



Auflösungsvermögen und Brechungsindex

Bei einer Rückvergrößerung oder einem Scan-Vorgang durchläuft das Licht verschiedene Ebenen. Eine Auflösung für Hoch- oder Niedrigkontrastwerte kann durch folgende Eigenschaften beeinflusst werden, die folgende Liste ist sicher nicht vollständig:

Mechanik: Planparallelität und Reproduzierbarkeit,

Lichtquelle: Wellenlänge – von einer Röntgenstrahlung (Staubunempfindlich bei SW-Film) bis hin zur Infrarotstrahlung (Staubunempfindlich bei Farbfilmen), Lichtquellengröße, Intensität,

Lichtsystem: Diffusionsgrad zu Bildwinkel (es gibt interessante Hologramm-Filter), bei Kondensoren Glasqualität (auch Wabenkondensoren), anormale Lichtführungen,

Licht-Eintritt: in den Film hinein durch die Filmrückseite, Rückreflexe, Staub- u. Kratzerfreiheit, Antistatic-oder NC-Beschichtung (Non-Curling),

Film: Korngröße und -Verteilung, CALLIER-Quotient, Reliefverhalten, interne Brechungsindex-Schwankungen, UV-Absorption je nach Verarbeitung, Grundscheier und dadurch verursachte Streuung, Schichtdicke und Dreidimensionalität einer Auflösungsstruktur etwa bei schrägem Lichteinfall, Gelatineanfärbungen (Stain), Farbstoffe, Negativ-Dunkelhof,

Licht-Austritt: aus dem Film heraus, Reliefverhalten, Mattierung, Schrammschutzschicht, Planlageverhalten, eventuell hierzu das **nie** in die optische Rechnung einbezogene Planglas der Negativbühne, eventuell ein Ausgleich eines Reliefverhaltens mittels Hilfsmittel und Planglas,

Objektiv: Abbildungsqualität, Maßstab, Blende, Bildwinkel, Streulichtverhalten,

Abbildungsfläche: Fokussierungsart, Sensor – in der Regel mit hohem Überstrahlungsschutz, weiße Papieroberfläche – in der Regel mit **keinem** Überstrahlungsschutz, Korngröße,

Zum Brechungsindex der jeweiligen Filmseiten

Filmrückseite: der übliche Triacetat-Filmträger hat einen Brechungsindex von 1.48, bei Polyester beträgt dieser 1.64. Generell beziehen sich die unten genannten Hilfsmittel auf Triacetat, da dieser Filmträger am häufigsten verbreitet ist. Bei der Suche nach geeigneten Hilfsmitteln zur Anpassung an den Brechungsindex bei Polyester-Filmen bieten sich zur ersten Erprobung Substanzen aus der Mikroskopie an, dort wird empfohlen: siehe Anmerkung (1).

Filmoberseite: trockene Gelatine hat allgemein einen Brechungsindex von 1.51 (ältere Stoess-Listen geben 1.465 bis 1.515 an, sogar ein Maximalwert 1.55). Lange Zeit (von 1937 bis 2000) war Repolisan der Tetenal ein Hilfsmittel zum Ausgleich von Kratzern, zur Zeit gibt es für die professionellen Scanner-Betriebe sogenannte Scan-Fluids, die ebenfalls einen Ausgleich von Filmkratzern erlauben. Ferner gibt es für das Kino sogenannte Regenerier-Verfahren, die Schrammen von der Kinoprojektion oder von der Filmfriktion an der Emulsion ausgleichen (die sogenannten Entregnungsverfahren) und gleichzeitig den Film für ein langdauerndes Abspielen härten (2). Ein seltener Artikel zur Filmpflege geht den physikalischen Ursachen nach (3), dieser Artikel kann zu wertvollen Anregungen verhelfen, die maximale Vergrößerungsfähigkeit auch beim Gigabitfilm, weiter zu verbessern.

Zur Auflösungssteigerung beim Vergrößern/Scannen

Die 1000fache Vergrößerung zeigt physikalische Grenzwerte (4) auf, sie ist wichtig für ein neues Überdenken von Beleuchtungsanordnungen für Scanner oder Vergrößerer. In der optischen Industrie ist die Problematik der Drei-Dimensionalität einer Aufzeichnung bei Filmmaterialien erkannt.

Seit langem bekannt sind bei Farbfilmen im Anwendungsfall von Aufnahmewinkeln über 100 Grad trotz Einsatz von Centerfiltern bestimmte Farbdifferenzen, die durch den stark schrägen



Einfall in eine Farbfilmemulsion eine unterschiedliche Ansprecherung der DIR-Kuppler verursachen und damit eine Art Farbtemperaturunterschied auslösen.

Erste Versuche mit Beleuchtungsanordnungen für Vergrößerungszwecke wurden auf Anregung eines renommierten Projektions-Fachmannes initiiert, ebenso Versuche mit solchen Anordnungen beim Scannen mittels eines Phase One Rückteils bzw. vergleichbarer Sensorzeilen. Auch wird geprüft, ob ein Mehrfachscannen mit parallel dazu veränderter Lichtführung zu Kornreduzierungen, Schärfverbesserungen oder anderen Eigenschaften führt. Es sei daran erinnert, daß nicht die Stelle des sichtbaren Korns den tatsächlichen Ort der maximalen Bildinformation wiedergibt.

Durch Absorption in der Filmschicht und durch Beugung an den Silberpartikeln findet die Bildentstehung in der Projektion statt. Je kleiner eine Partikelgröße ist, desto höher ist ihre Beugungseigenschaft. Lichtbeugung tritt quantitativ um so mehr auf, je enger die Kanäle sind, aus denen das Licht hervordringt. Je feinkörniger das entwickelte Silberkorn wird, um so mehr tritt im Bereich der höheren Dichten die Beugung auf. Überschichtet man nun den Film mit einem Mittel gleichen Brechungsindex wie die Gelatine in einer genügenden Dicke, so fällt die Beugung fort und das Bild verliert an Kontrast. Der CALLIER-Effekt findet nicht mehr ausreichend statt. Ähnlich sind die Verhältnisse, wenn der Film noch nicht getrocknet ist. Ein noch nasser Gigabitfilm sieht sehr dünn aus, sobald er trocken ist, sehen seine Schattenpartien dichter aus. Auf dem Negativ noch vorhandene Details können bei entsprechendem Lichtweg durch Lichtbeugung verloren gehen, doch können sie zur Vergrößerung gelangen, falls der Lichtstrahl danach anfolgend in ein optisch gleichwertiges Medium tritt.

Zur Auflösungssteigerung durch Vermeidung von Reliefbildung

Eine Reliefbildung an der Filmoberfläche steht im Gegensatz zu einer strengen Abbildungstreue. Gelatine kann durch Spannung beim Eintrocknen zu Doppelbrechung neigen. Nur selten ist die Oberfläche optisch planparallel, vielmehr bildet sie – im mathematischen Sinne gesehen – Prismen mit winzigen brechenden Winkeln. Dadurch wird der Lichtstrahl nunmehr farbig zerlegt. Auf der Projektionsfläche oder dem Papier erscheint nicht ein Punkt, sondern ein auseinandergezogener länglicher Fleck, noch dazu am falschen Platz. Auch beim Betrachten unter einem stark vergrößernden Kornscharfsteller sind oft schwache Farbränder zu beobachten. Dies ist nicht die mangelnde Achromasie des Vergrößerungsobjektivs, sondern der eben erwähnte Umstand der nicht planparallelen, reliefartigen Filmoberfläche.

Das Ergebniss einer Behandlung mit fast brechungsindexgleichen, in Wasser nicht quellenden Substanzen hängt stark vom Rest-Wassergehalt (Brechungsindex 1.333) der Bildgelatine in optischer Beziehung ab. Bildet man aber die Schutzschicht aus der Bildgelatine selbst, dann umgeht man natürlich auch alle eventuellen Schwierigkeiten wegen differierender Brechungsindizes der verschiedenen Sorten. Die Oberfläche eines so behandelten Filmes zeigt keine Reliefstrukturen auf der Negativseite des Filmes mehr, sondern nur Glanz (3).

Dies läßt sich auch nachträglich an den Negativen anwenden, hier ein Vorschlag von 1951 (5):

Auf eine etwas größere Glasplatte (ideal sind etwa Gläser aus der Mikroskopie) wird ein hinreichend großer Tropfen von Kanandabalsam (Brechungsindex vergleichbar mit Glas) getan und das Negativ mit der Schichtseite nach unten vorsichtig hineingelegt. Der Balsam soll sich bis zu den Negativrändern verteilen. Hierauf kommt auf die Negativ-Rückseite und auf eine zweite Deckglasplatte wieder je ein Balsamtropfen, worauf das Ganze unter möglicher Vermeidung von Luftblasen zusammengedrückt wird. Allenfalls am Rande austretender Balsam wird mit einem in Xylol getauchten reinen Tuch entfernt. Nach wenigen Tagen ist dieser Sandwich so erhärtet, daß es noch am Rand bei Bedarf mit Klebestreifen eingefast werden kann. Film und Schicht sind jetzt förmlich an glatte Glasaußenseiten optisch angekittet, jede Lichtstreuung



durch die Unebenheiten der Gelatineschicht entfällt, das Silberbild hängt förmlich frei im Glase. Derartig präparierte Negative lassen die feinsten Details in Erscheinung treten; die Exaktheit der Wiedergabe ist mit derjenigen freiliegender Negative gar nicht vergleichbar. Sollte die Ver kittung nicht gelingen, so ist damit nicht viel verdorben, da sich Kanadabalsam in Xylol vollständig löst, ohne das die Schicht des Negativs angegriffen wird.

Bei der Vergrößerung sollte die Brennweite mindestens die doppelte Diagonale des Negativformates haben, denn dann treten keine zusätzlichen Fehler durch die Glasdicke des oben erwähnten Sandwichs oder eines Deckglases, auf dem das Negativ zur besseren Planlage ruht, auf. Normalerweise ist in der optischen Rechnung jedes Objektivs ein zusätzlicher Glasweg zwischen Negativ und Objektiv nicht (6) vorgesehen. Dort macht sich jede leichte Veränderung durch spürbar sphärische Fehler bemerkbar, anders ist es, wenn sie Filter vor die Optik setzten, dies hat für die Praxis einen völlig vernachlässigbaren Einfluß.

Literaturverzeichnis und Anmerkungen

(1) **Glycerin und Chinolin** für einen variablen Brechungsindex von 1.47 bis 1.62. Glycerin ist in der Qualität seines wassergehaltsabhängigen Index schwankend, da es sehr gerne Feuchtigkeit aufnimmt. **Chinolin** hat bei 24°C einen Index von 1.628, **Monochlornaphtalin** bei 22°C einen Index von 1.6324. **Nelkenöl** mit einem Index 1.544 und **Monobromnaphtalin** (hinterläßt wachsartige Schicht auf dem Film) mit 1.656 lassen sich gut mischen für variable Werte von 1.54 bis 1.65. **Tetrachloräthylen** hat 1.50. Für das Anpassen zum Brechungsindex der jeweiligen leicht unterschiedlichen Film-Gelatine wird eine Abweichung von **höchstens 0.02** empfohlen. Lange Zeit wurde für einen Index von 1.50 ein Gemisch von 1 Teil **1,1,2 Trichloro 1,2,2-trifluoräthan** (Index 1.355) und 9 Teilen **Toluol** verwendet. Unklar ist noch, welchen Einfluß auf die optische Qualität einer maximalen Vergrößerbarkeit der höhere Index des Polyester haben könnte.

(2) Die Beseitigung von Schrammen von verregneten Kinofilmen durch die verschiedenen Verfahren beruht auf verschiedenen Prinzipien. In dem einen Fall wird versucht, die Kratzer durch eine Substanz möglichst gleichen Brechungsvermögens auszufüllen und damit zu beseitigen; in dem anderen Fall löst man durch Aufrauhung der Filmoberfläche die Lichtbrechung in den Kratzern diffus auf. Eine Mattierung der Filmoberseite kann man auf verschiedene Art erreichen: einmal durch Aufrauhung oder durch Beschichten mit Hilfe eines Mattlacks oder einer Emulsion. Ob eine Beschichtung matt oder glänzend auf trocknet, hängt vom Lösungsmittelgemisch, Temperatur und Feuchtigkeitsgehalt der Luft ab sowie ob nur aufgetragen oder ob aufgesprüht wurde. Auch gab es Verfahren mit einem hochgradigen Aufquellen (Enthärten und Wieder-Härten) zur Verschmelzung der Schicht, durch die auch tiefergehende Risse fast restlos beseitigt wurden. Die kinotechnische Fachliteratur der Zeit ab 1910 bis in die Neuzeit ist reich an Einzeldarstellungen zu den *Blankier- bzw. Mattierv Verfahren, Träger-Polieren, Schutzbeschichtungen und Regenerierungen*. Eingebürgert hat sich für das optische Kopieren in kritischen Fällen das *Flüssigkeitskopieren* oder *Naßabtastverfahren*. Ferner gibt es für entwickelte Filme Filmbeschichtungsanlagen zum Auftragen von Photopolymeren gegen Verschrämmungen, UV-Ausbleichung und Staub (hoher Antistatic-Schutz).

Auch gab es **Kleinbild-Negativhalter für verkratzte Aufnahmen**: ab 1955 war mit dem *Refractamatic 35* für die Simmon Omega Vergrößerer B und D ein Zirkulationssystem für *Refractasil* (ein Siliconöl mit 1.46 Index) für 97.50\$ erhältlich.

(3) **OTTO TREICHEL, Filmpflege, ihre physikalischen und chemischen Bedingungen Teil I und II**, Kinotechnische Umschau 6. und 13. Juli 1938, S. 783-786 sowie S. 807-810.

(4) [Gigabitfilm.de/Anwendung/Wissenschaft/Optik/Tausendfach linear oder Mit Gigabitfilm an die optischen Grenzen](http://Gigabitfilm.de/Anwendung/Wissenschaft/Optik/Tausendfach_linear_oder_Mit_Gigabitfilm_an_die_optischen_Grenzen).

(5) **A. N., Exakteste Bildwiedergabe**, Foto Prisma September 1951, S. 371.

(6) Eine Ausnahme machen speziell korrigierte photogrammetrische Objektive, die vor der Filmfläche noch eine in die optische Rechnung einbezogene, planparallele, dünne Reseauplatte mit Markierungs-Kreuzen haben. Diese Markierungs-Kreuze bilden sich auf den Mittelformat-Filmen ab, durch deren genaue Vermessung läßt sich die jeweilige Planlageschwankung ermitteln.