

## Tausendfach linear *oder* Mit Gigabitfilm an die optischen Grenzen Zur Räumlichkeit von Auflösungsstrukturen in einem Negativ

Betrachtet man mit einer starken Lupe oder einem Mikroskop ein Negativ, so sieht man das sogenannte „Korn“. Dies ist aber nicht das eigentliche Korn des Silbers, sondern nur die Lücken zwischen den einzelnen entwickelten Silberkristallen. Diese Lücken stellen eine dreidimensionale Schicht dar und bilden den mehr oder weniger **schräg einfallenden Lichtstrahl** in seiner Auflösung mit einer gewissen Räumlichkeit ab. Schaut man **senkrecht** auf eine solche Schicht, die mehr oder weniger stark schräg belichtet wurde, so bekommt man eine gewisse Überlagerung zu sehen, die Auflösung sieht etwas schlechter aus, als wenn man genau in demselben Winkel das Negativ anschaute, in den das Aufnahmelicht fiel. In der photographischen Praxis hat diese theoretische Betrachtung zur maximalen Auflösungsausnutzung bisher nie eine Rolle gespielt.

**Folgende Arbeitsschritte wurden für eine tausendfach lineare Vergrößerung von einem Gigabitfilm-Negativ durchgeführt, wobei die Aufnahme selber mit einer beugungsbegrenzten Optik 1 : 2.5 erfolgt war (Stand der Gigabitfilm-Technik: 1989):**

Zuerst wurde eine Sonderoptik erstellt (eine Variante des in der Mikroprojektion bekannten „Homal“-Prinzips (1) als Vorsatz unter Nutzung von PAUL RUDOLPH's original hyperchromatischer Linse (2), dem Vorläufer des Planars), um im normalen Abstand von 70-80cm Vergrößerungsgerät zu Grundbrett sowie normaler Abstand Film zum hinteren Auflagemaß der Optik -direkt 100fach linear- einen ca. 16x21cm großen Ausschnitt zu vergrößern. Eine Veränderung der Lichtführung mit einem Diffusor bei dem Vergrößerer war vorteilhaft zur Erzielung normaler Belichtungszeiten, denn ohne Diffusor traten, ähnlich dem Punktlicht, störende Beugungsüberlagerungen durch minimale Verunreinigungen/Brechungsindexschwankungen der Emulsion auf.

Testvergrößerungen zeigten Verzeichnungsfreiheit, Bildfeldebhnung und gleichmäßige Auflösung ohne störende chromatische Effekte. Ein Optikkonstrukteur, der gerade eine neue Serie von Luftbildoptiken berechnet hatte, meinte zu diesen Testbildern: „*Hätten Sie das mit diesen Qualitätsparametern bei uns in Auftrag gegeben, wären Sie viel Geld losgeworden.*“ Die mit dieser 100fach-Optik vergrößerten Bilder sehen auch erheblich besser aus als mit einem herkömmlichen Apo-Vergrößerungsobjektiv. Mit dieser herkömmlichen Optik konnte nur unter Mühen im Labor direkt 100fach vergrößert werden – so etwas ist einem „Normalanwender“ unzumutbar, denn wer hat schon 5m Projektionsfläche zur Verfügung.

Nun war ich aber mit einem kleinen Bilddetail (am Bildrand) selbst in der guten 100fachen Vergrößerung mit Sonderoptik noch nicht zufrieden, wußte ich doch, daß das Negativ mit etwas „*optischen Spielen*“ unter dem Mikroskop mehr Bilddetails freigibt. So entschloß ich mich denn – nach einem vagen Hinweis aus einem Bericht der 30er Jahre (3) – zu einer möglichst kompletten **Rekonstruktion** der Aufnahmebedingungen, um auch im Vergrößerungsstrahlengang maximale Bildqualität zu erzielen. **Dieselbe Optik (4)**, die zur Aufnahme Anwendung fand, wurde am Vergrößerer angebracht, dieselbe Blende wurde eingestellt (1:2.5), sowie das gleiche Auflagemaß wie an der Kamera eingestellt. Natürlich war auch das Negativ zentriert montiert, also lag alles genau an der gleichen Stelle wie bei der Original-Aufnahme.

Da die verwendete Aufnahmeoptik für jeden Abbildungsmaßstab optimal durch optische Schiebeelemente korrigiert werden kann, wurde nun anstelle der Entfernungseinstellung von etwa 50 Metern bei der Aufnahme jetzt für die Vergrößerung nun 2 Meter eingestellt. Dies hielt ich für zulässig. In dieser Bildebene wurde eine KB-Kamera ohne Optik auf einem Mikroschlitten montiert, in der Kamera war ebenfalls ein Gigabitfilm. Mit etwa 40 Aufnahmen wurde alle Paar 1/100 mm der Fokussierungsbereich durchfahren, das bildmäßig optimalst wirkende Diapositiv von geringem Gamma wurde 20fach linear ebenfalls auf Gigabitfilm kopiert, ebenfalls unter

dem Durchlauf von schwachen Fokussierungsschritten. Das fertige Negativ diente dann als optimiertes Negativ für die –alle Maßstäbe zusammengerechnet– tausendfach lineare Vergrößerung auf normalem Photopapier. Hier trat nun die Überraschung ein: Dies Bild zeigte mehr Details, als ich unter dem Mikroskop zu sehen glaubte.

**Zu dieser Bildqualität** (Stand der Gigabitfilmtechnik von 1989 – heute noch besser) ist noch anzumerken, daß sowohl Kopierverluste durch den mehrfachen Kopiervorgang sich addierten, als auch – was die Schlußfolgerung für eine weitere Optimierung wäre – jeder heute übliche Kondensator grundsätzlich in seiner bestehenden Art optische Mängel aufweist. Dem optischen Fachmann soll dieser Artikel Hinweise für eine weitere Optimierung, besonders bei Neukonstruktionen von Kondensoren, wie etwa für Scanner für Hochauflösung, geben.

Anzumerken ist aber auch, daß die Auflösung der üblichen Photopapiere mit Werten von etwa 30 Linienpaaren/Millimeter viel zu niedrig ist. Einen gewissen Anteil an der Abbildungsqualität der tausendfach-linearen Vergrößerung hat der Umstand, daß auf einen Gigabitfilm selber mehrfach zwischenkopiert wurde.

**Zur Bildinterpretation:** Der Uhrzeiger der Uhr am Handgelenk verhält sich wie ein Linienpaar. Es ist eine dunkle Linie, umgeben von Licht. Ein Fachmann aus der optischen Lithographie würde erwarten, daß die Lichtintensität auf jeder Seite des Zeigers aufgrund der üblich-bekanntem Beugungsphänomene dünner erscheinen sollte. Hier ist dies nicht erkennbar, schon vor 10 Jahren hatte ich in einem Vortrag auf zwei Dinge hingewiesen:

1. Für eine dünne, schwarze Linie auf leuchtendem Grund gelten laut (5) andere Auflösungsweite als für zwei leuchtende Punkte auf schwarzem Grund. Geht man von dem üblichen RAYLEIGHT-Kriterium der Beugungsbegrenztheit aus, so wären bei der verwendeten Brennweite von  $F=90\text{mm}$ , einem Aufnahmeabstand von etwa 50 Metern und der verwendeten Blende bei  $F=1:2.5$  etwa 550 Linienpaare/mm maximal theoretische Auflösung zu erwarten oder die Wiedergabe einer am Original vorhandenen Linienbreite – hier eines Uhrzeigers – von etwa 0.5 Millimeter Breite.

2. Die Überlegung, ob bei Verwendung von beugungsbegrenzten Optiken eventuell eine Verbesserung der Niedrigkontrastaufklärung einträte, wenn die jeweilige Beugungsscheibchengröße identisch mit der jeweiligen Größe des Silberhalogenidkorns wäre. Der Gigabitfilm hatte hier eine monodisperse Korngröße von ca.  $0.2\mu\text{m}$ , dies entspricht der Beugungsscheibchengröße bei einer Blende 1:2.5. Einen Überblick zur Literatur siehe (6).

Auf den ersten Blick zeigt das Bild einen nach oben stehenden Zeiger. Da die Uhr in dieser Haltung am Handgelenk für den Betrachter des Bildes auf dem Kopf steht, wäre die Zeigerstellung also um 6 Uhr. Auf den zweiten Blick ist sowohl der Minuten- wie auch der Sekundenzeiger an der Grenze einer Sichtbarkeit erkennbar (eventuell sogar, je nach Konzentration, der Schatten dieser Zeiger??). Dies gilt auch für andere angefertigte Vergrößerungen in unterschiedlichen Dichte- und Gradationsstufen. Die Uhrzeit wäre, je nach Annahme ob Minuten- bzw. Sekundenzeiger, entweder 18<sup>18</sup> Uhr 45 Sek. oder 17<sup>45</sup> Uhr 18 Sekunden, die Aufnahme selber erfolgte an einem Nachmittag. Da die Maße der Original-Uhrzeiger nicht bekannt sind, so kann als unterste Grenze für diese Aufnahme ein Auflösungsvermögen von ca. 340 Linienpaaren/mm gelten, als oberste 550 Linienpaaren/mm angenommen werden – letzteres unter dem Vorbehalt der Annahme einer Breite von 0.5mm für die Minuten- und Sekundenzeiger.

## Literaturhinweise und Anmerkungen

(1) KURT MICHEL, *Die Mikrophotographie*, Berlin 1962, Band X – Die wissenschaftliche und angewandte Photographie, Seite 227-229,

(2) MORITZ VON ROHR, *Theorie und Geschichte des Photographischen Objektivs*, Berlin 1899, S. 387-390; zur Verfügung des D.R.P. 71473 stehen die Exemplare der Brennweiten -58mm und -75mm in der dreilinsigen Version. Spätere zweilinsige Varianten, auch anderer Hersteller, sind nicht verwendbar.

(3) **K. FISCHER, *Irrtümer um den Vergrößerungsapparat***, Photographische Industrie – 1933, S. 880: „...sich genau klar zu machen, wie der Aufbau, besser gesagt der Umbau der Schwärzungsstufen des Negativs in das Bild bei der Vergrößerung vor sich geht, etwa nach den Hinweisen Ztschr. wiss. Phot. 1933, 31, S. 306 und H. Funk, Ztschr. wiss. Phot. 1933, 32, S. 410 (Photometrierung von Flächen gleicher Schwärzung, aber verschiedener Korngröße); es zeigt sich nämlich, daß die Schwärzungsunterschiede des Negativs keineswegs proportional in das positive Bild übertragen, sondern erheblich geändert werden, je nach der Öffnungszahl des Objektivs und der Flächengröße der Schwärzungen. Sie werden von einer gewissen Größe an, sagen wir  $1 \text{ cm}^2$ , genau in das positive Bild übertragen, dagegen wird eine nur  $1 \text{ mm}^2$  messende Schwärzung inmitten eines großen hellen Feldes stark verblassen, wie in einem Beispiel zu Hinweis S. 309, Abb.5, ausgeführt wurde, z.B. von einer Absorption von 96,3 Prozent in parallelem Licht, auf 60 Prozent bei der Objektivöffnung 1:0,5. Es ergibt sich, nebenbei bemerkt, daraus die Forderung, möglichst mit der relativen Öffnung zu vergrößern, mit der die Aufnahme erfolgte, sowie das Vergrößerungsobjektiv über der gleichen Stelle des Negativs anzubringen wie bei der Aufnahme; erst dann bringt das Vergrößerungsobjektiv keinen Fehler in die Übertragung der Tonwerte hinein. Wenn die tagtägliche Nichterfüllung dieser Forderung nicht unangenehm auffällt, so liegt dies daran, daß die Fehler der photographischen Schicht (nicht lineare Schwärzungskurve) viel größere Abweichungen in der Tonwertübertragung verursachen.“

4. Aus einer Serie vom Hersteller Vivitar ausgewählter Exemplare des Wechselobjektivs Serie 1 Macro 1:2.5/90mm, die den rechnerischen Werten entsprachen; in Deutschland von der Firma Satic aus Bochum erworben, die auf Staubteilchen-Meßgeräte eigener Fertigung mit auf der Achse beugungsbegrenzten Optiken sowie sonderoptisches und astronomisches Zubehör spezialisiert war. Die Aufnahme mit dieser Optik erfolgte in Köln rund um den Dom und dem Museum LUDWIG auf einer Canon F 1, wohl für diesen Zweck ausnahmsweise **mit** schwerem Stativ, **mit** Spiegelvorauslösung und **mit** Drahtauslöser. Als Gigabitfilm wurde der Film mit 900 Linienpaare pro Millimeter Auflösung und ISO 25 verwandt. Erst später, beim Auswerten der Negative unter dem Mikroskop, entdeckte ich das geeignete Motiv mit der Uhr am Handgelenk. Der Nachteil der verwendeten Optik war ihre hohe Streulichtempfindlichkeit, verursacht durch einen nicht gerillten Abstandstabus im Linsenblock der rückwärtigen Baugruppe. Auch in anderen Serien dieses Objektivs wurde auf einen streulichtfreien Abstandstabus aus nicht erfahrbaren Gründen kein Wert gelegt. Bei diesem ausgewähltem Exemplar verzichtete ich aus verständlichen Gründen (*never change a winning team*) auf einen normalerweise unproblematischen Umbau, bei privat verwendeten Exemplaren reicht das Einfügen einer dünnen, schwarzen Samtfolie völlig aus.

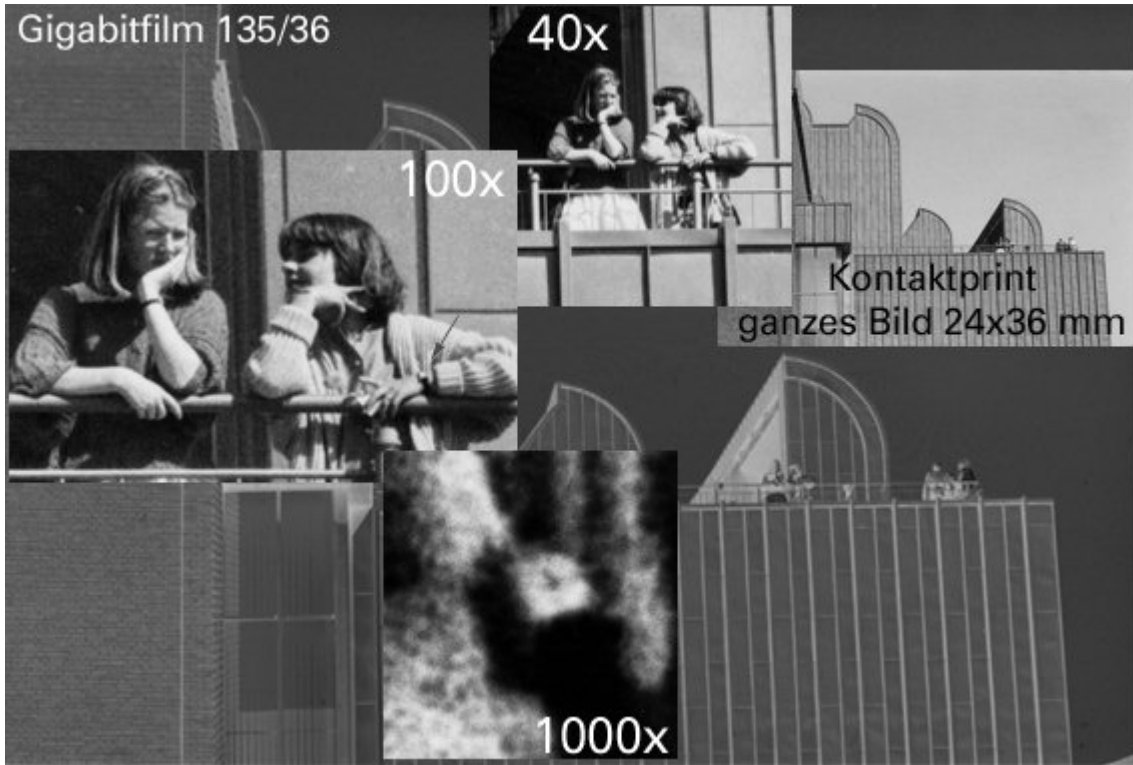
(5) **MAURICE FRANCON, *Interferences, diffraction et polarisation***, Berlin 1956, S. 356, Tableau 12, in Handbuch der Physik, Band XXIV – Grundlagen der Optik:

	Éclairage cohérent	Éclairage incohérent	
	Microscope	Microscope	Lunette astronomique
Limite de séparation d'une mire de FOUCAULT	$z = \frac{\lambda}{2\alpha \sin u}$	$z = \frac{1,03 \lambda}{2\alpha \sin u}$	$\theta = \frac{1,03 \lambda}{D}$
Séparation de 2 points brillants sur fond noir	$z = \frac{1,63 \lambda}{2\alpha \sin u}$	$z = \frac{1,22 \lambda}{2\alpha \sin u}$	$\theta = \frac{1,22 \lambda}{D}$
Limite de perception d'un disque noir sur fond blanc <sup>1</sup>	$z = \frac{0,06 \lambda}{2\alpha \sin u}$	$z = \frac{0,09 \lambda}{2\alpha \sin u}$	$\theta = \frac{0,09 \lambda}{D}$
Limite de perception d'une ligne fine noire sur fond blanc	$z = \frac{0,01 \lambda}{2\alpha \sin u}$	$z = \frac{0,02 \lambda}{2\alpha \sin u}$	$\theta = \frac{0,02 \lambda}{D}$

<sup>1</sup> z=rayon du disque.

(6) **BORIS LUX, EBERHARD GÖRGENS, HORST BÖTTCHER, *Über den richtigen Gebrauch des Auflösungsvermögens***, Bild und Ton 40 (1987) 6, S. 165-171. Dort werden die verschiedenen Konzepte einer gemeinsamen Betrachtungsweise zur Auflösung und Photonen-Empfindlichkeit erwähnt. Zitat: *Grund zur Beunruhigung gaben schon immer die teilweise ganz erheblichen Diskrepanzen zwischen den Zahlenangaben zum AV in den Veröffentlichungen unterschiedlicher Autoren. ...belegen, daß auch in neuerer Zeit dieses Dilemma noch nicht überwunden ist. ... Das strukturelle Konzept des AV versagt jedoch nicht erst bei Rezeptoren von Molekülgröße. Auch beispielsweise für die Mikrokristalle (Körner) von herkömmlichen Silberhalogenidschichten gelten infolge der wellenoptischen Eigenschaften Wirkungsquerschnitte für die Wechselwirkung mit Licht, die mit der geometrischen Korngröße in einem sehr komplizierten Zusammenhang stehen.*

## Bildbeispiel Gigabitfilm



Zur Verdeutlichung:

Diese 1000fache Vergrößerung von einem Kleinbild-Negativ entspricht einer Vergrößerung von 24x36 **Metern** Größe!

Das Originalphoto<sup>1</sup> des hier gezeigten 1000fachen Ausschnitts ist exakt 100mm lang und 105mm hoch.

Zusätzlich ist hier dieser Bildausschnitt separat als Volldatei (675 KB) ohne jegliche Datenkomprimierung im Bereich Anwendung/Wissenschaft/Optik abrufbar.

Unter Umständen sind mit digitalen Bildoptimierungen noch weitere Details erkennbar. Im positiven Falle bitten wir um entsprechende Mitteilung.



<sup>1</sup> Wir betonen, dass dieses Bild mit dem Originalfoto übereinstimmt, es ist also am Rechner nur insoweit nachbearbeitet worden, um es der Originalvergrößerung anzugleichen – nicht um es zu verfälschen oder aufzubessern!