größe der verwendeten Kristalle selbst festgeklopft. Denn die Korngröße entscheidet über die maximale Lichtempfindlichkeit; vergleichbar dem Hubraum bei der Motorleistung. Ein 1200er Käfermotor bringt nie die Leistung eines Sechsliter-Motors von Ferrari - auch Benzin mit dreistelliger Oktanzahl hilft da nichts. Genauso wenig wird ein niedrigempfindlicher Film durch einen Turbo-Entwickler available-light-tauglich.

Licht macht Silberhalogenid-Kristalle entwickelbar, vorausgesetzt, die Treffer-Quote war hoch genug. Denn genug Photonen (=Lichtteilchen) müssen einen Kristall treffen, damit ein stabiler Entwicklungskeim entsteht. Die erforderliche Mindestzahl ist von Emulsion zu Emulsion verschieden. Sie legt die effektive Empfindlichkeit fest. Bei vergleichbarer Korngröße ist diese Quantenausbeute in den letzten Jahren deutlich gesteigert worden - weniger Lichttreffer reichen zur Keimbildung aus. Außerdem wurden Core-Shell-Kristalle als "Lichtfalle" konzipiert: Sie haben eine große Oberfläche bei kleinem Volumen. Dadurch nutzen sie die Empfindlichkeit gut aus, ohne zu riesigen Körnerwüsten zu werden. Und je größer die Oberfläche, desto höher die Wahrscheinlichkeit, dass ein Photon im Kristall einschlägt. Der simple Zusammenhang "Je größer das Korn, desto höher die Empfindlichkeit" gilt für Tmax und Co. genauso, wie für die Oldtimer Tri-X oder HP-5 plus

Was aber tut der Entwickler? Der sorgt dafür, dass die durch Korngröße und Quantenausbeute vorgegebene Empfindlichkeit ausgenutzt wird - oder auch nicht. "Chemische Belichtung" durch wundersame Entwicklersubstanzen darf man jedenfalls keine erwarten.

Theoretisch reichen vier Lichtquanten, um ein Korn entwickelbar zu machen. Am Empfindlichkeitszentrum muss sich mindestens ein Ag4-Komplex bilden, damit der Entwickler überhaupt eine Chance hat, das Halogenid-Korn zu Silber zu reduzieren. Einigen Entwicklern reicht ein solcher Ag4-Komplex aus. Die etwas schlapperen Wässerchen fangen erst bei Ag6- oder Ag8-Komplexen an - entsprechend geringer ist dann die Empfindlichkeitsausnutzung.

Eine Blende geht immer

Um einem unterbelichteten Film doch noch ein vernünftiges Silberbild zu entlocken, muss der Entwickler auch schwachbelichtete Kristalle zu Silber reduzieren. Die reagieren jedoch nur geringfügig schneller als solche, die ewigem Dunkel ausgesetzt waren. Werden die unbelichteten Kristalle aber auch reduziert, steigt der Schleier schnell an. Dadurch geht die Schattenzeichnung verloren und die Empfindlichkeit, die ja als 0.1 Dichteeinheiten über Schleier definiert ist, nimmt wieder ab. Die Katze beißt sich in den Schwanz.

Entwickler mit hoher Empfindlichkeitsausnutzung müssen also gut zwischen schwach belichteten und unbelichteten Kristallen unterscheiden können. Dazu bieten sich eine Reihe geeigneter Zutaten an:

- Entwicklersubstanzen oder -kombinationen, die kräftig arbeiten, wie Metol-Hydrochinon, Phenidon-Hydrochinon, N-Hydroxyethyl-o-aminophenol oder die Farbentwickler CD-1 und T32.
- pH-Werte zwischen 8.5 und 10, je nach Zusammensetzung des Entwicklers. Dort ist das Redoxpotential der Entwicklerlösung hoch genug, um auch Entwicklungskeime mit kleinem Zentrum zu Edelmetall zu machen und noch nicht so hoch, dass zu viele unbelichtete Kristalle reduziert werden.
- Möglichst geringe Mengen von Antischleiermitteln wie Kaliumbromid oder Benzotriazol. Ganz zu vermeiden sind sie meistens nicht, vor allem Phenidon-Hydrochinon-Entwickler müssen gezügelt werden.
- Empfindlichkeitssteigernde Zusätze, wie Diethanolamin (20-80g/l) oder Hydrazin (1-2 g/l). Wie diese Substanzen genau wirken, ist unklar. Klar ist nur, dass alle Amine, so auch Hydrazin, mindestens ein Elektronenpaar haben, das nicht an Bindungen beteiligt ist. Möglicherweise transportieren sie Elektronen zu den Entwicklungskeimen.

Außerdem enthalten die meisten Push-Entwickler viel Sulfit (80-100 g/l), obwohl das der Empfindlichkeitsausnutzung eher abträglich ist. Hohe Sulfit-Konzentrationen dienen der Schadensbegrenzung: Sie halten bei Überentwicklung das Korn noch halbwegs im Zaum.

Entwickler mit hoher Empfindlichkeitsausnutzung erreichen schon bei kleinen Betawerten (um 0.55) volle Filmempfindlichkeit mit guter Schattenzeichnung. Auf jeden Fall sollte man die Entwicklung rechtzeitig stoppen, wenn die schwach belichteten Kristalle möglichst durchentwickelt, die unbelichteten aber noch jungfräulich sind. Doch selbst Entwickler, die nach allen Regeln der Kunst optimiert wurden, holen nur zwei, bestenfalls drei DIN mehr aus der Emulsion heraus, als ein Standardentwickler wie D-76. Das heißt: Wenn der Entwickler mit der Lichtdiät klarkommt, kann man den Film bis zu einer Blende unterbelichten, ohne ihn länger entwickeln zu müssen. Wer mehr will, der muss die Unterbelichtung durch Überentwicklung ausgleichen - 400-ISO-Film bleibt 400-ISO-Film, egal, wie man ihn belichtet.

Mit der Entwicklungszeit spielen

Theoretisch kann man einen Film natürlich mit jedem Entwickler pushen. Doch da der Available-Light-Fotograf selten Empfindlichkeit zu verschenken hat, wird er auf einen Entwickler zurückgreifen, der auch noch den letzten Entwicklungskeim reduziert. Die Überentwicklung gleicht den durch die Unterbelichtung entstandenen Dichteverlust im mittleren Bereich aus; die Gradationskurve wird steiler. Dadurch geht jedoch ein Teil der Schattenzeichnung verloren, und bei hohen Objektkontrasten fressen auch die Lichter aus. Filme mit s-förmig verlaufenden Dichtekurven, wie der HP-5 Plus oder der Neopan 1600, vertragen das Pushen besser, als die T-maxens mit ihrem linealglatten Anstieg. Lediglich der 3200er macht da eine Ausnahme: Seine Gradationskurve wird durch längere Entwicklungszeiten nicht aufgestellt, sondern parallel verschoben - in den mittleren Dichten zumindest.

Beim Überentwickeln um eine Stufe hält sich der Qualitätsverlust noch in Grenzen. Bei zwei und mehr Stufen wächst er dagegen schneller als der Nutzen: Aus Körnern werden Brocken, und der Kontrast wird so groß, dass sich die Negative nicht mehr vernünftig kopieren lassen. Man tut gut daran, lieber einen höherempfindlichen Film normal zu belichten und zu

entwickeln, als einen Feinkörner unnötig zu quälen. Lediglich am Ende der Fahnenstange, beim Ilford Delta 3200 oder beim T-max 3200 von Kodak gibt's keine Alternativen mehr: hier wird man ums Pushen nicht herumkommen. Doch auch dort sollte man sich mit höchstens drei Push-Stufen bescheiden. Wer seinen Negativen noch mehr Gewalt antut, darf sich nicht wundern, wenn die Prints anschließend wie schlechte Fotokopien einer alten Zeitungsvorlage aussehen.

Alles nur Illusion

Der scheinbare Empfindlichkeitsgewinn beim Pushen besteht darin, dass mittlere Grauwerte in höhere Dichtebereiche verschoben werden. Solche Grauwerte, beispielsweise Hauttöne, entsprechen einer Negativdichte von etwa 1.0 über Schleier. Entwickelt man einen Film zu einem mittleren β -Wert von 0.55, so wird der Punkt der Kurve, der 1.0 Dichten über Schleier liegt, als neuer Bezugspunkt gewählt. Eine "Empfindlichkeitssteigerung" dieses Punktes um drei DIN bedeutet, dass dieser Punkt um 0.3 logarithmische Einheiten nach links verschoben wird. Das entspricht einer Blende. Zwar nimmt dabei die tatsächliche Empfindlichkeit nur um etwa 0.5 DIN zu - durch die Erhöhung in den bildwichtigen Dichten sieht es aber nach mehr aus.

Das Who is Who der Pushentwickler

Entwickler auf Phenidon-Hydrochinon-Basis

- Kodak T-max-Entwickler
- Kodak HC 110
- Ilford Microphen
- Ilford Ilfotec HC
- Tetenal Ultrafin Plus

Entwickler auf p-Phenylendiamin-Basis

- Tetenal Emofin

Entwickler auf N-Hydroxyethyl-o-aminophenol-Basis

- Agfa Atomal
- May & Baker Promicrol

Rezepturen für Pushentwickler

Wasser 800 ml
Na₄EDTA 2 g
Kaliumdisulfit 90 g
Hydrochinon 9 g
Diethanolamin 70 ml
Dimezone-S 1.5 g
Wasser auf 1 l

Der pH-Wert sollte jetzt zwischen 8.6 und 8.8 liegen. Dimezone-S, das als auch Phenidon-S im Handel ist, kann in 15 Millilitern warmem Diethylenglykol vorgelöst werden.

Ilford ID 68

Hydrochinon 5 g
Phenidon 0.13 g
Natriumsulfit sicc. 85 g

Borax 7 g
Borsäure 2 g
Kaliumbromid 1 g
Calgon 2 g
Wasser auf 1 l

Kodak T-max-Entwickler

Hydrochinon 9 g
Dimezone-S 1.4 g
Natriumsulfit 5 g
Diethanolaminsulfit 130g
Kalkschutz 2 g
Wasser auf 1 l

Weitere Push-Methoden

Grundsätzlich gibt es zwei Methoden, einen Film empfindlicher zu machen. Zum einen kann man die Emulsion vorbelichten; diese Hypersensibilisierung erhöht die Empfindlichkeit für die eigentliche Aufnahme. Das andere Verfahren heißt Latensifikation: hier wird durch chemische Tricks das latente, also bereits fotografierte Bild verstärkt. Teils erfüllt ein und dieselbe Methode beide Zwecke, also Hypersensibilisierung und Latensifikation, zum Beispiel ein Bad in Ammoniaklösung.

Mindestens drei DIN Gewinn verspricht die Fachliteratur. Propagiert werden Badeverfahren, die die Beweglichkeit der Silberionen im Silberhalogenidkristall erhöhen und dadurch schneller zu Entwicklungskeimen führen. Man liest etwa von Ammoniak (einprozentige Lösung), Aminen, Natriumsulfitlösung (zwei Prozent) oder Wasser-Alkohol-Mischungen. Ein bis fünf Minuten dümpelt der Film in diesen Bädern, dann wird er im Dunkeln getrocknet und anschließend entwickelt.

1955 fanden Eggers und Frieser heraus, dass bei empfindlichkeitssteigernden Doppelbelichtungen der erste Lichtblick weniger als eine Zehntelsekunde, die zweite Belichtung jedoch länger als hundert Sekunden dauern soll. Um bei dem hochempfindlichen T-max P 3200 entsprechend lange Zeiten ohne verheerenden Schleier zu erreichen, bedarf es einer sehr schwachen Lichtquelle. Geeignet ist die gute alte Pangrünbirne, eine grün abgetönte Glühbirne für Dunkelkammerzwecke. Sie erweckt mehr die Illusion einer Illumination, erst nach einer Gewöhnungszeit von zehn Minuten sieht man die Hand vor Augen.

Die Birne wurde in einer Lampenfassung ohne Reflektor rund 30 Zentimeter unterhalb der weißen Zimmerdecke angebracht, der Film hing rund 1.3 Meter davon entfernt, mit der Schicht zur Lampe. Als Ersatz diente uns teilweise eine selbstgebaute LED-Lampe hinter einer Wallner-Kalotte (rund 15 Mark); die Leuchtdiode wurde am Boden einer Kodak-Filmdose mit Vorwiderstand (4.7 Kilo-Ohm) montiert. Der Strom kam aus einer Neun-Volt-Batterie. Als Leuchtdiode eignet sich jede normale grüne LED mit drei oder fünf Millimeter Durchmesser, zum Beispiel CQV 45-4 von Siemens oder CQX 86N oder CQY 72 von Telefunken oder auch andere Fabrikate. Verwenden Sie keine Low-Current- oder superhellen LEDs.

Achten Sie auf die richtige Polung: Das längere Anschlussbeinchen verbinden Sie mit dem Minuspol, das kürzere über den Vorwiderstand mit dem Pluspol. Bei falscher Polung leuchtet die LED nicht. Kürzere Filmstücke können auch im Kontrollstreifenprinter von Jobo nachbelichtet werden. Drehen Sie die Schichtseite nach oben und decken Sie den Film mit einer Glasplatte ab. Die Birne sollte mittig über dem Film platziert werden. Belichtete Filmstreifen und Sensitometerkeile wurden nun zehn, zwanzig und vierzig Minuten lang

nachbelichtet. In Ultrafin Plus bei 26°C 8.5 Minuten lang entwickelt, müssten sie zeigen, was an Empfindlichkeit dazugekommen war.

Die 40minütige Zusatzbelichtung brachte einen Anstieg auf fast 36.5 DIN. Der Filmstreifen selbst sieht allerdings verschleiert aus. Doch sogar mit einem Schleier-Zuwachs von 0.3 D gegenüber einer konventionellen Belichtung liefert der T-max P 3200 noch gute Ergebnisse. Denn die Nachbelichtung macht die Schwärzungskurve flacher; der etwas weichere Film kann damit auf härteres Papier vergrößert werden, ohne dass die Lichter ausfressen. Das kommt der Empfindlichkeitssteigerung zusätzlich entgegen, da härteres Papier Dichteunterschiede stärker differenziert und dadurch die Schattenzeichnung verbessert. Die 40minütige Nachbelichtung drückt den Betawert von fast 1.00 auf unter 0.70 und macht den Film fast normal kopierbar. Bilder, die mit 42 DIN belichtet wurden, zeigten es deutlich: mehr Zeichnung in den Schatten, keine grellen Lichter. Gegenüber einem normal entwickelten Film mit dem gleichen Beta holen wir 5.5 DIN, also fast zwei Blenden, heraus. Selbst Versuche mit 45 DIN bringen brauchbare Abzüge. Die Zusatzbelichtung steigert nur die Empfindlichkeit bei herabgesetztem Betawert, ohne Körnigkeit und Schärfe anzugreifen, da die Entwicklung gleich bleibt. Allerdings macht die 40minütige Zusatzbelichtung viel Aufwand und ist nicht ohne Risiko für die mit wichtigen Bildern belichtete Emulsion.

Der T-max P-3200 in der Nachbelichtung

Stufe	Entwickl. (min)	Nachbelichtung (min)	DIN	Beta
P1	5.5	-	32.5	0.75
P2	8.5	0	34.0	0.97
P2	8.5	10	35.0	0.88
P2	8.5	20	35.7	0.82
P2	8.5	40	36.5	0.67

Spezialentwickler

Hier finden Sie Informationen zu folgenden Spezialisten:

- Zweibad-Entwickler
- Lith-Entwickler
- Halbton-Entwickler für Dokumentenfilme

Zwei Bäder für mehr Einfluss

Von allen Bestandteilen eines Entwicklers sind zwei besonders wichtig, wenn es um die Entwicklungsgeschwindigkeit geht: die reduzierende Entwicklersubstanz und das Alkali, das fürs aktivierende Milieu sorgt. Beide sind normalerweise im Überfluss vorhanden. Schon vor mehr als hundert Jahren kam der Franzose Audra auf die geniale Idee, Entwicklersubstanz und Alkali in verschiedene Lösungen zu packen, um so die Entwicklung gezielter beeinflussen zu können - der Zweibad-Entwickler war geboren. Das Prinzip ist einleuchtend: Im ersten Bad saugt die Filmschicht sich mit Entwickler voll; auf Grund des niedrigen pH-Wertes zwischen 4 und 6 findet aber noch keine Entwicklung statt.

Im zweiten Bad wird der pH alkalisch und die eingelagerte Entwicklersubstanz dadurch aktiviert. Doch der Eifer hält nicht lange vor: Sobald der im ersten Bad aufgenommene Entwickler verbraucht ist, geht der Ofen nämlich wieder aus. Das begrenzt den Bereich der Bildlichten in den Bereichen starker Belichtung, während die schwach belichteten Schattenpartien voll ausentwickelt werden. Schließlich wird hier ja kaum Entwickler verbraucht. Das führt zu einer sehr ausgeglichenen Entwicklung.

Die reine Zweibad-Lehre funktionierte mit den 1885er Emulsionen, die vergleichsweise dick wie Packeis am Nordpol waren, auch hervorragend. Die Schichten unserer Tage sind nicht nur dünner, sondern auch stark gehärtet und deshalb nicht so quellfähig - der Zweibad-Prozess muss infolgedessen modifiziert werden. Bei pH-Werten zwischen 6.5 und 8 wird das latente Bild schon in der ersten Lösung anentwickelt. Das verhilft selbst dünnen Schichten zu vernünftigen Maximaldichten, ohne dass der ausgleichende Charakter verloren geht.

Die erste Lösung enthält hauptsächlich Entwicklersubstanzen - Metol oder die superadditiven Kombinationen Metol/Hydrochinon oder Phenidon/Hydrochinon - und Sulfid. Die Sulfidmenge kann zwischen 30 und 100 Gramm pro Liter variieren. Der pH-Wert darf nicht höher als 8 sein, schließlich soll die Entwicklung ja langsam laufen. Um da noch sicher zu gehen, gibt man Borsäure oder Natriumdisulfid zu. Part Zwei enthält vor allem Alkalisubstanz und Natriumsulfid. Soll der Zweibad-Entwickler feinkörnig arbeiten, wird der pH-Wert niedrig gehalten und viel Sulfid zugesetzt. Eine moderate Puffer-Substanz, wie Natriumtetraborat, pegelt etwa den pH 9 ein, und 50 bis 100 Gramm Sulfid pro Liter halten das Korn im Zaum. Für eine kräftige Nachentwicklung mit guter Empfindlichkeitsausnutzung sind Karbonatalkalien mit pH-Wert um 11 am besten geeignet. 10 bis 30 Gramm Sulfid pro Liter reichen in diesem Fall völlig aus. Wer will, kann mit bis zu einem Gramm Kaliumbromid oder 50 bis 100 Milligramm Benzotriazol auf die Schleierbremse treten.

Auf dem gleichen Prinzip beruht auch die sogenannte Wasserbad-Entwicklung, für die man jeden beliebigen Entwickler verwenden kann. Dabei wird der Film nach dem Anentwickeln in ein temperiertes Wasserbad transferiert und dort ausentwickelt. Als Richtzeit für eigene Versuche sollten Sie die eigentliche Entwicklungszeit halbieren und den Film anschließend das Doppelte der normalen Zeit im Wasser baden.

Schwarz oder weiß

In der Spezialitätenecke finden sich auch Entwickler, denen Grauwerte jeder Art völlig unbekannt sind. Sie entwickeln nach dem Alles-oder-Nichts-Prinzip: blütenweiß oder rabenschwarz.

Lithentwickler enthalten Hydrochinon als alleinige Entwicklersubstanz. Ein Blick auf die chemischen Eigenschaften erklärt, warum dies so ist: In alkalischer Lösung liegt Hydrochinon als zweifach negativ geladenes Anion vor, das zunächst ein Silberion zu Silber reduzieren kann und dabei selbst zum Semichinon wird. Diese Reaktion verläuft relativ langsam. Das entstandene Semichinon-Molekül ist aber sehr reaktiv und reduziert schnell ein weiteres Silberion zu Silber. Aus dem Hydrochinon wird dabei letztendlich die oxidierte Form, das Chinon. In alkalischer Lösung kann dieses Chinon von einem zweifach geladenen (=langsamen) Hydrochinon ein Elektron übernehmen - es entstehen zwei der reaktiven Semichinon-Moleküle, die schnell zwei weitere Silberionen reduzieren. Dabei werden sie zu Chinon oxidiert und suchen sich zwei weitere Hydrochinon-Moleküle. Mit denen reagieren sie zu vier Semichinonen, die wieder.... - eine Kettenreaktion, die der Chemiker vornehm Autokatalyse nennt, läuft ab.

Das Oxidationsprodukt der Entwicklersubstanz beschleunigt also die weitere Entwicklung. Ist die Reaktion erst einmal in Gang gekommen, setzt sie sehr schnell alle verfügbaren Silberionen um, während dort, wo wenig Licht ankam und die Entwicklung erst später einsetzt, noch kein Silber entsteht. Der Kontrast steigt schnell an. Sobald die Entwicklung auch in wenig belichteten Bereichen einsetzt, nimmt er wieder ab - die Gegenden starker Belichtung sind ja schon lange durchentwickelt. Die Entwicklung muss trotzdem abgebrochen werden, wenn der Kontrast am größten ist, sonst ist der Lith-Effekt futsch.

Die Rezepturen sind auf einen möglichst starken Kontrast abgestimmt. Deshalb dürfen keine Entwicklersubstanzen eingesetzt werden, die superadditiv mit Hydrochinon reagieren - rote Karte für Phenidon und Metol. Die ziehen nämlich die Oxidationsprodukte aus dem Verkehr und unterbrechen damit die Kettenreaktion.

Das gilt auch für Sulfid. Es reagiert mit Chinon zu einem Sulfat und macht es dadurch für die Lith-Entwicklung unbrauchbar. Zwei Gramm pro Liter sind das Maximum dessen, was der Prozess toleriert. Doch Entwickler mit geringem Sulfatgehalt sind kaum haltbar. Die Fotochemiker mussten schon tief in die Trickkiste greifen, um dieses Dilemma in den Griff zu bekommen.

Man setzt dem Entwickler zusätzlich polymeres Formaldehyd (para-Formaldehyd) zu, das seinerseits eine Verbindung mit dem Sulfid eingeht. Das Gleichgewicht dieser Reaktion ist pH-abhängig und liegt bei pH 10 so, dass weniger als 5 Prozent des Sulfids als freie Moleküle vorliegen, der Rest ist gebunden. Sobald die freien Moleküle verbraucht werden, gibt die Aldehyd-Verbindung neue Moleküle frei. So kann über längere Zeit ein Sulfidpegel zwischen einem und zwei Gramm pro Liter aufrechterhalten werden. Das erspart dem Entwickler den vorzeitigen Oxidations-Tod. Wer Formaldehyd lieber im Sondermüll als in der Entwicklerflasche sieht, kann auf andere Oxidationsschutzmittel zurückgreifen. Beim RA-4-Prozess gemacht verhalfen Diethylhydroxylamin und ein Alkanolamin dem Entwickler zu biblischem Alter. Mit den Lithentwicklern sollte man übrigens nur auf Lithfilme losgehen. Normale Filme zeigen keine nennenswerte Aufsteilung der Gradation - lediglich die Empfindlichkeit geht kräftig in den Keller.

Weiche Welle

Dritte Station im Raritätenkabinett sind die Weichentwickler. Dokumentenfilme, die in normalen Entwicklern Beta-Werte zwischen 2.5 und 3 an den Tag legen, werden zu kopierbaren Werten zwischen 0.55 und 0.70 weichgeklopft. Ordinäre Negativfilme lassen

sich darin sogar zu Betas zwischen 0.2 und 0.4 weichspülen, ohne dass die Filmempfindlichkeit ins Bodenlose sinkt. Mit normalem Negativmaterial kann so noch ein Helligkeitsumfang von 1:1.000.000 durchgezeichnet werden, ohne dass die Lichter zulaufen. Solche Belichtungsumfänge muss kein Film je bewältigen, es sei denn, er soll Atombomben-Explosionen dokumentieren. So haben die Soft-Entwickler das Licht der Welt auch in den Laboratorien der US Army erblickt - eine eher unrühmliche Vergangenheit.

Kein Film-Entwickler arbeitet so ausgleichend - nicht einmal Rodinal in der homöopathischen Verdünnung 1+200. Wie bei Lith-Entwicklern macht man sich auch hier das Entwickler-Oxidationsprodukt zunutze, diesmal lediglich in der anderen Richtung. Oxidiertes Phenidon hemmt Phenidon-Entwickler kräftig und wird durch Sulfid nicht reaktiviert. Goldrichtig, denn in den Lichtern, wo viel Silber gebildet wird, wird auch viel Phenidon oxidiert.

Reine Phenidon-Entwickler arbeiten extrem ausgleichend - aber auch extrem langsam. Um zu moderaten Entwicklungszeiten zu kommen, wird den Entwicklern ein wenig Hydrochinon zugesetzt. Das kann Phenidon regenerieren und wird dabei selbst oxidiert. Je mehr Hydrochinon, desto schneller die Entwicklung, desto geringer aber auch die ausgleichende Wirkung. Gleiche Mengen der beiden Substanzen ergeben einen guten Kompromiss - bei pH-Werten zwischen 9 und 10.5 und wenig Sulfid. Wenn Sie gerne mit großen Papierformaten arbeiten und trotzdem scharfe Abzüge ohne erkennbares Korn lieben, sollten Sie die Softies aus der Flasche mal mit Kodaks Technical Pan ausprobieren. Sie werden begeistert sein.

Das Who is Who der Spezialisten

Zweibad-Entwickler

- Tetenal Emofin Pulver
- Tetenal Emofin liquid
- D-76 Zweibad (Foto-Ansatz-Messtechnik)

Lithentwickler

- Agfa G-8
- Fotospeed LD 20
- Ilford Ilfolith
- Kodak Kodalith
- Tetenal Dokulith

Weichentwickler

- CG-Chemie FLG
- Kodak Technidol LC
- Tetenal Neofin doku

Typische Rezepturen

D-76-Zweibad

Part 1

Metol 2 g
Hydrochinon 5 g
Natriumsulfid sicc.
100 g Fotoplex 1

5 ml Fotoplex 2 1 ml
Wasser auf 1 l

Part 2

Natriumtetraborat 30 g
Calgon 3 g
Wasser auf 1 l

Kodak D-85

Hydrochinon 22.5 g
Natriumsulfit 30 g
Kaliumsulfit 2.6 g
Borsäure 7.5 g
Kaliumbromid 1.6 g
Para-Formaldehyd 7.5 g
Wasser auf 1 l

Pota-Entwickler

Phenidon 1.5 g
Natriumsulfit sicc. 30 g
Wasser auf 1 l

Lithentwickler

Wasser 800 ml Na₄EDTA 2 g
Diethanolamin 20 ml
Diethylhydroxylamin (85% v/v) 10 ml
Natriumsulfit sicc. 1.5 g
Hydrochinon 15 g
Kaliumbromid 3 g
Natriummetaborat 10 g
Wasser auf 1 l
pH 9.9-10.1

Weichentwickler

Wasser 200 ml
Na₄EDTA 1 g
Natriumsulfit sicc. 8 g
Kaliumsulfit 1.7 g
Kaliumkarbonat sicc. 10 g
Hydrochinon 2 g
Phenidon 2 g*
Diethylenglykol 10 ml*
Wasser auf 250 ml
pH 10.0 - 10.2

*Phenidon wird in Diethylenglykol gelöst und zugegeben. Dieses Konzentrat wird kurz vor dem Gebrauch im Verhältnis 1+19 verdünnt. 50 Milliliter Konzentrat ergeben auf diese Weise einen Liter Arbeitslösung.

Umkehrentwickler

Bei jeder Filmentwicklung wird alles Silberhalogenid, das genügend Licht abbekam, in metallisches Silber umgewandelt. Unbelichtetes Silbersalz wird dagegen beim Fixieren ausgewaschen und landet im Sondermüll oder bei der Silberrückgewinnung. Im Negativ sind die Lichter daher schwarz und die Schatten weiß, erst beim Kopieren auf Papier oder Film erhält man ein tonwertrichtiges Bild.

Mit dem Umkehrverfahren umschiffte man das Negativ elegant und landet gleich beim Positiv. Die zugrunde liegende Idee ist einfach: Neben dem negativen Silberbild liegt in jedem entwickelten Film auch ein positives Bild vor, in Form von unverbrauchtem Silberhalogenid. Man muss also nur das entwickelte Silber aus der Schicht entfernen und dann das restliche Halogenid entwickelbar machen - durch Licht oder durch die chemische Keule. Doch was einfach klingt, muss nicht zwangsläufig einfach sein. Bezogen auf SW-Dias fängt das Problem nämlich schon beim Filmkauf an: Welcher ist umkehrtauglich und welcher nicht?

Ein hoher Silbergehalt, in einer dünnen Schicht auf einen klaren Träger gegossen, bietet die besten Voraussetzungen; schließlich verlangen brillante Dias nach einem niedrigen Grundsleier und hohen Maximaldichten. Der Beipackzettel von Tetenals SW-Dia-Kit listet aussichtsreiche Kandidaten auf: Agfa APX 25 und APX 100 Ilford Pan F Plus und die Tmax-Brothers von Kodak. Für beinharte Strichdias sorgt Kodaks Technical Pan 2415. Diese Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, auch andere Filme können zu brauchbaren Resultaten führen. Trotzdem lässt sich nicht jeder Film, der eigentlich sauber durchgezeichnete Negative liefern soll, für die Lichtbildshow missbrauchen.

In fünf Schritten zum Dia

Doch gleich, für welchen Film Sie sich entscheiden, die Umkehrentwicklung umfasst fünf Schritte:

- Erstentwickeln
- Bleichen
- Klären
- Zweitbelichten
- Zweitentwickeln

Die gewohnte Schlusssequenz Stoppen-Fixieren-Wässern beendet das Prozedere. Bei der Erstentwicklung wird aus dem latenten Bild in der üblichen Weise ein Negativ. Da wir auf maximale Schwärzen und möglichst klare Lichter aus sind, wird, wie beim Papier, ausentwickelt - zu Betawerten über 1.5. Das ist nötig, weil Streulicht den Kontrast bei der Projektion ohnehin noch einmal kräftig dämpft.

Der Teufel steckt wie immer im Detail: Selbst ein kräftiger Erstentwickler schafft es nicht, in den stark belichteten Regionen alle belichteten Kristalle zu entwickeln - ein paar kleine, somit unempfindliche Kristalle bleiben als Silberhalogenid zurück. Dieses Silberhalogenid wird dann mit Sicherheit im Zweitentwickler reduziert und schleiert die Lichter zu. Um das zu vermeiden, müsste man den Film um etwa den Faktor 100 überbelichten, was einem Empfindlichkeitsverlust von immerhin 20 DIN entspräche. Abhilfe schafft ein Silberlösemittel im Erstentwickler. Das löst die Kristallzwerge bei der Erstentwicklung auf und lässt im Positiv die Lichter glänzen.

Erstentwickler sind von der Grundrezeptur her kräftig arbeitenden Positiventwicklern ähnlich: Viel Hydrochinon sorgt für die nötige Power, und Phenidon oder auch Metol geben

Anschubhilfe, indem sie die Ladungsbarriere der Kristalle unterlaufen. Zusätzlich fegen zwei bis sechs Gramm Kaliumrhodanid (das auch Kaliumthiocyanat heißt) die Lichter blank. Bis zu sechs Gramm Kaliumbromid pro Liter bremsen den Schleier und sorgen dadurch für kräftige Schwärzen im Positiv.

Um dem Halogenid-Hunger des Rhodanids in den oberen Schichten Einhalt zu gebieten, stattet man den Entwickler mit 10 bis 100 Milligramm Kaliumjodid pro Liter aus - ein Trick, der von Farbdiafilm-Entwicklern entliehen ist. Die vom Rhodanid "weggelutschten" Silberionen vagabundieren in der Entwicklerlösung umher und können sich an bereits vorhandene Silberkeime anlagern. Dieser Mischmasch aus chemischer und physikalischer Entwicklung wird den Anforderungen des Umkehrprozesses am ehesten gerecht, denn die Empfindlichkeitsausnutzung steigt mit zunehmender Entwicklungszeit, ohne dass die Beta-Kurve merklich aufgesteilt wird. Chemisch ist der Film schon nach anderthalb Minuten ausentwickelt, in der restlichen Zeit wird die Dichtekurve nur noch parallel zugeschoben.

Der kritische Punkt

Die Erstentwicklung ist der kritische Punkt im gesamten Prozess. Trotzdem ist eine gewisse Steuerung der Positivdichte über die Entwicklungszeit möglich: Ist das Dia zu hell, dann war die Erstentwicklung zu lang - zu viele entwickelbare Kristalle wurden schon im Erstentwickler verheizt. Umgekehrt war bei dunklen Dias das Negativ nicht ausentwickelt. Die Entwicklungszeiten für die einzelnen Filme differieren beträchtlich: Manche Filme wollen volle 18 Minuten gebadet und dabei alle 3 Sekunden gekippt werden. Im Klartext heißt das: 360mal kippen, allein während der Erstentwicklung. Da sage noch einer, Labor habe nichts mit Sport zu tun. Um Armkrämpfen vorzubeugen, kann man dem Entwickler einheizen: Höhere Temperaturen sorgen für moderatere Entwicklungszeiten.

Eine Zwischenwässerung stoppt den Erstentwickler und entfernt das silberfressende Rhodanid. Das darauf folgende Bleichbad verwandelt das entwickelte, metallische Silber in eine wasserlösliche Verbindung und schält es aus der Schicht heraus. Eine heikle Aufgabe, denn nicht reduziertes Silberhalogenid darf dabei nicht angetastet werden: Farmerscher Abschwächer und andere Bleicher auf der Basis von Kaliumhexacyanoferrat haben deshalb Hausverbot.

Die gängigsten Umkehrbleicher bestehen aus Kaliumdichromat, das metallisches Silber oxidiert, und Schwefelsäure, die den neu entstandenen Silberionen einen Sulfatrest spendiert. Dieses Silbersulfat ist wasserlöslich und wird schnell ausgewaschen, nur unentwickeltes Silberhalogenid bleibt zurück. Dichromat-Bleicher sind von der schnellen Truppe, in einer Minute ist alles vorbei. Einige Rezepturen sehen Kaliumpermanganat anstelle von Kaliumdichromat vor, jedoch ist die Permanganat-Lösung nur kurz haltbar und muss deshalb immer frisch angesetzt werden. Geben Sie beim Ansetzen der Arbeitslösung immer die Säure zum Wasser, nie umgekehrt, denn sonst können Säurespritzer Ihnen schnell den Spaß verderben (Alter Merksatz der Chemiker: "Gibt man Wasser zu der Säure, so passiert das Ungeheure").

Kleine Mengen Dichromat reagieren auch mit der Gelatine und führen dort zur Bildung von Chromoxid, das die Emulsion grünlich anfärbt. Diese Färbung verschwindet auch nach langem Wässern nicht, deshalb muss ein Klärbad hier für klare Verhältnisse sorgen. Natriumsulfit oder Kaliumdisulfit lösen die Chromoxide wieder aus der Schicht heraus und reduzieren zusätzlich restliches Dichromat, das andernfalls den Zweitentwickler ruinieren würde. Außerdem poliert Sulfit die vom Bleichbad angegriffenen Kristalloberflächen wieder auf Hochglanz. Für Zweitbelichtung und -entwicklung sind die Bedingungen somit optimal. Belichten sollte man reichlich und gleichmäßig - nach Möglichkeit unter Wasser, denn Tropfen auf dem Film führen zu unregelmäßiger Beleuchtung. Die Randbereiche bekommen weniger Licht ab und bleiben heller.

Zwischenbelichtung muss nicht sein

Doch das ist gar nicht so einfach, wenn man den Film in der Dose entwickelt. Entweder man packt ihn zum Sonnenbad in ein Becherglas, oder man lässt die Zweitbelichtung ganz unter den Tisch fallen. Stattdessen muss man dann ein chemisches Umkehrbad zwischenschalten oder den Zweitentwickler mit entsprechenden Substanzen aufrüsten. Borane sind häufig Mittel der Wahl, doch sie sind teuer, giftig und reduzieren auch wenig lichtempfindliche Kristalle. So können sie einen Grauschleier über die Lichter legen. Wenn man mit Zwischenbelichtung arbeitet, kann als Zweitentwickler jeder kräftig arbeitende Papierentwickler Dienst tun. Verwenden Sie nie den Erstentwickler, denn das Rhodanid verschlechtert die Lichterzeichnung deutlich, die Lichter fressen aus.

Umkopieren als Alternative

Welcher Weg zum SW-Dia ist nun der beste? Das Negativ umkopieren oder gleich den Film umkehrentwickeln? Fürs Umkopieren spricht die Tatsache, dass man das Negativ erst schon mal in der Tasche hat, bei der Belichtung und Entwicklung des Positivs - das ja hier ein Negativ vom Negativ ist - also kräftig experimentieren kann. Außerdem kann man durch Verändern der Belichtung und Entwicklung besser an der Dichtekurve herumbiegen, als dies beim Umkehrprozess möglich ist. Und zweimal Negative entwickeln macht auch nicht mehr Arbeit als einmal umkehrentwickeln.

Dafür wird der Mut zur Umkehr durch bessere Bildschärfe - kontrastmindernde Kopierschritte entfallen - und besonders feines Korn belohnt. Die gröberen, somit lichtempfindlicheren Kristalle werden bei der Erstentwicklung aus dem Verkehr gezogen und überlassen das positive Bild ganz den Feinkörnern. Ist doch nett, oder?

Rezeptur für Umkehrentwickler

Erstentwickler

Wasser 800 ml
Na₄EDTA 2 g
Natriumsulfit sicc. 50 g
Hydrochinon 20 g
Phenidon 0.2 g
Kaliumbromid 6.0 g
Kaliumrhodanid 6.0 g
Kaliumjodid 50 mg
Kaliumhydroxid 20 g
Wasser auf 1 l
pH 12.1-12.3

Bleichbad

Wasser 800 ml
Kaliumdichromat 10 g
Schwefelsäure 20 % (m/m) 120 ml
Wasser auf 1 l

Klärbad

Wasser 900 ml
Na₄EDTA 2.0 g
Natriumsulfit 100 g
Wasser auf 1 l

Zweitentwickler

Wasser 800 ml
Na₄EDTA 2.0 g
Natriumsulfit sicc. 20 g
Hydrochinon 6.0 g
Phenidon 0.5 g
Diethylenglykol 10 ml
Kaliumkarbonat 30 g
Kaliumhydroxid 5.0 g
Kaliumbromid 1.0 g
Wasser auf 1 l
pH 11.0-11.2

Folgendes Verarbeitungsschema haben wir für den Ilford Pan F Plus ermittelt:

Erstentwickeln 7 min
Wässern 2 min
Bleichen 3 min
Wässern 2 min
Klären 3 min
Wässern+Zweitbelichten* 2 min
Zweitentwickeln 3 min
Wässern 2 min
Fixieren 2 min
Schlusswässern 10 min

* Unter Wasser, mit etwa 100 Watt aus 20 Zentimetern Entfernung.
Kipprhythmus: 3 Sekunden bei der Erstentwicklung, 30 Sekunden für alle anderen Bäder.
Nach Möglichkeit fließend zwischenwässern.

Als typisches Beispiel für eine Industrierezeptur darf Kodaks Panatomic-Umkehrvorschrift gelten. Die ist auf andere Filme übertragbar, nur die Erstentwicklungszeit muss angepasst werden:

Erstentwickeln in D-67 6-9 min
Wässern 2-3 min
Bleichen in R-9 1 min
Klären in CB-1 2 min
Zweitentwickeln in FD-70 8 min
Wässern 1 min

Danach fixieren und auswässern. Eine zweiminütige Wässerung nach dem Bleichen erhöht die Lebensdauer des Klärbades.

Erstentwickler D-67

Wasser (50 °C) 500 ml
Metol 2.0 g
Natriumsulfit sicc. 90 g
Hydrochinon 8.0 g
Natriumkarbonat sicc. 45 g
Kaliumbromid 5.0 g
Natriumrhodanid-Lösung. (51 % m/v) 3 ml*
Wasser auf 1 l

Bleichbad R-9

Wasser 980 ml
Kaliumchromat 9.5 g
Schwefelsäure konz. 20 ml

Klärbad CB-1

Natriumsulfit sicc. 90 g
Wasser auf 1 l

Zweitentwickler FD-70

Wasser (50 °C) 800 ml
Natriummetaborat 10 g
2-Thiobarbitursäure 0.5 g
Natriumdithionit 5.0 g**
Wasser auf 1 l

* Kann durch 2.5 g Kaliumrhodanid ersetzt werden.

** Erst kurz vor Gebrauch zusetzen.

Schnellentwickler

Zwei Minuten von der Aufnahme bis zur Auswertung eines Bildes? Das geht doch gar nicht, sagt sich mancher SW-Laborant, der selbst bei zügigem Arbeiten ein Vielfaches der Zeit braucht. Geht doch. Ein Monobad entwickelt und fixiert die Spezialemulsion in ganzen 40 Sekunden, dann kommt der Film in den Infrarot-Trockner und nach zwei Minuten ist er fertig. Dermaßen kurze Entwicklungszeiten sind nur bei 40 bis 50 Grad zu schaffen. Da muss man mit Spezialfilmen arbeiten, denn ohne extra gehärtete Emulsion läuft die Gelatine bei solchen Temperaturen glatt vom Träger.

Aus den Kindertagen des Films

Schnellentwickler hatten ihren großen Auftritt in den Kindertagen des Fernsehens, als es weder Aufnahmeröhren, noch lichtempfindliche Chips gab. Die Kameras wurden mit echtem Film bestückt, der nach der Aufnahme entwickelt, fixiert und dann für die Übertragung abgetastet wurde. Und alles musste natürlich möglichst schnell über die Bühne gehen. Nach den Schnellentwicklern von damals fragt heute niemand mehr, doch die gängigen Monobad- und Aktivatorverfahren arbeiten nach dem gleichen Prinzip. Ein Blick auf die Grundrezeptur lohnt also nicht nur aus historischen Gründen.

Nur die superadditiven Kombinationen Metol/Hydrochinon und Phenidon/Hydrochinon bringen in weniger als einer Minute ein brauchbares Silberbild zustande. Metol oder Phenidon greifen schnell zu und Hydrochinon stemmt die nötigen Maximaldichten. Weiter wird am Entwickler getunt: Bromid und andere Schleierbremsen fliegen raus, die Entwicklersubstanzen werden "nach Gutsherrenart" dosiert, der pH-Wert mit Ätzalkalien auf Werte zwischen 12 und 13 geschraubt und die Ladung der Gelatine mit ein bisschen Kalium- oder Natriumnitrat verschoben. Das erleichtert den elektrisch geladenen Hauptakteuren (Alkali, Entwicklersubstanz) die Diffusion durch die Schicht. Die Sulfitmenge bemisst man so, dass es gerade eben reicht, um den Entwickler vor dem Oxidationstod zu retten - 20 bis 40 Gramm sind genug.

Mit einer solchen Tinktur entwickeln Sie einen Film in 30 bis 60 Sekunden zu einem Beta-Wert von 0.60. Erwarten Sie aber keine Wunderdinge von den Negativen, denn unter den Rapidbedingungen werden die Kristalle rein chemisch entwickelt, da bleibt das Korn doch ziemlich grob.

Tempo durch Arbeitsteilung

Aktivierbare Papiere sind durch Arbeitsteilung noch wesentlich schneller: Der Entwickler wird in die Emulsionen gegossen und schlummert dort friedlich vor sich hin, bis er vom Alkali des Aktivators wachgeküsst wird. So kann die Entwicklersubstanz, gleichmäßig in der Schicht verteilt, direkt zupacken, wenn der Aktivator für den richtigen pH-Wert sorgt. Die Idee des schlafenden Entwicklers ist übrigens fast so alt, wie die Fotografie selbst. Schon 1870 mischte Fox Talbot Gallussäure in seine Emulsionen und entwickelte sie dann einfach mit alkalischem Ammoniak. Aktivierbare Papiere haben sich seither am Markt gehalten, aktivierbare Filme konnten sich dagegen nie etablieren.

Die Kunst beim Gießen einer aktivierbaren Emulsion besteht darin, die Entwicklersubstanz so zu bändigen, dass sie sich nicht vorzeitig an die Kristalle ranmacht, aber voll da ist, wenn's Alkali kommt. Außerdem darf der Entwickler während der Lagerung nicht mit Sauerstoff anbändeln, denn oxidiert ist er unbrauchbar. Häufig reicht es aus, den pH-Wert der Emulsion niedrig zu halten und etwas stabilisierendes Sulfit beizumischen. Besonders stabil sind Entwicklersubstanzen, allen voran Hydrochinon, wenn die OH-Gruppen mit einer organischen Säure verbunden sind - verestert, wie der Chemiker sagt. Ein solcher Ester ist

wenig reaktionsfreudig, erst der Aktivator spaltet die Esterbindung und setzt die reaktiven Moleküle frei.

Die in aktivierbaren Fotopapieren üblichen Entwickler-Mengen können ausreichend belichtete Stellen zu einer Dichte von etwa 2.0 entwickeln - ohne Hilfe von außen. Entsprechend einfach ist die Aktivatorlösung zusammengesetzt: Eine Menge Natriumhydroxid sorgt für die nötige Power, Sulfit zieht oxidierten Entwickler aus dem Verkehr und Bromid zügelt den Schleier. Fast alle Aktivatoren lassen sich auf ein simples Grundrezept zurückführen: Je ein Esslöffel Sulfit und Ätznatron plus eine Messerspitze Bromid auf einen Liter Wasser.

Nach drei Sekunden im Aktivator ist das Papier durchentwickelt. Ganz Eilige ziehen es danach noch fünf Sekunden durchs Stabi-Bad, das restliches Silberhalogenid in eine mehr oder minder stabile Thioharnstoff-Verbindung überführt, und quetschen es dann einfach ab. Kommt es aber nicht auf die Sekunde an, sollte man den Prints lieber eine richtige Fixage und Wässerung gönnen, dann bleiben sie deutlich länger frisch.

Alles in einem

Nun kann man der Emulsion auch Dampf machen, indem man Entwickler, Stopfbad und Fixierer durch ein einziges Monobad ersetzt. Monobäder, auch Fixierentwickler genannt, sind nichts anderes, als Entwickler mit eingebautem Fixiersalz. Allerdings ist es nicht damit getan, einfach Thiosulfat in irgendeinen Entwickler zu kippen, denn dabei geht die Filmempfindlichkeit in den Keller und der Beta-Wert bleibt weit unter 0.4 hängen. Theoretisch behindern sich Entwicklung und Fixage gegenseitig nicht. In real existierenden Fotoschichten sieht es aber so aus, dass die Thiosulfat-Moleküle auch solche Silberionen komplexieren, die latente Bilder tragen und eigentlich noch reduziert werden sollten. Viel Silberhalogenid geht verloren und mit dem, was übrig bleibt, lässt sich kein vernünftiges Bild mehr zimmern.

Damit Dichte- und Empfindlichkeitsverlust unter der Schmerzgrenze bleiben, muss der Entwicklerpart vor dem Fixierpart zum Zuge kommen. Schon vor fast 100 Jahren experimentierte Joseph Maria Eder, Chemie-Professor in Wien und begnadeter Edeldrucker, mit Fixierentwicklern. Erfolglos. Erst als Phenidon Einzug in die Fotochemie hielt, wurden kurze Induktionszeiten - und damit brauchbare Monobad-Rezepturen - möglich. Superadditive Phenidon-Hydrochinon-Kompositionen kommen mittlerweile auf Betawerte zwischen 0.5 und 1, und auch der Empfindlichkeitsverlust ist mit einem DIN erträglich.

Eigentlich muss man einen Fixierentwickler auf jede Emulsion neu abstimmen. Denn Größe und Zusammensetzung der Kristalle haben genauso einen Einfluss auf die Entwicklungs- und Fixiergeschwindigkeit, wie Stabilisatoren und Schleierbremsen. Trotzdem muss man nicht gleich die Rezeptur ändern, schon mit der Temperatur lässt sich einiges machen: Der Entwickler beschleunigt im Warmen schneller als der Fixierer, demzufolge bringen warme Monobäder höheren Kontrast und mehr Empfindlichkeit als kalte. Auch eine Verschiebung des pH-Wertes in Richtung alkalisch puscht vor allem die Entwicklung. Klar, dass umgekehrt bei einer Senkung des pH-Wertes auf Hochtouren fixiert wird, während der Entwickler verhungert. Die Einwaage der Entwicklersubstanzen sorgt schließlich für die Feineinstellung: Mehr Hydrochinon steigert den Kontrast, Phenidonzugabe kitzelt dagegen ein bisschen mehr Empfindlichkeit aus der Schicht heraus.

Eins haben alle Monobäder gemeinsam: Sie enthalten mehr Hydrochinon und Phenidon als ein normaler Entwickler und weniger Thiosulfat als ein Fixierer. Trotz geringer Sulfitmenge und brutaler Entwicklungskinetik bleibt das Korn im Fixierentwickler relativ fein, dafür sorgt das Thiosulfat mit seinem exzellenten Silberlösevermögen. Dabei ist das Natriumsalz dem Ammoniumsalz vorzuziehen, denn im pH-Bereich der Monobäder, zwischen 11 und 13, hat Ammoniumthiosulfat die hässliche Tendenz, Ammoniak freizusetzen. Durch die hohe Alkalität wässern Fixierentwickler schnell aus, in weniger als einer Minute ist die Schicht frei

von Thiosulfat. Trotzdem sollten Sie Film oder Papier ein paar Sekunden länger baden, damit auch die langsameren Entwicklermoleküle vollständig von Bord gehen.

Rezepturen für Schnellentwickler

Sowohl Monobäder, als auch Aktivatoren sind von der Rezeptur her Schnellentwickler-Abkömmlinge. Als typische Industrie-Rezeptur darf deshalb der alte Schnellschütze Agfa 36 gelten.

Teil A

Wasser 700 ml
Na₄EDTA 1.0 g
Metol 5.0 g
Hydrochinon 6.0 g
Kaliumbromid 1.5 g
Wasser auf 800 ml

Teil B

Wasser 180 ml
Na₄EDTA 1.0 g
NaOH 16.0 g
Wasser auf 200 ml

Vor Gebrauch werden die beiden Lösungen gemischt. Der pH-Wert der fertigen Mischung liegt zwischen 12.0 und 12.3; die Entwicklung dauert 25 bis 60 Sekunden.

Aktivator (nur für aktivierbare Papiere)

Wasser 800 ml
Na₄EDTA 2.0 g
Natriumsulfit sicc. 25 g
Natriumhydroxid 40 g
Kaliumbromid 1.5 g
Wasser auf 1 l
Aktivierungszeit zwei bis drei Sekunden.

Stabilisator

Wasser 700 ml
Na₄EDTA 1.0 g
Ammoniumthiocyanat 300 g
Natriumdisulfit 50 g
Phenylmercaptotetrazol 0.7 g *
Wasser auf 1 l

Behandlungszeit drei bis fünf Sekunden.

* PMT verlängert die Lebensdauer der stabilisierten Bilder, die anschließend nicht gewässert werden dürfen. Sollen die Bilder langzeitstabil sein, dann müssen sie nachfixiert und dann gewässert werden.

Fixierentwickler für Filme (basiert auf dem Kodak-Rezept MM-1)

Wasser 700 ml
Natriumsulfit sicc. 50 g
Hydrochinon 12.0 g
Natriumhydroxid 8.0 g
Phenidon 4.0 g *
Natriumthiosulfat krist. 110 g *

Glutardialdehyd 25% (v/v) 8 ml
Wasser auf 1 l

pH 12,4 bis 12.7
Entwicklungszeit 3 Minuten.

* Phenidon in 12 Millilitern Diethylenglykol lösen.

** Die Thiosulfatmenge kann zur Gradationssteuerung zwischen 70 und 180 Gramm variiert werden.

Verarbeitungszeit für alle Filme: 6 Minuten bei 20°C 1-Minuten-Kipprhythmus.

Filme entwickeln - Die richtige Bewegung

Seit es Kleinbildfilme und Entwicklungsdosen gibt, streiten die Gelehrten darüber, wie man die Dose am besten bewegt. Fragt man drei Experten, kriegt man drei verschiedene Antworten - und jeder schwört Stein und Bein, dass man anders nie zu vernünftigen Negativen kommt. Ein Praxistest von Karl Neumeier testete den FP-4 Plus von Ilford auf fünf Arten: Drei Kipprrhythmen (3 Sekunden-, 30 Sekunden-, 1 Minuten-Rhythmus), Rotation und Standentwicklung. Dabei durften zwei grundverschiedene Entwickler an die Schicht: Agfas Einmalentwickler Rodinal, Verdünnung 1+50, und Tetenal Ultrafin plus als substanzreichen Allrounder.

Standardisierter Vergleich

Damit ein echter Vergleich möglich ist, müssen die Bedingungen für alle Teststreifen gleich sein: 20 Grad, Abweichung maximal 0.2 Grad, mit einem Temperaturcheck vor und nach jeder Entwicklung. Die Entwicklungszeiten wurden so gewählt, dass der Betawert für alle Teststreifen zwischen 0.59 und 0.61 landet. Sobald der Entwickler vollständig abgefüllt ist, wird die Uhr gestartet und die Dose einmal kräftig aufgeklopft, damit keine Luftbläschen am Film haften bleiben. Danach trennen sich die Entwicklungswege:

Die Rotationskandidaten kommen sofort in den Prozessor. Bei Jobo-Geräten mit zwei Geschwindigkeitseinstellungen stellt man die schnellere Stufe 2 ein, bei regelbaren Modellen werden 50 Umdrehungen pro Minute eingepegelt. Jobo empfiehlt, die Filme vorzuwässern - tun Sie's trotzdem nicht. Sie verschleppen jedes Mal eine unterschiedlich große Wassermenge und verwässern den Entwickler. Ein unnötiger Risikofaktor.

Beim 3-Sekunden-Kipp fließt der meiste Schweiß, denn man ist ständig dabei, die Dose zu bewegen: Zügig auf den Kopf stellen, etwa eine Sekunde halten und zurück in die Normallage kippen. Wieder eine Sekunde warten, und das Spiel beginnt von vorne. Bei Entwicklungszeiten von zehn und mehr Minuten braucht man dazu nicht nur gute Nerven, sondern auch kräftige Unterarme. Beim 30-Sekunden-Rhythmus wird die Dose alle 30 Sekunden zweimal hintereinander gekippt, das dauert etwa fünf Sekunden. Während der ersten 30 Sekunden wird die Dose im 3-Sekunden-Rhythmus bewegt. Auch im 1-Minuten-Rhythmus wird die ersten 30 Sekunden durchgehend gekippt. Danach nur noch dreimal zur vollen Minute. Bei der Standentwicklung wird die Dose nach dem anfänglichen 30-Sekunden-Shake in die Ecke gestellt und nicht mehr bewegt.

Fünf Sekunden vor Ablauf der Entwicklungszeit wird der Entwickler ausgeschüttet, damit die Dose beim Gongschlag leer ist. Stoppen Sie mit zweiprozentiger Essig- oder Zitronensäure, sonst dauert es doch seine Zeit, bis die letzten Entwicklermoleküle Feierabend machen. Nach dem Fixieren, Wässern und Trocknen kommt für die Testnegative die Stunde der Wahrheit: Unbestechliche Sensitometer-Streifen geben Auskunft über Empfindlichkeit und Betawert (oder die für einen festen Betawert benötigte Entwicklungszeit). Und anhand einer 35fachen Vergrößerung von Testtafel-Aufnahmen - das entspricht einem 84x126 Zentimeter großen Abzug vom Kleinbildnegativ - werden die Punkte in den Disziplinen Korn und Schärfe vergeben.

Mit zunehmender Bewegungsintensität verkürzt sich logischerweise die Entwicklungszeit. Überraschend allerdings, dass die schnellste Bewegung, die Rotation, aus der Reihe rollt: Klar langsamer als beim 3-Sekunden-Kipprrhythmus, sind die Zeiten denen des 30-Sekunden-Kippens vergleichbar. Offensichtlich sorgt das verhältnismäßig unkontrollierte Kippen für eine bessere Durchmischung des Entwicklers, als die doch sehr konstante Rotation, wo wegen mangelnder Turbulenzen verbrauchter und frischer Entwickler aneinander vorbeiströmen können. Erwartungsgemäß streuen die Verlängerungsfaktoren

beim dünnen Rodinal weiter, als beim üppig dosierten Ultrafin Plus. Wo wenig ist, herrscht eben auch schneller Mangel.

Die Datenblätter der Hersteller listen selten für alle Bewegungsarten die erforderlichen Zeiten auf. Die Verlängerungsfaktoren aus der Tabelle und ein simpler Dreisatz helfen aber schnell weiter: Den 3-Sekunden-Wert, den Sie in jedem Datenblatt finden, brauchen Sie nur mit dem Verlängerungsfaktor zu multiplizieren und Sie haben Ihre Wunschzeit. Für Pulver und fette Flüssigentwickler, wie Ultrafin SF, ID-11, D-76, Perceptol, Microdol-X, Atomal, Ultrafin-Plus oder Kodaks T-max, müssen Sie mit den Werten der Ultrafin-Plus-Tabelle rechnen. Die Faktoren für Verdünnungsentwickler, wie Rodinal, Ultrafin liquid oder Neofin, verrät die Rodinal-Tabelle.

Kurventechnik

Bei identischem Betawert unterscheiden sich die Dichtekurven praktisch nicht: Ob man die Dose kippt, rollt oder stehen lässt, die Kurven sind parallel. Die Wahl des Entwicklers hat allerdings erheblichen Einfluss auf das Kurvenverhalten: Die Rodinalkurven sind deutlich s-förmiger als die ultrafinen. Die Empfindlichkeitsausnutzung korreliert mit der Entwicklungszeit: Standentwicklung, mit Verlängerungsfaktoren von 2 und mehr, entlockt der Schicht die optimale Empfindlichkeit. Beim schnellen Kippen, und entsprechend kurzen Zeiten, bleibt das eine oder andere Korn schon mal unentwickelt.

Apropos Korn: In dieser Disziplin glänzt vor allem die Rotationsentwicklung - keiner siebt feiner. Die Kippmethoden sind untereinander nahezu gleichauf, aber das Korn wird ein Stückchen gröber als beim Rollen. Der kontinuierliche Entwicklerstrom scheint die Diffusion von gelöstem Silber aus der Emulsion zu beschleunigen, da sich an der Grenzschicht keine Silberionen ansammeln können. Genau das passiert bei der Standentwicklung: Der Entwickler wird nur sehr langsam ausgetauscht, in der Grenzschicht sammeln sich Silberionen und versperren weiteren Ionen aus der Emulsion den Weg in den Entwickler. So können die Kristalle kaum angelöst werden und wirken grob.

Beim Schärfevergleich mussten wir uns wieder einmal belehren lassen, dass zwischen Theorie und Praxis gelegentlich Welten liegen. Rasiermesserscharfe Bilder ließ die Standentwicklung erwarten, weil sie für schärfesteigernde Kanteneffekte prädestiniert ist. Aber weit gefehlt, denn alle drei Kipp-Methoden bringen schärfere Negative. Und jetzt kommt der Hammer: Bei Standentwicklung liefert Rodinal deutlich unschärfere Bilder als Ultrafin Plus, das aufgrund seiner Rezeptur nur einen geringen Kanteneffekt aufweist.

Weil nicht sein kann, was nicht sein darf, haben wir den Versuch mehrere Male wiederholt - immer mit dem gleichen Ergebnis. Standentwicklung liefert schlechte, mit Rodinal miserable, Ergebnisse. Das könnte daran liegen, dass die Gelatine durch die extrem lange Entwicklung (20 Minuten) übermäßig quillt, und die Silberfäden in der Schicht mobil werden.

Die Rotation kann erwartungsgemäß nicht ganz mithalten, da die kontinuierliche Bewegung die Oxidationsprodukte des Entwicklers sofort aus der Schicht abzieht. Dementsprechend gering ist der Kanteneffekt. Erstaunlich, dass die drei Kipprhythmen trotz sehr unterschiedlicher Bewegungsintensität identische Ergebnisse einfahren.

Die alten Hasen haben es ja schon immer gewusst: SW-Filme fühlen sich dann am wohlsten, wenn sie im Entwickler gekippt werden. Beim Rotieren bleibt das Korn zwar fein, die Schärfe dürfte aber besser sein. Die langen Standentwicklungszeiten missfallen dem Film und die Bilder werden unscharf und grobkörnig. Also besser: Kipp cool.

Entwicklungsdaten

Ultrafin Plus

	Zeit	DIN	Beta	Faktor
Rotation	6:00	23.0	0.60	1.20
3-Sek-K.	5:00	22.8	0.60	1.00
30-Sek-K	6:15	23.0	0.61	1.25
1-Min-K.	7:00	23.2	0.60	1.40
Stand	10:00	23.8	0.61	2.00

Rodinal

	Zeit	DIN	Beta	Faktor
Rotation	11:00	21.0	0.60	1.30
3-Sek-K.	8:30	20.7	0.59	1.00
30-Sek-K	12:00	21.0	0.60	1.40
1-Min-K.	14:00	21.3	0.59	1.65
Stand	20:00	21.7	0.59	2.35

Papierentwickler

Während Filmentwickler in der einschlägigen Literatur auf Dutzenden von Seiten abgefeiert werden, sind Papierentwickler meist mit zwanzig Zeilen abgehakt. Sicher, mit der Qualität des Negativs steht und fällt das ganze Bild. Aber das, was wir eigentlich betrachten, ist das Positiv. Deshalb sollte man Papierentwickler nicht ganz so stiefmütterlich behandeln, denn ohne sie nutzt das schönste Negativ gar nichts.

Woraus bestehen nun Papierentwickler? Ein Blick auf die Rezeptur zeigt die vier Grundbestandteile:

- Entwicklersubstanz
- Sulfit
- Alkali
- Antischmiermittel

Nichts Aufregendes; vielmehr alles Dinge, denen man auch in der Welt der Negativentwickler begegnet. Schließlich tun beide ja offenbar das Gleiche. Doch der Schein trügt. Negativ-Entwickler sollen das Korn klein halten, die Empfindlichkeit gut ausnutzen, helle und dunkle Strukturen durchzeichnen und selbst feinste Details scharf abbilden. Wie das Negativ selbst aussieht, interessiert keinen - vernünftig kopierbar muss es sein.

Anforderungsprofil

Der Papierabzug soll dem Auge gefallen, deshalb erwartet man vom Positiv-Entwickler andere Werte:

- Der Grundsleier muss möglichst gering sein, damit die Lichter blütenweiß erscheinen.
- Die Maximaldichten sollen hoch sein, damit die Schatten schön schwarz kommen.
- Die Entwicklungszeit soll kurz sein. Schließlich will man nicht jeden Abzug zehn Minuten oder länger entwickeln.

Diese Vorgaben machen sowohl eine andere Zusammensetzung des Entwicklers, als auch eine andere Entwicklungsmethode erforderlich. Filme entwickelt man zu einer bestimmten Gradation (das heißt bis zu einem bestimmten Beta-Wert), dann wird die Entwicklung unterbrochen. Beim Ausentwickeln kommen Beta-Werte zwischen 1.5 und 2 zustande, die sich selbst auf Material der Gradation "windelweich" nicht mehr vernünftig kopieren lassen. Papiere werden dagegen immer ausentwickelt, um maximale Bildschwärzen zu erhalten; unterschiedlich graduiertes Papier steuert die Kontraste. Überbelichten und unterentwickeln führt zu grauem Bildmatsch, weil die Schwärzen fehlen.

Verglichen mit den dünnen Filmentwicklern sind Positiventwickler dicke Suppen; die Entwicklersubstanz ist hoch konzentriert und pH-Werte zwischen 10 und 11.5 sorgen dafür, dass in der Schale so richtig die Post abgeht. Dementsprechend schnell legen sie los. In einer Minute, spätestens anderthalb, ist alles vorbei. Damit die Bildweißen bei diesem Kraftakt nicht allzu sehr in Mitleidenschaft gezogen werden, enthalten Positiv-Entwickler reichlich Antischleiermittel. Ein Gramm Kaliumbromid pro Liter ist Standard, zusätzlich fegen oft noch organische Schleierbremsen die Lichter weiß. Dafür ist die Sulfitmenge deutlich niedriger als bei Negativentwicklern. Zuviel Sulfit löst Silberhalogenid-Kristalle an. Dadurch gehen die Maximaldichten in den Keller, und im Entwickler entsteht schwarzer Silberschlamm.

Viel hilft viel

Die Frage nach der richtigen Entwicklersubstanz stellt sich bei den Papierentwicklern kaum. Hier spricht alles für die superadditive Kombination Phenidon-Hydrochinon: Sie lässt sich hoch konzentrieren, entwickelt schnell und ausdauernd und führt kaum zu allergischen Reaktionen, wie das bei Metol öfter der Fall ist. Und bei der Papierentwicklung kommen doch öfter mal Spritzer auf die Haut. Auf Trab bringt man einen Papierentwickler nach der Devise: "Viel hilft viel" - Entwicklersubstanz satt und hoher pH-Wert. Ausgesprochene Speed-Entwickler braut man zusammen, wenn man die üblicherweise 0.2 Gramm auf 0.5 bis 0.7 Gramm pro Liter erhöht. Damit schafft man Bildspurzeiten von 5 Sekunden, und in weniger als einer Minute ist das Bild ausentwickelt.

Die Zusammensetzung des Entwicklers beeinflusst auch den Kontrast. Allerdings sind Gradationswandelorgien, wie sie manche Rezeptbücher und Beipackzettel versprechen, kaum zu erwarten. Eine Stufe ist das Maximum dessen, was der Entwickler hinbiegen kann. Weicharbeitende Entwickler enthalten oft Metol als alleinige Entwicklersubstanz, bei üblichen Karbonat- und Sulfitmengen. Um mehr Zeichnung in die Lichter zu bringen, reduziert man die Kaliumbromid-Konzentration dabei von 1 Gramm auf 0.3 bis 0.5 Gramm pro Liter.

Doch auch Phenidon-Hydrochinon-Entwickler legen Weichspüler-Eigenschaften an den Tag, wenn von beiden etwa 1 Gramm pro Liter eingewogen wird. Zum Vergleich: Bei normalen Entwicklern ist 10 bis 40 Mal mehr Hydrochinon am Werkeln als Phenidon; bei Metol-Hydrochinon-Entwicklern werden Mischungen zwischen 1:1 und 1:8 eingestellt. Entwickler die angeblich "kräftig und hart" arbeiten, enthalten meist sehr viel Hydrochinon und sind auf einen pH über 11 eingeppegelt. Doch Dokumol und Konsorten steilen die Gradation höchstens um eine halbe Stufe auf. Wer richtig hart entwickeln will, greift besser zu einem Lithentwickler für Filme. Der bringt auch Gradation ultrahart zu Papier.

Ton in Ton

Bei Filmen vollkommen unerheblich, bei Papieren aber durchaus wichtig, ist der Bildton, den Größe und Oberfläche der Silberkörner bestimmen. Das Silberbild, das beim Entwickeln entsteht, ist nicht notwendigerweise schwarz - es kann fast alle Farben des Spektrums annehmen. Der Ton hängt dabei allein von Form und Größe des Silberkorns ab.

Wären die Körner rund wie Fußbälle, dann könnte man die Farben des Bildes vorherberechnen - dank der komplexen Streutheorie von Herrn Mie. Die beschreibt die Lichtbrechung für den Fall, dass die Größe der Silberpartikel in etwa der Wellenlänge des sichtbaren Lichtes entspricht - das sind 400 bis 700 Nanometer. Die kleinsten Partikel erscheinen gelb. Mit zunehmender Größe wechselt die Farbe dann über orange, blau, braun bis nach neutralem grau. Doch in der Realität mischen auch die Oberflächenmorphologie und die Art des Halogens - Chlor, Brom oder Jod - mit.

Silberbromidpapiere sind im Farbton kaum zu beeinflussen. Das von Haus aus grobe Korn und die chemische Entwicklung führen in so ziemlich jedem Entwickler zu neutralschwarzem Bildsilber mit hoher Deckkraft. Je höher der Chloridanteil, desto besser lässt sich der Farbton steuern. Chlorsilberemulsionen besitzen kleinere Kristalle, die zudem noch besser löslich sind. Das heißt, durch Zusatz von Silberlösemitteln, wie Sulfit, Thiosulfat oder Amininen, wird zusehends mehr physikalisch entwickelt, der Bildton verschiebt sich. Und zwar zuerst einmal in Richtung braun. Noch stärkere physikalische Entwicklung erzeugt dann bläuliche kalte Bildtöne. Mit einer Überdosis an Silberlösemitteln lässt sich nahezu jeder Farbton erzeugen, die Enddichten sind aber unbrauchbar niedrig.

Reine Hydrochinon-Entwickler entwickeln warme Bildtöne, die bei starker Verdünnung sogar bis ins Rötliche gehen. Allerdings sacken die Maximaldichten in den Keller, und statt in

Sekunden muss man die Entwicklungszeit in Minuten zählen. Aber bräunliches Silber kriegt man auch anders hin. Phenidon-Hydrochinon-Entwickler ohne organische Bremser sind von Haus aus eher warmtonig. Ähnlich wirken die Spuren von Ortho-Phenylendiamin oder anderen Aminen, die normalerweise als Silberlösungsmittel Dienst tun.

Blauschwarze Bildtöne gehen in erster Linie auf das Konto organischer Antischmiermittel, wie Benzotriazol und Nitrobenzimidazol. Beide Stoffe werden normalerweise in Konzentrationen zwischen 50 und 200 Milligramm pro Liter zugemischt. Das führt bei Chlorsilberpapieren zu einer deutlichen Verschiebung des Bildtons in Richtung blau. Vergleichbare Ergebnisse bringt Natriumthiosulfat, wenn es in Gramm-Mengen zugesetzt wird.

Wichtiger als Bildton sind Maximaldichten, die dem Print Tiefe verleihen. Sie werden in erster Linie durch das Papier bestimmt. Dem Entwickler kommt die Aufgabe zu, die Vorgaben der Emulsion auch tatsächlich auszuschöpfen. Rein chemische Entwicklung bringt, dank kräftig dosierter Entwicklersubstanzen und hohem pH-Wert, das satteste Schwarz. Je größer der Anteil der physikalischen Entwicklung ist, desto tiefer gehen die Maximaldichten in den Keller. Ein zügiges Durchentwickeln tut deshalb nicht nur den Nerven des Anwenders gut, sondern vor allem auch der Bildqualität.

Rezepturen für Papierentwickler

Nach Kontaktbelichtung eines Kodak-Stufengraukeils entlockt Tetenals guter, alter Eukobrom-Entwickler als Referenz dem Papier sieben Keilstufen zwischen weiß und schwarz. Ebenso der normal arbeitende Papierentwickler (siehe unten). Der Weichentwickler auf Metol-Basis, der auf dem Agfa-Rezept 105 basiert, dehnt den Umfang auf neun Stufen. Der Hartentwickler, die Modifikation eines Lithentwicklers, staucht ihn auf deren fünf.

Normalentwickler

Wasser 800 ml
Na₄EDTA 2 g
Natriumsulfit sicc. 15 g
Kaliumkarbonat sicc. 5 g
Phenidon 0.2 g *
Diethylenglykol 5 ml *
Kaliumbromid 1 g
Benzotriazol 100 mg
Wasser auf 1 l
pH 10.3-10.5

* Phenidon in Diethylenglykol lösen, dann zugeben.

Weichentwickler

Wasser 800 ml
Na₄EDTA 2 g
Metol 3 g
Natriumsulfit sicc. 15 g
Kaliumkarbonat sicc. 5 g
Kaliumbromid 0.4 g
Wasser auf 1 l
pH 10.2-10.4

Hartentwickler

Wasser 800 ml
Na₄EDTA 2 g
Diethanolamin 20 ml
Diethylhydroxylamin (85% v/v) 10 ml
Natriumsulfit 3 g
Hydrochinon 15 g
Kaliumbromid 2 g
Kaliumkarbonat 45 g
Wasser auf 1 l
pH 10.7-10.9

Das Who is Who der Papierentwickler

Neutralschwarze Entwickler

- Agfa Neutol
- Amaloco AM 2002
- Amaloco AM 6006 Varimax
- Ilford Bromophen
- Ilford Multigrade-Entwickler
- Kodak Dektol
- Tetenal Eukobrom

Warm Schwarze Entwickler

- Agfa Neutol WA
- Amaloco AM 1001
- Tetenal Variospeed W

Kaltschwarze Entwickler

- Agfa Neutol BL
- Amaloco AM 3003

Weich arbeitend

- Agfa Adaptol
- Kodak Selectol Soft
- Tetenal Centrabrom-S

Stoppbäder

Ansel Adams hat einmal gesagt: "Für die meisten Fotografen ist das Stoppbad nichts anderes, als ein Spritzer Säure in einem Eimer Wasser". Eine Fehleinschätzung, die schnell zu Fehlern führt. Stoppbäder sind verdünnte Säuren, die den alkalischen Entwickler neutralisieren und so die Entwicklung unterbrechen. Gleichzeitig werden Reste der Entwicklerlösung aus der Schicht herausgewaschen.

Vorsicht vor den Stoppbad-Mördern

Eine dünne Unterbrecherlösung wird vom Entwickler schnell vernascht, vor allem die stark alkalischen Lithentwickler sind wahre Stoppbad-Mörder. Andererseits sollte man nicht auf die Idee kommen, ein ultrasaures Bad zusammenzumischen, denn eine übersäuerte Emulsion lässt sich nur schwer fixieren. Außerdem wird das Fixierbad im Lauf der Zeit zu sauer, so dass Schwefel ausfallen kann. Auf den richtigen Mittelweg kommt's also an: Der pH-Wert sollte zwischen 3 und 5.5 liegen.

Am gebräuchlichsten ist zweiprozentige Essigsäure. Zur Not tut es auch farbloser Salatessig, den man 1+1 mit Wasser verdünnt. Brauner Essig ist ungeeignet, weil er stinkt und schäumt. Zitronensäure und Natriumbisulfit schonen die Nase, denn sie bringen den pH nach unten ohne zu duften. Die jeweils höher konzentrierten Lösungen (3, 6, 8) eignen sich zum Stoppen von Lith-Entwicklern. Die Lösungen 4, 9, 10 und 11 enthalten Salze statt der freien Säuren und sind daher besser gepuffert. Mit Ausnahme der Bisulfit-Lösungen 7 und 8 können Sie alle Stoppbäder auch für Farbprozesse verwenden.

Doch selbst der beste Unterbrecher taugt nichts, wenn er erschöpft ist. Filme sollte man deshalb immer in frischem Stopper baden, anschließend kann man ihn für die Papierverarbeitung weiterverwenden. Aber auch dort sollte man auf den pH-Wert achten, denn vor allem Barytpapiere mit ihrem saugenden Filz erschöpfen das Stoppbad schnell. "Ich prüfe mit den Fingern" schreibt Ansel Adams, "ob das Unterbrecherbad das etwas schmierige Gefühl beseitigt, das der alkalische Entwickler auf der Emulsion hinterlässt. Ist das nicht mehr der Fall, ist das Unterbrecherbad wirklich erschöpft."

Wer sich aber die Finger nicht gerne nass macht, benutzt lieber einen geeigneten Indikator. Indikatoren sind Farbstoffe, die ihr Aussehen in Abhängigkeit vom pH-Wert ändern. Sicher hat jeder im Chemie-Unterricht einmal Lackmuspapier kennengelernt: Im sauren Bereich rot, im alkalischen blau und im pH-neutralen Wasser violett. Außer Lackmus gibt es noch eine Menge anderer Indikatoren, von denen jeder bei einem bestimmten pH-Wert die Farbe ändert - umschlägt, wie der Chemiker sagt. Sogenannte Universalindikatoren enthalten verschiedene Farbstoffe und zeigen jeden pH-Wert mit einer anderen Farbe an. Spezialisten decken nur einen kleinen pH-Bereich ab, dafür aber teilweise auf die zehntel Stufe genau.

Ein Indikator für das Stoppbad muss rechtzeitig vor dem Neutralpunkt umschlagen. Man kann Bromkresolpurpur verwenden, das im sauren pH-Bereich bis 5.2 gelb ist und oberhalb pH 6.8 violett wird. Es zeigt also den Bereich an, in dem das Stoppbad schlapp macht. Schon eine Messerspitze voll färbt einen Liter frische Lösung kräftig gelb, man darf mit dem Zeug also ruhig geizen. Zeigt der Indikator durch schmutzig-braune Färbung, dass das Stoppbad zur Neige geht, kann man ein paar Spritzer Essigessenz zugeben. So kann man noch eine Weile weiterarbeiten, dann muss die Lösung endgültig erneuert werden.

Wer auf Nummer Sicher gehen will, nimmt Bromkresolgrün. Dieser Indikator ist bis pH 3.8 gelb und ab pH 5.4 blaugrün - also noch im schwach sauren Bereich, mit großem Sicherheitsabstand zum Neutralpunkt. Auch Waschhilfen, die das Auswässern von

Barytpapieren beschleunigen, arbeiten nur in einem bestimmten pH-Bereich. Alkalisch muss es sein, damit die Gelatine anständig quillt und die geladenen Thiosulfationen des Fixierer schneller aus dem Papier diffundieren.

Rezepturen für Stoppbäder (zur Eignung der einzelnen Bäder siehe oben)

1

Wasser 500 ml
Essigsäure (60%) 33 ml
Wasser auf 1 l

2

Wasser 500 ml
Essigsäure (60%) 23 ml
Wasser auf 1 l

3

Wasser 500 ml
Essigsäure (60%) 60 ml
Wasser auf 1 l

4

Wasser 500 ml
Essigsäure (60%) 33 ml
Borax 50 g
Wasser auf 1 l

5

Wasser 500 ml
Zitronensäure 15 g
Wasser auf 1 l

6

Wasser 500 ml
Zitronensäure 37.5 g
Wasser auf 1 l

7

Wasser 500 ml
Natriumdisulfit 30 g
Wasser auf 1 l

8

Wasser 500 ml
Natriumdisulfit 75 g
Wasser auf 1 l

9

Wasser 500 ml
Natriumacetat 20 g
Natriumhydrogensulfat 40 g
Wasser auf 1 l

10

Wasser 500 ml
Natriumacetat 20 g

Schwefelsäure (5%) 175 ml
Wasser auf 1 l

11
Wasser 500 ml
Natriumacetat 50 g
Natriumhydrogensulfat 100 g
Wasser auf 1 l

Indikatoren

Alle hier vorgestellten Indikatoren können Sie über Ihre Apotheke bei Merck in Darmstadt bestellen. Der Preis für die kleinste Verpackungseinheit liegt bei etwa 22 Mark.

Bromkresolpurpur

Farbumschlag: Bis pH 5.2 gelb, ab pH 6.8 violett
Kleinste Verpackungseinheit: 5 Gramm
Vorratslösung: 0.1 g in 100 ml Alkohol

Bromkresolgrün

Farbumschlag: Bis pH 3.8 gelb, ab pH 5.4 blaugrün
Kleinste Verpackungseinheit: 1 Gramm
Vorratslösung: 0.1 g in 100 ml Alkohol

Fixierbäder

Schon 20 Jahre vor der Erfindung des fotografischen Prozesses durch Daguerre entdeckte John Herschel das Fixierbad: "On the hyposulphurous acid and its compounds" beschrieb er, dass Thiosulfate - die er damals fälschlicherweise Hyposulfite nannte - Silberchlorid lösen. Diese Eigenschaften des Thiosulfats macht man sich seit den Tagen von Daguerre und Talbot zunutze. Jedes entwickelte Negativ oder Papierbild enthält noch große Mengen an Silberhalogeniden. Die müssen aus der Gelatineschicht entfernt werden, sonst werden sie im Licht reduziert, und die Negative oder Bilder verschleiern.

Bewährte Rezepturen

Als Lösungsmittel kommen viele Lösungen in Frage, doch in der Praxis haben sich zwei Substanzen durchgesetzt: Natriumthiosulfat und Ammoniumthiosulfat, die das im Wasser schwer lösliche Silberhalogenid in einen löslichen Komplex überführen. Der diffundiert größtenteils schon im Fixierbad aus der Schicht, der Rest wird anschließend ausgewässert.

Fixierbäder auf Ammoniumthiosulfat-Basis arbeiten etwa viermal schneller, als solche mit Natriumsulfat. Sie haben den Namen Schnellfixierer also wirklich verdient. Schnellfixierer sind aber auch wesentlich aggressiver. Bei zu langen Fixierzeiten kann es schon einmal vorkommen, dass Ammoniumthiosulfat auch entwickeltes Bildsilber komplexiert und die Bereiche niedriger Dichte an Zeichnung verlieren. Deshalb arbeiten auch heute noch manche Fine-Print-Fotografen lieber mit den gutmütigen Natrium-Fixierern, auch wenn es deutlich länger dauert. Ihr Argument: Bei der ohnehin sehr zeitaufwendigen Barytverarbeitung kommt es auf ein paar Minuten doch auch nicht mehr an.

Eine bewährte Rezeptur ist der Kodak-Fixierer F-24, der sehr gut haltbar ist. Manchmal fällt Schwefel aus und trübt den Fixierer, dann geben Sie zehn bis fünfzehn Gramm Natriumsulfit pro Liter zu. Das erhöht den pH-Wert und löst den Niederschlag allmählich auf.

Bei Schnellfixierern sollten Sie immer sorgfältig auf die Fixierzeit achten: Papiere sind in 30 bis 60 Sekunden ausfixiert, Filme brauchen 90 Sekunden. Neben dem Zeitfaktor haben Schnellfixierer auch den Vorteil, dass Silberjodid darin leichter löslich ist. Das hat praktische Bedeutung beim Fixieren moderner Negativfilme, die oft relativ viel Silberjodid enthalten. Verwenden Sie anstatt des festen Ammoniumthiosulfats eine sechzigprozentige Lösung, die unter dem Namen Thiosol im Handel ist. Sie lässt sich leichter verarbeiten. Die Gelatineschicht quillt in wässriger Lösung stark auf, dadurch wird sie empfindlich für Kratzer. Dieses Quellen kann man vermindern, wenn man dem Fixierbad eine härtende Substanz, wie Kalialaun, zusetzt. Härtende Fixierbäder wirken erst bei einem pH-Wert um fünf und werden grundsätzlich mit Essigsäure und Boraten gepuffert, um ein Ausfallen basischer Aluminiumsalze aus der Lösung zu vermeiden.

Härtefixierer verwendet man vor allem bei Filmen und Barytpapieren. Von Ansel Adams wird berichtet, dass er Filme und Papiere ins F-6-Bad von Kodak steckte. Heute könnte er es einfacher haben, denn mittlerweile kennt man auch sehr gute Härtefixierer auf Ammonium-Basis. Beachten Sie beim Ansetzen, dass Thiosulfate sehr empfindlich auf Säuren reagieren. Bei rascher Säurezugabe kann Schwefel ausfallen und den Fixierer trüben. Geben Sie Essigsäure deshalb immer nur tropfenweise zu und lösen Sie Borsäure und Kalialaun vorher in ein paar Millimeter Wasser.

Entsilbern oder ab zur Sammelstelle

Überprüfen Sie den pH-Wert der fertigen Lösung: Außer beim Schnellhärtefixierer darf er nirgends unter 4.9 liegen. Die Stabilität Ihres Fixierers können Sie verbessern, wenn Sie zum

Komplexieren von Schwermetallen zwei Gramm Trikaliumzitat und einen Milliliter Fotoplex 2 pro Liter zusetzen.

Fast alle Silbersalze, die das Thiosulfat aus der Schicht löst, schwimmen anschließend im Fixierbad - das können mehrere Gramm Silber pro Liter sein. Dieses Silber in den Ausguss zu gießen, verbietet sich von selbst, denn es belastet die Umwelt und kann nicht wieder verwendet werden. Gebrauchten Fixierer bringt man entweder zurück zum Händler oder zur kommunalen Sammelstelle - oder man entsilbert selbst. Im Gegensatz zu Bleichfixierern lassen sich reine Fixierer leicht aufarbeiten. Bei Farbprozessen sollten Sie daher prüfen, ob das Bleichen und Fixieren wirklich in einem Bad erfolgen muss. Manchmal können die Lösungen getrennt angesetzt und mit einer Zwischenwässerung nacheinander benutzt werden. Das erleichtert die Regenerierung erheblich. Es gibt verschiedene Wege, das Silber aus der Lösung zurückzugewinnen: Reduktion mit Natriumdithionit, Reduktion mit Metallen und Elektrolyse.

Natriumdithionit ist ein weißes Pulver, das man einfach im gebrauchten Fixierer lösen kann. Nach mehreren Stunden hat sich das Silber als schwarzer Schlamm abgesetzt, der klare Überstand kann vorsichtig durch einen Kaffeefilter abgegossen werden. Bei stark sauren Fixierbädern müssen Sie den pH-Wert vorher mit Natriumkarbonat auf mindestens 4.5 bringen, sonst funktioniert die Sache nicht. Der Schlamm wird mehrmals mit Wasser gewaschen und dann getrocknet. Bei der Silberreduktion mit Dithionit entsteht Schwefeldioxid, arbeiten Sie also nur in gut belüfteten Räumen oder im Freien. Rechnerisch braucht man zur Abscheidung von einem Gramm Silber 0.81 Gramm Natriumdithionit. Da man den exakten Silbergehalt des Fixierers nicht kennt, gibt man zwischen fünf und acht Gramm auf den Liter. So arbeitet man auf jeden Fall mit einem Überschuss an Dithionit.

Sie können Silber auch mit unedlen Metallen reduzieren, ein kleines Experiment erläutert das Prinzip: Reiben Sie einen Kupferpfennig mit Alkohol ab, um anhaftendes Fett zu entfernen und werfen Sie ihn in ein Glas mit gebrauchtem Fixierbad. Schon nach kurzer Zeit überzieht eine dünne Silberschicht die Münze. In der Praxis nimmt man statt des teuren Kupfers ein preiswertes Metall, wie Eisen. Gebrauchtes Fixierbad sammeln Sie zunächst in einem ausreichend großen Kanister. Mit jeder Fixierladung werfen Sie eine Handvoll Eisenwolle in den Behälter, verschließen ihn und schütteln ihn dann kräftig. Am folgenden Tag kommt dann eine zweite Handvoll Eisenwolle dazu.

Erst wenn der Tank ganz gefüllt ist, prüfen Sie den Silbergehalt mit einem Teststreifen. Ist kein Silber mehr in der Lösung, können Sie den Überstand abgießen. Der Schlamm bleibt im Behälter, weiterer Fixierer kann zugegossen werden, zusammen mit neuer Eisenwolle. Enthält der Überstand noch Silber muss mehr Eisenwolle in den Kanister gegeben werden. Nach mehreren Zyklen wird der Schlamm schließlich abgefiltert, gewaschen und getrocknet. Er ist dann wesentlich bequemer zu entsorgen, als die großen Fixierermengen. Anstelle des Eisens können Sie auch jedes andere Metall verwenden, dessen Redox-Potential negativer ist als das des Silbers. Zink sollten Sie aus Umweltgründen allerdings vermeiden". Das elektrolytische Entsilbern ist im Labormaßstab nicht wirtschaftlich.

Rezepturen für Fixierbäder

Fixierbad Kodak F-24

Wasser (50°) 500 ml
Natriumthiosulfat krist. 240 g
Natriumsulfit sicc.
10 g Natriumdisulfit 25 g
Wasser auf 1 l

Schnellhärtefixierer

Wasser 400 ml
Ammoniumthiosulfat (60% m/v) 253 g
Natriumsulfit sicc. 15 g
Essigsäure (60%) 26 ml
Borsäure 7.5 g *
Kalialaun 15 g *

* Borsäure zuerst in 150 Millilitern heißem, Kalialaun in 50 Millilitern kaltem Wasser lösen.

Härtefixierbad Kodak F-6

Wasser (50°) 600 ml
Natriumthiosulfat krist. 240 g
Natriumsulfit sicc. 15 g
Natriummetaborat 15 g
Kalialaun 15 g *
Essigsäure (60%) 22.5 ml
Wasser auf 1 l

* Kalialaun zuerst in 50 Millilitern heißem Wasser lösen.

Schnellfixierer

Wasser 400 ml
Ammoniumthiosulfat (60% m/v) 220 g
Natriumsulfit sicc. 25 g
Essigsäure (60%) 22.5 ml
Borsäure 10 g *
Wasser auf 1 l

* Borsäure zuerst in 200 Millilitern heißem Wasser lösen, sonst kann Schwefel ausfallen.

Braun- und Rottoner

Nicht alle Papiere lassen sich gut brauntönen. Warmtonpapiere auf Chlorbromsilber-Basis nehmen Tonungen gut und vor allem schnell an. Agfa liefert in diesem Segment etwa Record Rapid und Portruga Rapid. Bestimmte Toner, wie etwa der Selen-Schwefel-Toner, reagieren eigentlich nur mit Chlorsilber beziehungsweise mit Chlorbromsilber.

Auch PE-Papiere geeignet

Tests haben belegt, dass sich - entgegen manchem Vorurteil - auch PE-Papiere gut durchtönen lassen: Ilford Multigrade RC reagiert annähernd gleich wie das kontrastvariable Barytpapier aus gleichem Haus. Und für Toner, die sehr stark den Papierfilz anfärben, wie etwa die Kupfertoner nach Mutter und nach Namias, eignen sich die kunststoffgeschützten Papiere sowieso besser. Zum Tönen nimmt man einen ganz normalen SW-Abzug. Nach gründlicher Auswässerung kommen die PE-Papiere in den Heißtrockner, die Baryt-Materialien trocknen an der frischen Luft.

Vor dem Tönen werden die Bilder 20 Minuten im Wasserbad eingeweicht, die nachfolgenden Bäder haben natürlich die gleiche Temperatur, im Rahmen dieses Tests 20°C. In der Lösung bewegt man die Papiere ständig mit Zange oder Handschuhen - dabei verlangt jeder Print Einzelbehandlung, sonst kommt es zu Unregelmäßigkeiten. Allerdings kann man nach ein bis zwei Minuten Einzelbenetzen die Prints Rücken an Rücken zusammenlegen. Dabei darf das untere Bild aber nicht an der Schale festkleben.

Toner und Bleicher mit starker Eigenfärbung - und dazu gehören die meisten Ansätze - sind lästig, wenn man das Bild sofort beurteilen will. Soll der Abzug nicht völlig durchgetont werden, damit die Schwärzen schwarz bleiben, muss man unmittelbar nach der Einwirkung wässern, und zwar fließend; doch selbst dann werden die Prints noch kurze Zeit nachtonen.

Die direkten Toner - also die Einbad-Ansätze, bei denen das Bildsilber unmittelbar in andere Silberverbindungen überführt wird - arbeiten da sehr kontrolliert: der Tonungsprozess kann jederzeit an der gewünschten Stelle abgebrochen werden, doch müssen Sie auch hier mit einem kurzen Nachtonen rechnen. Bei den relativ kurzen Zeiten der indirekten Toner hat man weniger Spielraum. Hier werden zunächst die Prints gebleicht. Das Silber verwandelt sich zurück in Silberhalogenid, das nachfolgende Tonungsbad überführt es in eine farbige Verbindung wie das braune Silbersulfid. Grundsätzlich wirken die indirekten Toner besonders stark bei Warmtonpapieren wie Record Rapid.

Der Arbeitsaufwand ist zwar größer, zumal man zwischen den beiden Bädern auch noch wässern muss. Dennoch spart man Zeit, da die Prozesse sehr schnell ablaufen - eine genaue Kontrolle ist kaum möglich. Abhilfe schafft allerdings ein besonders langsamer Bleicher wie der Du Pont 4a-T, aufgeführt beim Rezept für Ilford IT1. Er ermöglicht eine gute Kontrolle.

Überhaupt gibt es genügend Kombinationsmöglichkeiten für jeden Bedarf: So kann man einen der Bleicher verwenden, um dann mit langsamen Einbad-Tonern - wie Schwefel-Selen oder Kodak T8 - weiterzuarbeiten. Oder man tont an, bleicht aus und tont anschließend zu Ende.

Rezepturen:

Schwefelleber-Toner Kodak T-8

Wirkung: Rötlich-brauner Ton.

Papier-Tipp: Agfa Record-Rapid, Ilford Multigrade.

Wasser 750 ml

Kaliumpolysulfid 7.5 g

Soda sicc 2.0 g

Wasser auf 1000 ml

Lösen Sie die Chemikalien bei 40 °C. Ein Liter Toner reicht für 30 bis 40 Prints der Größe 18x24. Tonungsdauer bei 27°C, konstante Bewegung: je nach Papier Beginn 2 bis 4 Min., nach etwa 8 bis 10 Min. fertig.

Kupfer-Toner nach Mutter

Wirkung: Leuchtend rot.

Papier-Tipp: Agfa Brovira und Ilford Multigrade.

Wasser 750 ml

Kupfersulfat 40.0 g

Ammoniumoxalat 10.0 g

Kaliumhexacyanoferrat 30.0 g

Oxalsäure 0.5 g

Wasser auf 1000 ml

Die dunkelgrüne trübe Lösung lässt eine Beurteilung des Prints während der Tonung kaum zu. Bildweißen werden stark angetont. Den Niederschlag auf beiden Papierseiten entfernt man vor der Schlusswässerung mit einem Wattebausch unter fließendem Wasser. Tonungsdauer bei 20°C, konstante Bewegung: 5 bis 7 min.

Kupfertoner nach Namias

Wirkung: Kräftiges Rot oder Lila-Aubergine.

Papier-Tipp: Ilford Multigrade III (rot) und Agfa Brovira Speed (lila-aubergine).

Kaliumzitrat 25.0 g

Kupfersulfat 4.0 g

Kaliumhexacyanoferrat 3.0 g

Kalialaun 5.0 g

Wasser auf 1000 ml

Dieser Ansatz tont auch die Bildweißen an.

Schwefelammonium-Umtoner nach Mutter

Wirkung: Rötlich-braun, etwas kühler als Kodak T-8.

Papier-Tipp: Agfa Record-Rapid, Ilford Multigrade und FB, Kodak Elite.

Lösung A:

Ammoniumsulfid (10 %) 25 ml

Wasser auf 125 ml

Lösung B:

Kaliumhexacyanoferrat 2.0 g

Kaliumbromid 4.0 g

Wasser auf 1000 ml

Lösung B wird unter Umrühren der Lösung A zugesetzt. Die Mischung hält mehrere Wochen.

Schwefel-Selen-Toner Agfa 516

Wirkung: Dunkles magenta-braun
Papier-Tipp: Agfa Record Rapid

Natriumsulfid, krist. 40 g

Wasser auf 100 ml

Selen, grau metallisch 1 g

Der Ansatz eignet sich für chloresilberhaltige Papiere. Das pulverisierte Selen löst sich ohne Erwärmung in der Schwefelnatrium-Lösung, die zum Gebrauch 1:30 verdünnt wird. Diese Verdünnung ist nicht haltbar und scheidet Selen aus.

AnSCO 221

Wirkung: Warmes Gelbbraun bei Warmton-Papieren, sonst kaltes Gelbbraun.

Papier-Tipp: Agfa Record Rapid für starken Ton, andere Papiere für kälteren, schwächeren Ton.

Bleicher:

Wasser (40 °C)

750 ml Kaliumbromid 10 g

Kaliumhexacyanoferrat 50 g

Soda sicc. 17 g

Wasser auf 1000 ml

Toner

Natriumsulfid 45 g

Wasser auf 1000 ml

Der Bleicher wird zum Gebrauch 1:2 verdünnt, der Toner 1:8. Auf den Papieren bildet sich leichter Schwefelniederschlag. Chloresilberhaltige Sorten beanspruchen weniger Zeit, reine Bromsilber-Papiere mehr. Tonungsdauer bei 20°C 2 bis 6 min.

Ilford IT1

Wirkung: Warmes Gelbbraun bei Warmtonpapieren, sonst kaltbraun.

Papier-Tipp: Für starke Wirkung Agfa Record Rapid, alle anderen Papiere für kühleren, schwächeren Ton.

Bleicher

Wasser (40 °C) 750 ml

Kaliumhexacyanoferrat 100 g

Kaliumbromid 100 g

Wasser auf 1000 ml

Toner

Natriumsulfid 50 g

Wasser auf 1000 ml

Beide Lösungen werden zum Gebrauch 1:9 verdünnt. Das Bleichen dauert bei allen getesteten Papieren 2 bis 6 min. Chloresilberhaltige Sorten beanspruchen weniger Zeit, reine Bromsilber-Papiere mehr. Tonungsdauer bei 20°C 1 bis 2 min.

Du Pont 4a-T

Bleicher

Wasser 750 ml

Kaliumhexacyanoferrat 25 ml

Kaliumbromid 27.4 g

Ammoniak (25 %) 2.0 ml

Wasser auf 1000 ml

Gebrauchsverdünnung 1:8. Dieser Ansatz benötigt bis 25 Minuten bis zur vollkommenen Ausbleichung der Schatten und erlaubt so eine gute Kontrolle.

Blau- und Grüntoner

Auch die klassischen Blau- und Grüntoner eignen sich nicht für alle Papiere im gleichen Maß. Die meisten Anleitungen basieren auf Ammoniumeisen (III)-Zitrat. Dieses Salz der Zitronensäure reagiert mit Kaliumhexacyanoferrat (Rotes Blutlaugensalz) und metallischem Eisen zu einem blauen, unlöslichen Eisensalz. Man kann jeder Eisenbehandlung noch ein Boraxbad nachschalten. Das klärt die Lichter, greift jedoch bei längerer Dauer auch das Blau an. Ammoniumeisen (III)-Zitrat ist lichtempfindlich und sollte deshalb in Braunglas-Flaschen lagern.

Empfindliche Lösungen

Blau- und Grüntoner sind empfindlich: Kommen sie mit Laugen zusammen, dann verschwindet das Blau. Abhilfe: Die Lösungen werden mit destilliertem Wasser angesetzt. Manche Autoren empfehlen sogar, ein paar Tropfen Essigsäure ins Waschwasser zu kippen, da sonst die Blaufärbung wieder verschwindet. Vermutlich aber ist unser Leitungswasser heutzutage sauer genug ist, um eine solche Reaktion auszuschließen. Bei unseren Versuchen kamen wir ohne Essigsäure aus.

Vor dem Tönen werden die entwickelten SW-Bilder getrocknet. Die Tonung muss ausgesprochen exakt ablaufen: Es darf immer nur ein Bild in der Schale lagern, mit der Schicht nach oben bei ständiger Bewegung. Das Bild muss nach der Tonung sofort fließend gewässert werden. Dabei dürfen die Papiere nicht übereinander liegen - am besten wässert man jedes einzeln. Beim Wässern in einem älteren Bilderwascher mussten wir leider erleben, dass sich das Kunststoff-Gitter wegen ungleichmäßiger Verwirbelung auf manchen Papieren abzeichnete. Diese Gefahr besteht bei allen eher unstabilen Mitteln für Rot, Grün und Blau.

Die Blautoner hinterlassen deutliche Spuren auf Händen, Wannen und Laboreinrichtung. Also legt man großzügig Zeitungen aus, arbeitet mit Handschuhen und Edelstahlzangen. Die Laborschale muss man sehr gründlich mit der Wurzelbürste reinigen - dennoch eignet sie sich nach dem ersten Tönen für nichts anderes mehr. Wichtig ist gute Belüftung, Beschriften kann man alles mit einem weichen Bleistift. Die meisten Toner wirken kontrastverstärkend; das muss man schon bei der vorhergehenden Vergrößerung des SW-Prints mitbedenken. Die Grüntonung ist im Prinzip eine Blautonung, der eine Braun- oder Sepiatonung folgt.

Rezepturen für Blau- und Grüntoner

Eisenblau-Toner Ansco 241

Wirkung: Sehr kräftiges Blau, besonders PE wird härter. Das Blau läuft auch in den weißen, unbelichteten Bildrand. Für Warmton-Papiere wie Portrigo oder Record Rapid von Agfa nicht zu empfehlen, da die Bildweißen hier sehr stark angetönt werden.

Papier-Tipp: Ilfobrom Galerie, Kodak Elite (weicher, gelblicher). Bei anderen Papieren werden Weißen etwas gelb.

Wasser (50°) 500 ml
Ammoniumeisen(III)-Zitrat, grün 8 g
Essigsäure 98% 242 ml
Wasser (20°) auf 1000 ml

Der Ansatz riecht stark, die Tonung dauert ein bis zwei Minuten. Die ungefähr ein- bis eineinhalbminütige Nachbehandlung in Boraxlösung 0.5 Prozent macht das Blau wesentlich

kälter, und die Weißen klären sich etwas. Bei zu langer Behandlung mit Borax geht das Blau fast völlig verloren, die Prints bleichen aus.

Eisenblau-Toner Kodak T-12

Wirkung: Kräftiges Blau, das bei einer Reihe von Papieren leicht grünlich-schmutzig wirkt. Das Bild wirkt etwas blasser als bei Ansco 241, die Bildweißen werden aber auch nicht so stark angefärbt.

Papier-Tipp: Alle Papiere eignen sich.

Wasser (50°) 500 ml
Ammoniumeisen(III)-Zitrat, grün 4 g
Rotes Blutlaugensalz 4 g
Oxalsäure 4 g
Wasser (20°) 1000 ml

Die Tonung dauert zwei bis drei Minuten. Bei Nachbehandlung mit 0.5 prozentiger Boraxlösung nehmen die Bilder einen sehr schönen, kühlen Ton an, der jedoch nicht haltbar ist - in der nachgeschalteten Wässerung entfärbt sich das Papier.

Eisenblau-Toner Ilford IT-6

Wirkung: Kräftiges kühles Blau, Gradation steilt auf.

Lösung A:

Wasser (50°) 750 ml
Rotes Blutlaugensalz 2 g
Schwefelsäure (98%) 4 ml
Wasser auf 1000 ml

Lösung B:

Wasser (50°) 750 ml
Ammoniumeisen(III)-Zitrat, grün 2 g
Schwefelsäure, konz. 4 ml
Wasser auf 1000 ml

Zum Gebrauch werden beide Lösungen zu gleichen Teilen gemischt. Die Tonung dauert bei 30°C rund drei bis vier Minuten. Nie Wasser in die Säure gießen, sondern stets die Säure in ein Wassergefäß geben!

Eisenblau-Toner Gevaert G.416

Wirkung: Sehr weiches, schönes Blau, das sich nicht in die weißen Bildränder hin ausdehnt. Papier-Tipp: Alle anderen Papiere außer Agfa Multicontrast 310 RC, bei dem das Papierweiß gelb wird.

Bleichbad

Wasser (20°) 750 ml
Ammoniak, konz. 0.910 (25%) 3 ml
Rotes Blutlaugensalz 50 g
Wasser auf 1000 ml

Toner

Wasser 750 ml
Ammoniumeisen(III)-Zitrat, grün 20 g
Salzsäure, konz. 50 ml
Wasser auf 1000 ml

Zuerst wird drei bis fünf Minuten gebleicht, dann fließend gewässert, bis die gelbliche Färbung verschwunden ist. Die anschließende Tonung dauert bei den Barytpapieren drei bis fünf Minuten und bis zu zehn Minuten bei PE-Material.

Grüntoner zur Nachbehandlung

Wirkung: Kräftige olivgrüne Töne.
Papier-Tipp: PE-Papiere tonen unvollständig und wirken damit fleckig.

Wasser (20°) 750 ml
Natriumsulfid, krist. 10 g
Salzsäure, konz. 50 ml
Wasser auf 1000 ml

Der Farbumschlag nach Grün setzt sofort ein und ist nach 20 bis 30 Sekunden beendet.

Eisengrün-Toner Ansco 251

Wirkung: Ein blasses Grün bis Blaugrün.
Papier-Tipp: Kodak Elite, Ilfobrom Galerie. PE-Papiere werden etwas fleckig.

Bleichbad

Wasser (20°) 750 ml
Ammoniak, konz. 0.910(25%) 15 ml
Rotes Blutlaugensalz 40 g
Wasser auf 1000 ml

Blautoner

Wasser 750 ml
Ammoniumeisen(III)-Zitrat, grün 17 g
Salzsäure, konz. 40 ml
Wasser auf 1000 ml

Grüntoner

Wasser 750 ml
Natriumsulfid, krist. 2 g
Salzsäure, konz. 10 ml
Wasser auf 1000 ml

Nach zwei bis dreiminütigem Bleichen wird 20 bis 30 Minuten fließend gewässert. Anschließend kommt das Blatt drei bis fünf Minuten in den Blautoner, wird danach wieder 15 bis 20 Minuten unter fließendem Wasser gewässert und schließlich drei bis sechs Minuten grün getont. Die Schlusswässerung dauert 20 bis 30 Minuten.

Sensitometrie - die Gradation

Begriffe wie Gradation, Belichtungsumfang, Kopierumfang oder Kontrast gehören zur Alltagssprache des Fotografen. Welche Sachverhalte mit diesen Begriffen aber tatsächlich verknüpft sind, ist selbst altgedienten Praktikern oft schleierhaft. Dabei ist das Wissen um Zusammenhänge nicht nur graue Theorie, sondern eine wichtige Voraussetzung für gezieltes Arbeiten.

Die Schwärzungskurve

Ein wesentliches Bindeglied zwischen Theorie und Praxis ist die Dichtekurve. Sie beschreibt die optische Dichte eines fotografischen Materials nach der Verarbeitung in Abhängigkeit von der Belichtung. Die Dichtekurve ist die wichtigste Kennlinie einer fotografischen Schicht; in der Schwarzweiß-Fotografie bezeichnet man sie auch als Schwärzungskurve.

Fast jedes fotografische Material ergibt nach der Entwicklung eine gewisse Dichte, ohne dass es belichtet wurde. Diese Dichte bezeichnet man als Schleierdichte D_s . Als Schwelle bezeichnet man den Bereich, ab dem durch die Belichtung eine Dichte von 0.1 über die Dichte D_s erzeugt wird - der Bereich der ersten wahrnehmbaren Schwärzung D_{max} bezeichnet die durch die Entwicklung maximal erreichbare Dichte oder Schwärzung. D_{max} ist zum Beispiel abhängig vom Silbergehalt eines fotografischen Materials. Grob gesagt: Je höher der Silbergehalt, umso größer der D_{max} .

Zwischen der Schwelle und D_{max} liegt ein mehr oder weniger geradliniger Bereich. Charakteristisch für die Neigung dieses Bereiches ist ein Winkel α . Ist α groß, so spricht man von einem steil arbeitenden Material. Die Steigung DD/DH ist die Gradation g eines fotografischen Materials. Der Kopierumfang eines fotografischen Materials ist die Differenz zwischen zwei Belichtungswerten - jener Belichtung, die notwendig ist, 90 Prozent der maximalen Dichte hervorzurufen und einem Belichtungswert, der definitionsgemäß 0.04 Dichtepunkte über der Dichte D_s liegt.

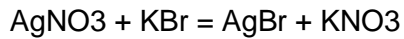
Der Belichtungsspielraum eines fotografischen Materials ist der Bereich, in dem die Belichtung liegen sollte, damit das Material weder über- noch unterbelichtet ist. Je steiler die Gradation, desto geringer der Belichtungsspielraum des fotografischen Materials. Nach Möglichkeit sollte der Belichtungsspielraum den Helligkeitsumfang des Motivs abdecken. Um die Dichtekurve eines Materials zu bestimmen, belichtet man einen sogenannten Stufenkeil auf. Nach der Verarbeitung misst man mit einem Dichtemessgerät (Densitometer) die optische Dichte der einzelnen Stufen und stellt sie in eine Beziehung zur Belichtung - zunächst in einer Tabelle. Setzt man die Werte grafisch um, so entsteht die Dichtekurve.

Die Keilschrift

Will man nur eine vergleichende Aussage treffen, so kann man die belichteten Keile auch visuell beurteilen. Ein Keil, bei dem mehr Stufen sichtbar sind, der also mehr Grauwerte zwischen maximaler und minimaler Schwärzung hat, charakterisiert ein weiches Material als ein Keil mit nur wenigen Graustufen. Aufnahmematerialien mit flacher Gradation setzen hohe Motivkontraste in geringe Bildkontraste um, während Materialien mit harter Gradation geringe Motivkontraste zu hohen Bildkontrasten verstärken. Bei normaler Gradation entsprechen die Motivkontraste weitgehend den Bildkontrasten. Sucht man nach den Ursachen für unterschiedliche Kontrastwiedergabe, muss man buchstäblich in die Tiefe der Materie - der fotografischen Emulsion - eindringen.

Zunächst eine Beobachtung: Niedrigempfindliche (langsame) Emulsionen zeigen meist einen kleinen Belichtungsspielraum und damit eine harte Gradation, während hochempfindliche

Emulsionen genau in die entgegengesetzte Richtung tendieren. Untersucht man Proben einer Emulsion, die bei deren Herstellung entnommen werden, so beobachtet man, dass die Temperatureinwirkung nach der "Fällung" der Emulsion die Empfindlichkeit anhebt, die Gradation jedoch flacher wird. Die Emulsion wird dabei auf eine Temperatur von 50 bis 65°C erwärmt. Eine solche Temperaturbehandlung bezeichnet man als physikalische Reifung (oder Ostwaldreifung) einer fotografischen Emulsion. Die Fällung wird durch folgende chemische Gleichung charakterisiert:



In Worten: Bringt man Lösungen von Silbernitrat und Kaliumbromid zusammen, ergeben sich Silberbromid (Feststoff) und Kaliumnitrat (Lösung). Silberbromid AgBr spielt im fotografischen Elementarprozess eine entscheidende Rolle:



Es liegt deshalb auf der Hand, dass die Gradation mit der Beschaffenheit von AgBr zusammenhängen muss. Um zu klären, worin dieser Zusammenhang besteht, untersuchen wir die Proben aus der physikalischen Reifung und stellen fest, dass es im Verlauf der Reifung zu einer Umverteilung bei den Größen der AgBr-Kristalle kommt: kleine Kristalle lösen sich auf, da ihre Löslichkeit größer ist als die großer Kristalle. Insgesamt nimmt die Zahl der Kristalle ab und deren mittlere Größe zu. Die Korngrößenverteilung wird im Verlauf der physikalischen Reifung breiter. Daraus können wir nun den Schluss ziehen, dass die Gradation einer fotografischen Emulsion durch die Korngrößenverteilung festgelegt ist.

Je enger die Korngrößenverteilung ist - das heißt: je weniger sich die Kristalle in ihrer Größe unterscheiden -, desto geringer der Belichtungsspielraum und desto steiler die Gradation. Und umgekehrt: je breiter die Korngrößenverteilung, also je unterschiedlicher die Größe der Kristalle in einer Emulsion ist, desto größer der Belichtungsspielraum und desto weicher die Gradation. Gleichzeitig können wir daraus ableiten: Je lichtempfindlicher fotografische Schichten sind, desto weicher die Gradation. Je feinkörniger eine fotografische Schicht ist, desto steiler die Gradation. Fazit: Die Gradation einer fotografischen Emulsion wird durch die Korngrößenverteilung der Silberhalogenid-Kristalle in dieser Emulsion bestimmt. Sie wird charakterisiert durch die Steigung des linearen Teils der Dichtekurve (g-Wert) und legt den Belichtungsspielraum und damit auch den Kopierumfang eines fotografischen Materials fest.

Der Betawert als Richtgröße

Neben dem Gamma-Wert für die Gradation eines Materials hat sich in den letzten Jahren der Beta-Wert durchgesetzt, auch als Kontrastindex, mittlere Gradation G oder G-Kontrast bezeichnet. Dieser Wert gilt nur für Filme und bezieht sich auf jenen Teil der Dichtekurve, der unter Durchschnittsbedingungen beim Fotografieren ausgenutzt wird. Der Beta-Wert ergibt sich aus der Steigung einer Gerade, die zwischen zwei Punkten auf der Schwärzungskurve gezogen wird. Ein Punkt liegt 0.1 Dichtewerte über der Schleierdichte, der zweite ist 1.5 Belichtungseinheiten davon entfernt. Im Gegensatz zum Gamma-Wert erfasst der Beta-Wert damit auch Teile der Schwärzungskurve, die nicht geradlinig verlaufen. Der numerische Wert von Beta ist immer kleiner als der von Gamma, eine direkte Beziehung zwischen beiden Werten existiert jedoch nicht.

Der Beta-Wert ist eng mit der Empfindlichkeit verknüpft, denn auch der sogenannte Empfindlichkeitspunkt eines Fotomaterials ist mit 0.1 über Schleier definiert.

Sensitometrie - die Empfindlichkeit

Vor allem die Filmhersteller überschlugen sich fast mit der Herstellung immer empfindlicherer Aufnahmematerialien; die ISO-, ASA- oder DIN-Werte scheinen inflationär nach oben zu schnellen. Frühere High-Speed-Filme mit 400 ASA wirken geradezu behäbig im Vergleich zu den neuen Mega-Stars, die bis zu achtmal empfindlicher sind. Doch gerade in den werbewirksamen Zahlenspielen um das Ausreizen der Lichtempfindlichkeit kommt einiges an Sprachverwirrung zum Vorschein. Löst man das Begriffsknäuel, so zerfällt es in folgende drei Teile:

- Eigenempfindlichkeit
- Spektrale Empfindlichkeit
- Empfindlichkeitsausnutzung

Wo nichts ist, ist nichts zu holen

Die ersten beiden Punkte sind nur vom Fachmann zu unterscheiden und werden als Summe der Empfindlichkeit einer fotografischen Schicht bezeichnet. Der Begriff Empfindlichkeitsausnutzung bezieht sich dagegen auf den Entwickler. Gemeint ist, bis zu welchem Grad ein Entwickler die Empfindlichkeit des Films zu nutzen vermag. Das bedeutet, dass nicht ein Entwickler für die Empfindlichkeit verantwortlich ist, sondern nur die fotografische Schicht. Getreu dem bekannten Motto - "wo nichts ist, ist nichts zu holen" - hilft auch der beste Entwickler bei einer unempfindlichen Schicht nicht weiter. Auch durch das sogenannte Pushen lässt sich die Empfindlichkeit nur unwesentlich steigern - was sich tatsächlich ändert, ist der Verlauf der Schwärzungskurve.

Für die Angabe der Empfindlichkeit gibt es verschiedene Möglichkeiten. Bei Filmen wird sie als ASA-, DIN- oder ISO-Wert angegeben. Bei Empfindlichkeitswerten in DIN liegt ein logarithmisches Maßsystem vor. Das heißt: Bei Verdoppelung der Empfindlichkeit hat man nicht auch eine Verdoppelung der DIN-Zahl, sondern einen Unterschied um drei DIN-Stufen. Drei DIN-Stufen entsprechen einer Blende, ein DIN einer Drittelblende. Das ASA-System ist ein lineares System, sodass die Verdoppelung der ASA-Zahlen auch einer Verdoppelung der Empfindlichkeit entspricht. Seit einiger Zeit werden beide Werte nebeneinander in der ISO-Norm angegeben (Beispiel: ISO 100/21°).

Der Grad der Empfindlichkeit leitet sich aus der Belichtung ab und bezieht sich auf jene Lichtmenge, die nötig ist, um eine festgelegte optische Dichte nach der Verarbeitung zu erreichen. Also: Ein Material ist umso empfindlicher, je kürzer die Belichtungszeit ist, die man zum Erreichen der festgelegten Dichte benötigt. Für Schwarzweiß-Materialien ist die Dichte auf 0.1 über dem Grundschleier festgelegt. In der Dichtekurve wird dieser Punkt als Speed Point bezeichnet. Dieser Definition liegt zugrunde, dass sich die für den Speed Point festgelegte Dichte aufs Fotopapier bringen lässt, also "kopierfähig" sein muss.

Nach einer älteren Definition ist der Speed Point der Punkt, den man heute als Schwelle bezeichnet und an dem die Dichte über die Dichte von Untergrund plus Schleier anwächst. Dies hatte jedoch besonders in der bildmäßigen Fotografie unangenehme Auswirkungen: Materialien, die sich ansonsten gleich verhalten, unterscheiden sich im Verlauf geringerer Dichten in ihrer Empfindlichkeit. Dieser Unterschied lässt sich jedoch nicht kopieren. Einen einfachen Empfindlichkeitsvergleich kann jeder Anwender selbst vornehmen. Zunächst muss man auf konstante Verarbeitungsbedingungen achten, dann nimmt man eine Blendenreihe auf. Durch Vergleich von zusammen entwickelten Blendenreihen kann man relative Empfindlichkeitsangaben machen. Unterschiede bis zu einer Drittelblende sind noch zu erkennen.

Der erwünschte Fehler

Soviel zu dem, was man sehen und begreifen kann. Wesentlich komplexer ist das, was sich hinter den Kulissen abspielt und die Eigenempfindlichkeit der fotografischen Schicht bestimmt. Reine Silbersalzkristalle sind wenig lichtempfindlich. Diese Kristalle bestehen nur aus Silber und - zum Beispiel - Bromionen. Erst Fremdstoffe oder "Verunreinigungen" dieser Kristalle an der Oberfläche der Kristallgitter (Kristallfehler) rufen die Lichtempfindlichkeit hervor. Kristallfehler entstehen zum Beispiel durch den Einbau von Fremdionen, wie Iodid oder Sulfid, in das Kristallgitter. Diese Ionen haben einen anderen Platzbedarf im Gitter (Ionenradius) und führen so zu Verzerrungen des Gitters.

Besonders aktiv sind Stellen, an denen Kristallfehler an die Oberfläche stoßen, da dort die Ladungen nicht immer von den umgebenden Ionen neutralisiert werden können. Man bezeichnet solche Stellen auch als Empfindlichkeitsstellen. Bei Einbau von Sulfid Ionen (S^{2-}) muss ein Silberion auf einen sogenannten Zwischengitterplatz wandern (Frenckelsche-Fehlordnung), damit das Ladungsgleichgewicht erhalten bleibt. Diese Stoffe, die die Empfindlichkeit bewirken, sind entweder bereits in der Gelatine als sogenannte Reifkörper enthalten oder werden der Gelatine gezielt in Spuren zugesetzt. Bei der Belichtung verwandeln sich die so entstandenen "Störstellen" dann in Entwicklungskeime. Die unterschiedliche Empfindlichkeit verschiedener Silberbromidschichten rührt daher, dass an kleine Reifkeime bei der Entwicklung viel Silber angelagert werden muss, an große weniger.

Die Lichtempfindlichkeit im Eigenempfindlichkeitsbereich der Kristalle ist proportional zum Kristallvolumen. Das bedeutet, dass Schichten mit großen Körnern empfindlicher sind als solche mit kleineren Körnern, die dafür feinkörniger arbeiten. In den letzten Jahren haben die Hersteller verschiedenste Tricks ersonnen, um die Kristalloberfläche zu vergrößern und damit die Empfindlichkeit zu erhöhen, ohne dass die Emulsion gleichzeitig grobkörniger wird. Das Ergebnis sind die bei Kodaks T-max-Filmen verwendeten T-Grains und Core-Shell-Emulsionen, wie sie zum Beispiel für den Ilford 400 Delta gegossen werden.

Daneben spielt die spektrale Sensibilisierung eine wichtige Rolle, denn reines Silberhalogenid ist unempfindlich gegenüber grünem, gelbem oder rotem Licht. Die Eigenempfindlichkeit liegt nur im blauen Spektralbereich. Es gibt jedoch Substanzen, die an die Oberfläche der Silberhalogenidkristalle angelagert werden können und den fotografischen Schichten die "Farbenblindheit" austreiben. Diese Entdeckung geht auf H. W. Vogel (1873) zurück. Typisch für solche sogenannte Sensibilisierungsfarbstoffe ist, dass abwechselnd Doppel- und Einfachbindungen die Atome verbinden; man bezeichnet das als konjugiertes System. Sensibilisatormoleküle müssen zwei wichtige Grundbedingungen erfüllen:

- Sie müssen an der Oberfläche des Silberhalogenidkristalls angelagert werden.
- Das Molekül darf die übernommene Lichtenergie nicht in Wärme umwandeln, sondern muss sie an die Silberhalogenidkörner weiterleiten.

Solche Sensibilisatoren steigern die Empfindlichkeit um mehrere Blenden. Ohne sie wäre auch die heutige Farbfotografie nicht denkbar.

Sensitometrie - Filme eintesten

Ein einmal eingetestetes Verarbeitungsschema liefert immer gleichbleibend gute Negative, die sich ohne Verrenkungen und lange Belichtungsreihen kopieren lassen. Wir stellen Ihnen dazu einen Zweistufenplan vor: Die erste Stufe liefert ohne langwierige Materialschlachten gute Anhaltswerte für Entwicklungszeit, Beta-Wert und Empfindlichkeitsausnutzung. Die zweite Stufe für den Perfektionisten entreißt Film und Entwickler auch noch das letzte Geheimnis. Sie brauchen dazu nur Dinge, die sicher ohnehin schon in Ihrer Sammlung sind:

- 1 bis 2 Liter Entwickler
- 1 bis 2 Filme mit je 36 Aufnahmen
- Graukarte (Fotowand Technik oder Kodak)
- Jobo Farbtesttafel
- mattschwarzer Hintergrundkarton, 50x70 Zentimeter
- Kamera mit Stativ
- Vergrößerer
- Entwicklungsdose
- Dichtemessgerät (hier können alle Labor-Belichtungsmesser Dienst tun, die den gemessenen Wert als optische Dichte ausweisen)

Wenn Sie mehrere Entwicklungsdosen Ihr Eigen nennen, sollten Sie auf eine zurückgreifen, die mit 250 Millilitern Füllvolumen auskommt - das spart Entwickler. Und nehmen Sie hier unbedingt schwarzen Karton als Hintergrund für die Aufnahmen, denn grauer oder gar weißer Hintergrund erzeugt soviel Streulicht, dass die Werte unbrauchbar werden.

Der Testaufbau

Jede Kamera, die über manuelle Verschlusszeiten- und Blendeneinstellung verfügt, ist für unseren Test geeignet. Wer mehrere Objektive besitzt, sollte auf eine Festbrennweite zwischen 50 und 85 Millimeter zurückgreifen. Als Testvorlage dient eine Jobo-Farbtesttafel. Aber bitte keine, die Sie auf dem Flohmarkt erhandelt haben. Zumindest das schwarze und das weiße Feld in der Graustufenleiter müssen sauber und ohne Gilb sein, wenn Sie keine Fahrkarten messen wollen.

Kleben Sie die Testtafel mit doppelseitigem Klebeband oder Fotoecken auf den Karton und platzieren Sie Karton und Kamera so, dass die Tafel direkt von vorne abgebildet wird. Der Abstand zwischen Kamera und Tafel sollte dabei in etwa der 15fachen Objektivbrennweite entsprechen. Bei einem 50-Millimeter-Objektiv sind das 75 Zentimeter, bei einem 85-Millimeter-Objektiv 1.30 Meter.

Dem Faktor Licht sollten Sie Ihre besondere Aufmerksamkeit schenken: was aus Glühbirnen und Neonleuchten flutet, hat eine andere spektrale Zusammensetzung als sogenanntes Normlicht, auf das die Belichtungsmesser geeicht sind. Das birgt die Gefahr, dass der Belichtungsmesser andere Dinge sieht als der Film. Arbeiten Sie deshalb lieber mit diffusem Sonnenlicht oder einer vernünftigen Blitzanlage. Wer blitzt, ist unabhängig von Tageszeit und Wetter, braucht aber zusätzlich einen vernünftigen Blitz-Belichtungsmesser. Diffuses Sonnenlicht um die Mittagszeit ist ohne Frage der einfachste Weg zu konstanter Beleuchtung. Achten Sie auch darauf, dass keine Reflexe auf der Testtafel entstehen. Schräges Licht ist da sehr nützlich, egal ob es von oben oder von der Seite kommt.

Laden Sie die Kamera wie immer und markieren Sie den Film am Patronenausgang mit einem wasserfesten Filzstift, bevor Sie den Deckel schließen. Danach machen Sie zwei Leeraufnahmen mit geschlossenem Objektivdeckel. Kamera oder externen

Belichtungsmesser stellen Sie auf den Wert ein, den der Film-Hersteller angegeben hat; dann ermitteln Sie mit Hilfe einer Graukarte die korrekte Belichtung. Die Beleuchtung muss während der gesamten Aufnahmeserie konstant bleiben - kontrollieren Sie deshalb die Lichtwerte in regelmäßigen Abständen. Wählen Sie Blende 8 vor. Wenn die entsprechende Belichtungszeit dabei auf einem Zwischenwert landet, nehmen Sie die längere Zeit und schließen Sie die Blende um eine halbe Stufe auf 8-11. So beträgt der effektive Unterschied zwischen gemessener und tatsächlicher Lichtmenge maximal eine viertel Blende.

Film ab

Dann heißt es: Film ab. Nehmen Sie mit der ermittelten Verschlusszeit eine halbstufige Blendenreihe von +1.5 bis -1.5 Blenden auf. Je nachdem, welche Arbeitsblende Sie benutzen, kommt die erste oder die zweite Reihe der Tabelle in Frage. Wenn Sie alle sieben Aufnahmen im Kasten haben, drücken Sie noch zweimal bei geschlossenem Objektivdeckel ab und wiederholen Sie die Reihe so oft, bis der Film voll ist. Der volle Film wird zurückgespult und soweit aus der Patrone gezogen, bis die Filzstiftmarkierung auf der Rückseite auftaucht. An dieser Markierung wird er abgeschnitten. Wenn Sie anschließend noch die Ecken anschrägen, geht das Einfädeln in die Spirale später leichter von der Hand.

Jetzt wird es dunkel. Trotzdem müssen Sie beim Einspulen erkennen, wann eine Blendenreihe zu Ende ist und die nächste beginnt. Um die richtige Länge der Filmschnipsel ertasten zu können, bringen Sie am Tisch Ihrer Dunkelkammer mit Tesafilm zwei Streichhölzer oder etwas ähnliches im Abstand von 35 Zentimetern an - das entspricht neun Aufnahmen. Die ersten 35 Zentimeter werden im Dunkeln herausgezogen, abgeschnitten und in die Spirale der Entwicklungsdose eingespult. Packen Sie den Rest des Films in eine lichtdichte Filmdose. Die Entwicklungszeit eines Films sollte irgendwo im Bereich zwischen 3 und 20 Minuten liegen. Zeiten unter 3 Minuten lassen sich nicht hinreichend genau reproduzieren, Zeiten über 20 Minuten strapazieren die Nerven über Gebühr und weichen die Gelatine so stark auf, dass die Schicht leicht zerkratzt wird. Um nicht sämtliche Entwicklungszeiten durchtesten zu müssen, teilt man den Bereich in fünf Stufen auf: 3, 5, 8, 13 und 20 Minuten. Der Verlängerungsfaktor von einem Zeitwert zum nächsten ist dabei immer konstant, auch wenn die Abstände zwischen den einzelnen Zeiten unterschiedlich groß sind.

Mit drei Test-Entwicklungen umzingeln wir die richtige Entwicklungszeit. Bei der ersten Entwicklung können Sie den Bewegungsrhythmus noch frei wählen, legen sich damit für die weitere Verarbeitung jedoch fest. Ob Sie alle drei Sekunden kippen, alle dreißig Sekunden, dreimal zu jeder vollen Minute oder die Dose rotieren lassen, ist Ihre Sache - wichtig ist, dass Art und Intensität der Bewegung immer gleich bleiben. Ähnliches gilt für die Temperatur. Der Wert, den Sie beim ersten Durchgang wählen, muss in Zukunft auf ein halbes Grad genau eingehalten werden. Um einen ersten Anhaltspunkt zu haben, starten wir mit der mittleren Entwicklungszeit von acht Minuten. Nach dem Entwickeln wird wie üblich gestoppt, fixiert, gewässert und getrocknet. Danach nimmt der trockene Filmstreifen im Vergrößerer Platz, und ein Abbildungsmaßstab, der in etwa einer 18x24-Vergrößerung entspricht, wird eingestellt.

Dann tritt der Dichtemesser auf den Plan. Damit uns eventuelle Unregelmäßigkeiten in der Ausleuchtung des Bildfeldes nicht die Tour vermasseln, platzieren wir die Messsonde in der Mitte des Bildfeldes und lassen sie dort liegen. Stattdessen verschieben wir den Filmstreifen solange, bis ein unbelichteter Steg auf die Sonde fällt. Die Dichte dieses klaren Filmstücks entspricht dem Schleier - darauf wird das Densitometer genullt. Anschließend wird von jeder Aufnahme die Dichte des schwarzen Testtafeldes ermittelt. Das ist logischerweise im Negativ immer die hellste Graustufe der Reihe. Messen Sie für die beiden Negative, deren Werte am nächsten bei 0.10 liegen, auch noch die Dichte des dunkelsten Feldes, entsprechend dem Weiß der Vorlage. Dabei ist es wichtig, den Einfluss von Streulicht möglichst gering zu halten. Passen Sie ein gelochtes Stück Papier so in die Negativbühne

ein, dass nur das weiße Testtafel Feld frei bleibt. Mit diesen Messwerten können Sie den Beta-Wert nach folgender Formel bestimmen (das klingt komplizierter, als es tatsächlich ist):

$$\beta = (\text{Dichteweiß} - \text{Dichteschwarz}) / 1.6$$

Von diesem soeben ermittelten Beta-Wert hängt das weitere Vorgehen ab. Liegt der Acht-Minuten-Wert zwischen 0.50 und 0.75, dann sind Sie schon auf dem richtigen Dampfer. Entwickeln Sie die beiden nächsten Streifen fünf und dreizehn Minuten lang. Ist der Beta-Wert kleiner als 0.50, dann sind die Negative zu flau, und Ihre nächsten Entwicklungszeiten sind dreizehn und zwanzig Minuten. Ist Beta größer als 0.75, dann sind die Negative zu hart und Sie machen mit drei und fünf Minuten weiter. Verwenden Sie auf jeden Fall immer frischen Entwickler, auch wenn Sie dem alten durchaus noch ein paar Meter Film zutrauen. Nur so haben alle Streifen gleiche Startbedingungen.

Wenn selbst die Eckwerte aus der Reihe tanzen, müssen wir die Rahmenbedingungen ummodellieren. Landet der Beta-Wert selbst nach drei Minuten Entwicklungszeit über 0.75, dann wird der Entwickler 1+1 verdünnt - oder 1+3, wenn 1+1 noch nicht genug war. Sind die Beta-Werte auch nach zwanzig Minuten noch zu niedrig, müssen wir den Entwickler konzentrierter ansetzen oder die Temperatur erhöhen. Bei 24 Grad entwickelt der gleiche Beta-Wert in nur 70 Prozent der Zeit, bei 28 Grad braucht er nur die halbe Zeit.

Mit den gemessenen Negativ-Dichten können Sie aber nicht nur Beta-Werte sondern auch die reale Empfindlichkeit des Films für Ihr Arbeitsschema errechnen: Überprüfen Sie zuerst, in welchem Negativ das schwarze Feld der Vorlage eine Dichte von 0.1 Einheiten über Schleier hat. Notieren Sie sich den entsprechenden Belichtungsart (zum Beispiel -0.5 Blenden) und suchen Sie aus der Tabelle am Ende den zugehörigen Empfindlichkeitswert Delta DIN. Bei -0.5 Blenden beträgt er +1.5. Diesen Wert müssen Sie mit der eingestellten Empfindlichkeit verrechnen - je nach Vorzeichen dazu addieren oder davon abziehen. Obwohl wir schwarzen Hintergrundkarton benutzen, wird unsere Messung noch von Streulicht beeinflusst. Die Rückeichung mit einem DIN-Sensitometer ergab einen Unterschied von etwa einem DIN - unabhängig von Film und Entwickler. Bei mehrschichtvergüteten Objektiven fester Brennweite ist es ein bisschen weniger, bei Zoomobjektiven oder Optiken mit nur einfacher Vergütung noch ein bisschen mehr. Dieses eine DIN ziehen wir bei der Berechnung der effektiven Empfindlichkeit gleich ab:

$$\text{Nennempfindlichkeit} - 1 \text{ DIN} \pm \text{Delta DIN} = \text{effektive Empfindlichkeit}$$

Das gleiche Spielchen machen wir für alle drei Belichtungsreihen. Die Beta-Werte und Empfindlichkeiten, die wir dabei zusammengetragen haben, werden in ein Beta-Zeit-Diagramm und ein DIN-Zeit-Diagramm übertragen. Dazu können Sie einfach die Grafiken aus dem Heft vergrößert kopieren und Ihre eigenen Werte einzeichnen. Jetzt brauchen Sie die einzelnen Punkte nur noch mit einer Linie zu verbinden, und Ihre Entwicklungskurven sind fertig. Aus dieser Kurve können Sie sofort ablesen, wie lange Sie entwickeln müssen, um einen bestimmten Beta-Wert oder eine gewünschte Empfindlichkeit zu erhalten. Suchen Sie sich auf der senkrechten Achse den gewünschten Wert, beispielsweise 0.55, und anschließend den entsprechenden Kurvenpunkt. Wenn Sie von diesem Kurvenpunkt aus senkrecht nach unten gehen, können Sie auf der horizontalen Achse die benötigte Entwicklungszeit ablesen. Runden Sie dabei auf eine halbe Minute. Die Daten, die Karl Neumaier nach diesem Testverfahren für die Kombination FP-4 Plus/ID-11 ermittelte, weichen weniger als fünf Prozent von den Werten ab, die das DIN-Sensitometer ausspuckt.

Blendenreihe

Vorwahl Blende 8

Tats. Blende	Belichtung	Delta	DIN
11-16	-1.5	+4.5	
11	-1.0	+3.0	
8-11	-0.5	+1.5	
8	0	0	
5.6-8	+0.5	-1.5	
5.6	+1.0	+3.0	
4-5.6	+1.5	+4.5	

Vorwahl Blende 8-11

Tats. Blende	Belichtung	Delta	DIN
16	-1.5	+4.5	
11-16	-1.0	+3.0	
11	-0.5	+1.5	
8-11	0	0	
8	+0.5	-1.5	
5.6-8	+1.0	-3.0	
5.6	+1.5	-4.5	

Rechenbeispiel

Aus den Dichtewerten des Negativs den Beta-Wert und die effektive Filmempfindlichkeit zu berechnen, ist keine Hexerei. Die Werte für diese Beispiel-Rechnung sind mit der Ilford-Kombination FP-4 Plus/ID-11 bei acht Minuten Entwicklungszeit, 20 °C und Ein-Minuten-Kipprhythmus gemessen.

Die Dichtewerte des schwarzen Testfeldes, die am nächsten bei 0.10 liegen, sind 0.07 für die Belichtungsstufe -0.5 und 0.13 für die Belichtungsstufe +-0. Für diese beiden Negative haben wir daher auch die Dichtewerte des weißen Testtafeldes ermittelt: 1.12 für -0.5 und 1.22 +-0. Setzt man diese Werte in die Formel ($\beta = (\text{Dichteweiß} - \text{Dichteschwarz}) / 1.6$) ein, dann ergibt sich für den Belichtungswert -0.5:

$$\beta = 1.12 - 0.07 / 1.6 = 0.66$$

und für den eingestellten Belichtungswert +-0

$$\beta = 1.22 - 0.13 / 1.6 = 0.68$$

Gemittelt macht das einen Beta-Wert von 0.67. Auch die Filmempfindlichkeit lässt sich daraus errechnen. 0.1 Dichteeinheiten über Schleier werden im Negativ genau zwischen den Belichtungsstufen -0.5 (Dichte 0.07) und +-0 (Dichte 0.13) erzeugt. Die dazu gehörenden Empfindlichkeitswerte DDIN +1.5 und 0 mitteln sich zu +0.7. Die effektive Empfindlichkeit beträgt dann:

$$22 \text{ DIN} - 1 \text{ DIN} + 0.7 \text{ DIN} = 21.7 \text{ DIN}.$$

Wird statt acht Minuten nur fünf Minuten lang entwickelt, dann erreicht man die Dichte 0.1 über Schleier bei Belichtungsstufe +0.5 Blenden. Der zugehörige Empfindlichkeitswert DDIN ist -1.5 und die tatsächliche Empfindlichkeit

$$22 \text{ DIN} - 1 \text{ DIN} - 1.5 \text{ DIN} = 19.5 \text{ DIN}.$$

Der Nachteil der Schnelltestmethode liegt darin, dass Streulicht die dunklen Graustufen beeinflussen kann. Wir bauten daher einen Korrekturfaktor in die Formel ein. Doch ein solcher Korrekturfaktor ist natürlich nur ein Anhaltswert, der, je nach Ausrüstung und Beleuchtung, auch schon mal daneben liegen kann. Ein Beispiel mag das verdeutlichen:

Nimmt man statt des schwarzen Hintergrundkartons einen grauen, dann wird die Empfindlichkeit drei bis vier DIN zu hoch beurteilt und der Betawert 30 Prozent zu niedrig. Ein weißer Hintergrundkarton führt zu noch stärkeren Abweichungen. Mit dem Schnelltest als Basis können Sie Ihre Werte auf den Punkt bringen.

Filmempfindlichkeit en detail

Wussten Sie, dass die DIN-Filmempfindlichkeit als der "zehnfache Wert des negativen dekadischen Logarithmus der Belichtung in Luxsekunden, die zu einer Dichte von 0.1 D über Schleier führt, wenn der Film zu einem Betawert von 0.62 entwickelt wird" definiert ist? Ist doch stark. Aber die Sache ist einfacher, als das wunderbare Sprachgebilde vermuten lässt - wenn man in etwa weiß, wie man seinen Film zu einem Betawert von 0.62 entwickelt. Und genau das verrät uns der Schnelltest.

Ganz ohne Theorie geht es dieses Mal nicht ab. Da auch der Betawert über die Filmempfindlichkeit definiert ist, machen wir uns die Mühe, trotz des abschreckenden Wortverhaues einmal einen genaueren Blick darauf zu werfen. Ein Punkt ist bei unserer Testerei von besonderer Bedeutung: Die Belichtung, die auf dem Film eine Dichte von 0.1 über Schleier erzeugt. Dieser Belichtungswert heißt Hmin. Belichtungsmesser messen nun aber bekannterweise nicht die Schatten im Bereich von Hmin, sondern mittlere Grautöne. Genau gesagt sind sie auf einen Belichtungswert HB geeicht, der zehnmal höher ist als Hmin, das heißt 10 DIN oder 3 1/3 Blenden über Schatten. Oder anders formuliert: Wenn man eine Graukarte um exakt 10 DIN oder 3 1/3 Blenden unterbelichtet, erzeugt sie auf dem Film eine Dichte von 0.1 über Schleier.

Nach soviel grauer Theorie können wir jetzt endlich loslegen. An Material brauchen wir nichts anderes als beim Schnelltest: Kamera, Vergrößerer, Entwicklungsdose, Dichtemesser, Film und Entwickler. Statt der Jobo Farbkarte kommt dieses Mal einfaches Papier vor die Linse. Am besten ist es, wenn Sie ein paar Bögen mit unterschiedlichen Grautönen zur Hand haben - beispielsweise gebleichtes und Recycling-Papier.

Laden Sie die Kamera genauso, wie es im letzten Teil beschrieben ist - markieren Sie den Filmanfang vernünftig und so weiter. Stellen Sie dann am Belichtungsmesser die Empfindlichkeit ein DIN höher ein, als der Vortest ergab. Warum das nötig ist? Wir müssen, um Hmin zu bestimmen, 3 1/3 Blenden unterbelichten. Da Drittelblenden aber nicht einzustellen sind, tricksen wir den Belichtungsmesser aus, indem wir ihn ein DIN höher einstellen. Das entspricht genau der drittel Blende.

Bringen Sie die Kamera so nahe an das Papier heran, dass das gesamte Bildfeld ausgefüllt ist. Die Vorlage muss gleichmäßig ausgeleuchtet sein, und die Kamera darf keinen Schatten darauf werfen. Gehen Sie ruhig nah heran - schließlich braucht ja nichts scharf gestellt zu werden. Wählen Sie die Belichtungszeit so, dass sich für die Blende der Wert 5.6 ergibt - aber bitte genau 5.6; keine Zwischenwerte. Tauschen Sie gegebenenfalls einfach die Vorlage aus oder verändern Sie den Abstand zur Vorlage.

Sogar mit der Auszugsverlängerung können Sie Feinarbeiten machen: Fokus auf unendlich erhöht die Lichtmenge gegenüber der Nacheinstellung. Nehmen Sie jetzt die Blendenreihe so oft auf, bis der Film voll ist. Die Reihe enthält Belichtung auf mittlere Dichte (HB), auf die Schatten (Hmin, minus drei Blenden) und auf die Lichter (H0, plus zwei Blenden). Entladen Sie die Kamera und schneiden Sie den Film wieder in 35 Zentimeter lange Streifen, so wie beim Vortest.

Suchen Sie sich aus Ihrem Beta-Zeit-Diagramm die zum gewünschten Betawert gehörende Zeit. In Mischschacht-Vergrößerern kommen Negative mit einem Betawert von 0.70 am besten, für die härter arbeitenden Kondensor-Vergrößerer genügt ein Beta von 0.55. Die ermittelte Zeit wird noch einmal um 25 Prozent verlängert (x1.25) und um 25 Prozent

verkürzt (x0.75), sodass wieder drei Entwicklungsdurchläufe stattfinden. Wir entscheiden uns bei der Kombination FP-4 Plus/ID-11 für einen Beta-Wert von 0.60, die entsprechende Zeit sind 6.5 Minuten. Für die verkürzte und verlängerte Entwicklung ergeben sich dann 5 und 8 Minuten. Nach dem Eindosen wird der erste Streifen entwickelt. Halten Sie dabei die Temperatur und den Kipprhythmus ein, die Sie auch bei den Vortests verwendet haben. Stoppen, Fixieren, Wässern und Trocknen wie üblich.

Der Teststreifen kommt in die Negativbühne, die Bildgröße wird auf ungefähr 18x24 Zentimeter eingestellt und die Messsonde in der Bildmitte platziert. Zum Nullen muss der unbelichtete Bildsteg zwischen zwei hellen Negativen herhalten, danach werden die sieben Belichtungen durchgemessen. Genauso verfährt man mit den beiden anderen Teststreifen. Nullen Sie den Dichtemesser unbedingt für jeden Streifen auf den jeweiligen Schleier.

Das weitere Prozedere exerzieren Sie am besten anhand unserer Messwerte nach. Um die Filmeempfindlichkeit zu berechnen, müssen wir aus der Datenliste die Belichtung herausuchen, die eine Dichte von 0.1 über Schleier produziert hat. Bei der 5-Minuten-Entwicklung ist es das Feld S+, das einer Überbelichtung von einer halben Blende entspricht. Für die halbe Blende Überbelichtung müssen wir 1.5 DIN von der eingestellten Empfindlichkeit abziehen, die effektive Empfindlichkeit beträgt also $22 \text{ DIN} - 1.5 \text{ DIN} = 20.5 \text{ DIN}$.

Bei der 6.5-Minuten-Entwicklung liegt der Lichtwert für Dichte 0.1 zwischen den Feldern S und S+. Der DIN-Wert beträgt daher etwa -1 DIN und die Empfindlichkeit demzufolge 21 DIN. Bei der längsten Entwicklungszeit liegt die Dichte der Stufe S mit dem Korrektur +/- 0 am nächsten zu 0.1. Der Film weist hier also gute 22 DIN Empfindlichkeit auf.

Bleibt nur noch der Betawert zu berechnen, der uns Auskunft über den mittleren Bereich der Schwärzungskurve und damit über die Gradation gibt. Definiert ist der Betawert als Steigung zwischen Hmin und dem Punkt, der 32mal soviel Licht bekam. Dieser Punkt heißt H0 und liegt 1.5 logarithmische Einheiten rechts von Hmin, was genau einem Unterschied von fünf Blenden entspricht. Wir brauchen dazu nicht nur die Dichtewerte im Minimalbereich, sondern darüber hinaus auch noch die Maximaldichten. Die Steigerung und damit der Betawert berechnen sich hier aus der Formel

$$\text{Betawert} = (D_0 - D_{\text{min}}) / (H_0 - H_{\text{min}}) = \Delta D / 1.5$$

Dabei ist Dmin der Dichtewert, der zur Lichtstärke Hmin gehört; entsprechend D0 die Dichte zu H0. Achten Sie darauf, dass Sie den korrekten D0-Wert nehmen. Fällt Hmin in Feld S+, dann muss zur Berechnung des Betawertes L+ herangezogen werden; fällt Hmin nach S, dann heißt der Partner L. Kommt Hmin in S- zu liegen, dann - richtig, nehmen wir auch L-. Für unsere 5-Minuten-Entwicklung rechnet sich - mit den Werten der Felder S+ und L+ - ein Beta von $0.83 - 0.10 / 1.5 = 0.49$.

Die gleiche Formel ermittelt für die 6.5 Minuten-Entwicklung ein Beta von 0.62, und in 8 Minuten kommt ein Beta von 0.69 zustande. Eine Überprüfung mit dem DIN-Sensitometer zeigt: Die Werte sind nahezu identisch. So haben Sie Ihre Film-/Entwicklerkombination eingeeicht - punktgenau für Ihre individuellen Arbeitsbedingungen.

Blendenreihe

Dichte	Blende	Belichtg.	Delta	DIN
S-	16-22	-0.5	+1.5	
S	16	0	0	
S+	11-16	+0.5	-1.5	
N	5.6			
L-	2.8-4			
L	2.8			
L+	2-2.8			

DIN und ASA

Hmin ist der Belichtungswert, der eine Dichte von 0.1 D über Schleier erzeugt, wenn zu einem Betawert von 0.62 entwickelt wird. Kennt man Hmin (Einheit Luxsekunden), kann man die Filmempfindlichkeit nach den beiden Standards DIN und ASA errechnen:

$$\text{DIN} = 10 \times \log(1/H_{\text{min}}) \quad \text{ASA} = 0.8/H_{\text{min}}$$

Wegen der logarithmischen Beziehung erhöht sich der DIN-Wert bei Halbierung von Hmin um den Wert 3, während der ASA-Wert sich verdoppelt. Zwei Beispiele: Film 1 benötigt für eine Dichte von 0.1 über Schleier eine Belichtung von $H_{\text{min}}=1/500$ Luxsekunde. Seine Empfindlichkeit beträgt daher:

$$10 \times \log(1 / 1/500) = 27 \text{ DIN} \quad \text{oder} \quad 0.8 / 1/500 = 400 \text{ ASA}$$

Film 2 erreicht die gleiche Dichte schon bei Belichtung mit $1/1000$ Luxsekunde. Seine Empfindlichkeit rechnet sich daher so:

$$10 \times \log(1 / 1/1000) = 30 \text{ DIN} \quad 0.8 / 1/1000 = 800 \text{ ASA}$$

Als Faustformel für die Umrechnung DIN-ASA kann man sich merken, dass 12 DIN auch 12 ASA entsprechen. Halbierung des Lichtwertes verdoppelt den ASA-Wert und erhöht den DIN-Wert um 3.

DIN	ASA	ISO
12	12	12/12°
15	25	15/25°
18	50	18/50°
21	100	21/100°
24	200	24/200°
27	400	27/400°
30	800	30/800°
33	1600	33/1600°
36	3200	36/3200°