

Mechanik und Optik vereint – Langzeitarchivierung von farbigen Bildern auf Mikrofilm

Stefan Risse, Sandra Müller, Michael Thaut, Gerd Harnisch, Michael Thomas¹, Aleksander Wlodarski², Daniel Fluck³
MikroPicture GmbH, ¹Jenoptik LOS GmbH, ²Präzisionsoptik Gera GmbH, ³Fluck engineering GmbH



Stefan Risse

Einführung

In der Gegenwart und Zukunft werden durch die rasche Vermehrung der Datenmengen Konzepte für die Speicherung und Archivierung großer Datenmengen gefordert. Während in den vergangenen Jahrzehnten die magnetische Speicherung auf Disketten und Bandlaufwerken als fortschrittlich galt, werden heute elektronische Daten fast ausschließlich auf Festplatten oder auf optischem Weg (CD oder DVD) gespeichert /1/. Ein kleinerer Teil dieses weltweit riesigen Marktes ist der Markt für die Datenlangzeitarchivierung von Bildmaterial und elektronischen Daten. Beispiele können Krankenhaus-, Wissenschafts-, Konstruktionsunterlagen oder kunsthistorische Meisterwerke sein.

Eine neue und gleichzeitig altbekannte Variante für die Langzeitarchivierung ist die Analoagspeicherung großer Datenmengen auf Mikrofilmen. Dieses Medium ist stets wiederlesbar, kompatibel, zukünftig mittels Scanner rücklesbar, vor Datenverlust und -manipulation sicher und vergleichsweise preiswert.

Im hier vorgestellten Projekt **LASER_COM (Laser computer output on microfilm)** wurden die Grundlagen für eine Langzeitdatensicherung und -archivierung (größer 50 Jahre) auf Filmmaterial mit RGB-Laserquellen untersucht.

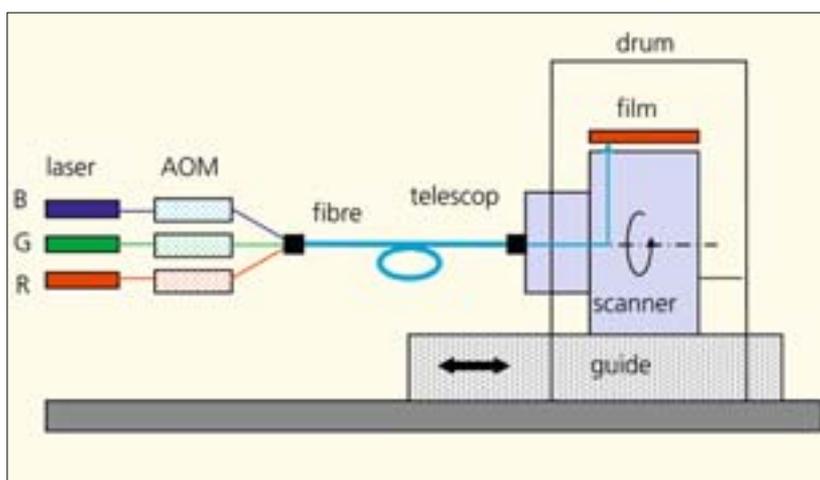
Konzeption

Die Konzeption basiert auf einer patentierten Idee der Firma MikroPicture GmbH (Abb. 1) mit der Zielstellung einer Auflösung von rund 7.700 dpi in Farbe. Die Herausforderung lag dabei in der Entwicklung und Charakterisierung von optischen und mechanischen Modulen, die eine Langzeitarchivierung farbkorrekt mit einem pixelgenauen Bildaufbau im 3,3 µm Raster ermöglichen.

Gelöst wurde diese Aufgabe durch eine Kombination aus Optik- und Mechanikentwicklung, die erstmalig ein Direktschreiben mit RGB-Lasern auf Mikrofilm auf das Format 105 mm x 148 mm erlaubt.

Abb. 1:
Prinzip der Filmbelichtung.

Fig. 1:
Principle of film exposure.



Mechanics and Optics united – long time archival storage of colored pictures on microfilms

Stefan Risse, Sandra Müller, Michael Thaut, Gerd Harnisch, Michael Thomas¹, Aleksander Wlodarski², Daniel Fluck³
MikroPicture GmbH, ¹Jenoptik LOS GmbH, ²Präzisionsoptik Gera GmbH, ³Fluck engineering GmbH

Introduction

There is now and will continue to be an ever increasing demand for archival data storage systems in response to the coincidentally increasing rate of data production. During the last few decades magnetic storage on floppy disks and tape drives was considered progressive but today data is saved nearly exclusively on hard disks or in an optical way (CD or DVD) /1/. A small part of the gigantic, worldwide market demands the long-term data storage of pictures, conventional files and electronic data. Examples are medical data, scientific data, engineering data or historical works of art.

A new method for long-term archival storage of data utilizes the long-established analogue method and stores data at a high density on microfilm. This film is always re-readable (in the future by scanner), compatible, proof against data loss and data abuse and, in comparison to other methods, good value.

In the project **LASER_COM (Laser computer output on microfilm)** the basics of long-term data storage and archiving (over 50 year storage) on film materials by using RGB-Laser sources are investigated.

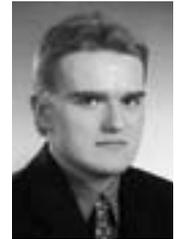
Concept

The concept is based on a patent idea from the MikroPicture GmbH Company (fig.1) the aim of which is to achieve a resolution of 7700 dpi in color. The challenge was the development and characterization of optical and mechanical modules to facilitate long-term storage of images which are faithfully colored and assembled of pixels in a 3.3 µm raster.

The task was completed by using a combination of optical- and mechanical engineering, which resulted in the direct writing of information by RGB-Laser onto microfilm with a format of 105 mm x 148 mm in the first instance.



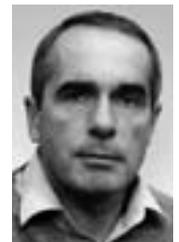
Sandra Müller



Michael Thaut



Gerd Harnisch



Michael Thomas



Aleksander Wlodarski



Daniel Fluck

Hauptkomponenten der Versuchsanlage im Labormaßstab sind das von der Jenoptik LOS GmbH in Zusammenarbeit mit der Firma Fluck engineering entwickelte Lasermodul mit Elektronik (Abb. 2) und das vom IOF und POG GmbH entwickelte Mechanikmodul mit integrierten optischen Baugruppen zur Strahlformung (Abb. 3). Beide Module werden örtlich getrennt über eine optische Faser verbunden. Die elektronisch aufbereitete Bildinformation wird synchronisiert an das Speichermedium Film übertragen. Fragen zur Datenaufbereitung, Farbkalibrierung und zum Filmmanagement wurden durch die MikroPicture GmbH bearbeitet und ermöglichen so eine farbkorrekte Belichtung.

Lasermodul

Die Erzeugung des Laserlichtes erfolgt über zwei Helium-Neon-Laser mit einer Wellenlänge von 632,8 nm (rot) bzw. 543 nm (grün) und einem Argon-Laser, der Licht der Wellenlänge 457,9 nm (blau) emittiert. Die Ausgangsleistung der Laser sind 2 mW weißes Licht. Dieses RGB-Lasersystem arbeitet frequenz- und amplitudenstabil im Bereich $\pm 1,5\%$.

Die Modulation erfolgt über akusto-optische Modulatoren in den einzelnen Farbkanälen. Diese AOM's sorgen für eine Intensitätsregelung und für die Anpassung der notwendigen Schaltfrequenz in Bezug zum Bildaufbau der Scannerbaugruppe. Zur Strahlformung (Aufweitung und Fokussierung) sind optische Bauelemente integriert. Die elektronisch aufbereitete digitale Bildinformation wird über einen Treiber an die akusto-optischen Modulatoren übertragen. Damit wird die Synchronisation zur Mechanik gesichert und sorgt für die zeitgleiche Ansteuerung der drei Farben. Die Farbmischung erfolgt gemäß der Farbkalibrierung in den jeweiligen spezifischen Farbanteilen und in der benötigten Intensität. Die Zusammenführung der einzelnen Farbkanäle wird über Prismenbaugruppen realisiert. Der gemischte Laserstrahl wird zur Weiterleitung des Lichtes zum Mechanikmodul in eine Monomodefaser eingekoppelt. In Abb. 2 ist das optische Prinzip des Lasermoduls (grün) und des Mechanikmoduls (rot) vereinfacht für einen Laser dargestellt.

Mechanikmodul mit Strahlformungsoptik

Die gleichmäßige Belichtung des Filmmaterials erfordert präzise mechanische Bewegungsachsen. Der Bildaufbau erfolgt über eine luftgelagerte Führung (y-Achse) und einen luftgelagerten Rotationsscanner (ϕ -Achse) mit einem integrierten optischen System zur Übertragung der RGB-Laserimpulse auf den Film. Abb. 3 zeigt das Mechanikmodul als CAD-Modell.

Die Bildinformation wird durch die Monomodefaser zentral in den Rotationsscanner eingekoppelt. Über eine Prismenbaugruppe wird das Laserlicht einer filmnahen Fokussieroptik zugeführt. Dabei erfolgt im optischen System eine Transformation der Faserapertur, die typisch 0,12 beträgt und eine Punktgröße von 3...4 μm in der Filmebene realisiert. Das entspricht einer bildseitigen Apertur von 0,2. Der Bereich der Tiefenschärfe beträgt dabei nur 15 μm . Der Fokus wird über ein piezoelektrisches Trackingsystem auf das jeweilige Filmmaterial voreingestellt. Funktionsbedingt rotiert die Fokussieroptik satellitenartig um die Rotationsachse und ist Fliehkräften ausgesetzt.

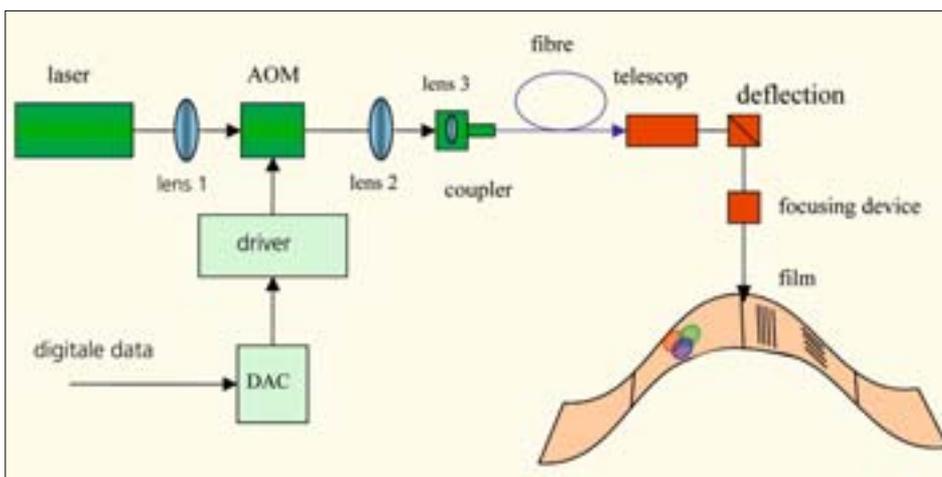


Abb. 2:
Optikkonzept des Lasermoduls (grün)
und des Mechanikmoduls (rot).

Fig. 2:
Optical concept of laser
module (green) and
mechanical
module (red).

The main components of the experimental system are: the laser module including electronic devices, developed in cooperation between JENOPTIK LOS GmbH and the Fluck engineering company (fig. 2) and the mechanical module with an integrated optical device for beam shaping (fig. 3) developed in cooperation between IOF and POG Gera GmbH. The modules are connected by an optical fiber but are otherwise physically separate. The electronically processed picture information is synchronously transmitted to the film. Otherwise questions of data preparation, color calibration and film management are worked out by Mikro-Picture GmbH to produce faithfully colored images.

Laser module

The laser light is generated by a Helium-Neon-Laser at a wavelength of 632.8 nm (red) and 543 nm (green) respectively, and an Argon-Laser which emits light at a wavelength of

457.9 nm (blue). The output power of the lasers is 2 mW white light. This RGB-Laser system works at a frequency and amplitude stability of $\pm 1.5\%$.

The modulation proceeds by acoustic-optical modulators (AOM's) in each single color channel. The AOM's are responsible for regulating the intensity and for the necessary adjustments to the frequency with reference to the picture built up by the scanner device. For beam focusing and expanding, optical components are integrated. The electronically prepared digital picture information is transmitted to the AOM's. Thereby synchronization with the mechanical components, and therefore simultaneous activation of the three colors, is ensured. Color mixing is performed with several specific color portions of the required intensity according to the color calibration. The mixed laser beam is coupled onto a single mode fiber which is responsible for leading the light to the mechanical module. Fig. 2 shows the optical concept for one channel of the laser module (green) and the mechanical module (red).

Mechanical module including beam shaping optical device

Constant exposure of the film material requires a precisely mechanical axes. The picture is built up with an air-bedded guide (y-axis) and an air-bedded rotating scanner device (ϕ -axis) with an integrated optical system for leading the RGB-Laser impulse to the film. The mechanical module is shown in fig. 3.

The picture information is put in the center of the rotating scanner device through a single mode fiber. The laser light then passes a prism device and is lead to a focusing optical component close to the film. Therefore a transformation of the fiber aperture (typically 0.12) and a spot size of 3–4 μm on the film plane are realized by this optical system. This corresponds to a picture side aperture of 0.2. The field of focusing depth here is only 15 μm . A piezo-electronic tracking system adjusts the focus. The component for focusing rotates under centrifugal force like a satellite around the rotation axis.

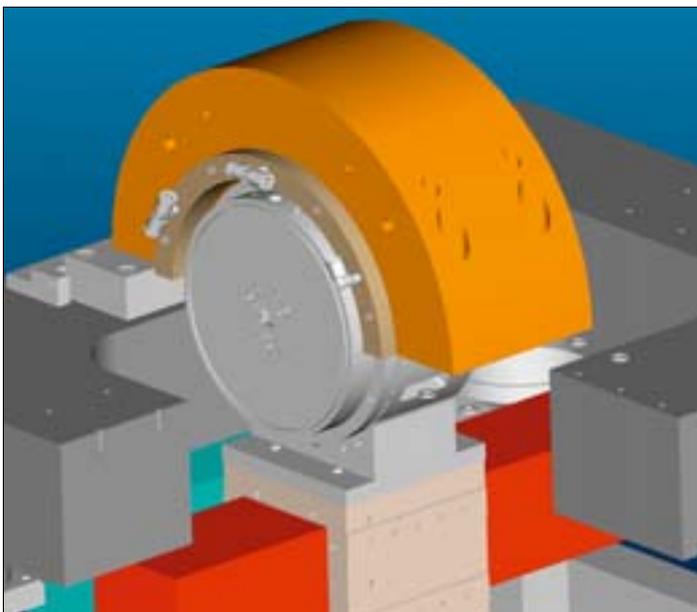


Abb. 3:
CAD-Modell des Mechanikmoduls.

Fig. 3:
CAD-model of mechanical module.

Um eine exakte Belichtung zu realisieren wurde ein neuartiger Rotations-scanner (Abb. 4 und 5) auf Basis eines plan-sphärischen Luftlagers entwickelt (Abb. 6). Als Lagerwerkstoff wurde Glaskeramik mit minimaler thermischer Längendehnung eingesetzt /2/. Die Anwendung klassischer Verfahren der Optikbearbeitung (analog zur Fertigung von Linsen) wurde zur Herstellung der Luftlagerkomponenten genutzt. Die Qualität der so gefertigten planen und sphärischen Lagerflächen entspricht der optischer Bauteile. Die geringe Rauheit und die hohe Formgenauigkeit garantieren, bei Einhaltung des Lagerspaltes, Luftlager mit exakten Laufeigenschaften /3/.

Das gewählte Lagerprinzip ermöglicht die gleichzeitige Aufnahme axialer und radialer Kräfte. Der Effekt der Selbstzentrierung des sphärischen Luftlagers stabilisiert die Baugruppe während der Rotation. Durch ein mehrstufiges Wuchtverfahren wurde die Ur-Unwucht des Rotationsscanners auf eine Größe von kleiner 5 mg absolut reduziert. Angetrieben wird die Baugruppe durch einen direktgekoppelten DC-Antrieb. Die Rund- und Planlauffehler sphärischer Luftlager aus Glas oder Glaskeramik sind kleiner als 50 nm /3/.

Eine luftgelagerte Translationsachse der Firma KUGLER GmbH trägt den Rotationsscanner. Die Bewegung ist gleichförmig und sorgt so für den zweidimensionalen Bildaufbau. Als Antrieb wurde hier ein Reibantrieb der Firma NANOMOTION eingesetzt.

Der zu belichtende Film wird in einer tunnelartigen Trommel über einen Unterdruck-Chuck fixiert. Die mit Ultrapazisionsverfahren hergestellte Trommel hat eine Formabweichung von kleiner 3 μm und definiert die Ablage des Films in Bezug zur rotierenden Belichtungsoptik.

Zusammenfassung

Im Labormaßstab wurden die ersten Mikrofilme erfolgreich belichtet (Abb. 7a).

Zur Zeit wird mit einer Frequenz von 30 Hz gearbeitet. In Testbelichtungen wurde die Auflösung von 3,3 μm Pixelgröße untersucht. An einem ausbelichteten Gitter wurde diese Auflösung nachgewiesen (Abb. 7b). Eine Untersuchung der 150 Linienpaare an einem Lichtmikroskop ergab eine Abweichung von kleiner 2 %.

Die Belichtung von Bilddaten zeigte eine hohe Farbqualität.

Die nächsten Arbeitsschritte sind das Steigern der Belichtungsfrequenz und weitere Untersuchungen z. B. zur Stabilität der Belichtung.

Mit dem vorliegenden Experimental-aufbau steht erstmalig eine Mikro-filmbelichtungsanlage mit RGB-Laserquellen zur Verfügung (Abb. 8). Die Überführung der Technik in ein markt-fähiges Produkt wird durch die Industriepartner betrieben. Bereits im nächsten Jahr soll ein erster Prototyp aufgebaut werden.

Danksagung

Das Projekt LASER_COM wurde unter dem Förderkennzeichen B 509-02001 durch das Thüringer Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst, Erfurt, gefördert.

Literatur:

- /1/ Client Server Computing IT 03/2001, S. 62 ff
- /2/ Risse, S.: „Präzisionslager aus Glaskeramik“, Dezember 1997; S.114–115.
- /3/ Risse, S.: „Ein Beitrag zur Entwicklung eines doppelsphärischen Luftlagers aus Glaskeramik“, Dissertation; Technische Universität Ilmenau; 2001.

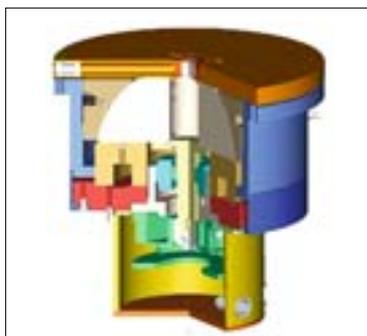


Abb. 4:
Modell des Rotationsscanners mit
Strahlformungsoptik.

Fig. 4:
Model of rotation scanner with beam
shaping optical device.



Abb. 5:
Rotationsscanner zur Strahlableitung.

Fig. 5:
Rotation scanner for beam deflection.



Abb. 6:
Aerostatisches plan-sphärisches Lager.

Fig. 6:
Aerostatic plan-spherical bearing.

To ensure an accurate exposure a new rotation scanner (fig. 4 and 5) was developed on the basis of a plane spherical air bearing (fig. 6). A glass ceramic with low thermal expansion is used as material /2/.

The application of glass or glass ceramic allows the manufacture of plane and spherical bearings with outstanding properties by using production methods and assembly technologies from the optics industry. The quality of the produced plane and spherical bearing surfaces is equal to the quality of optical lenses. The small roughness and the precise geometrical accuracy guarantee precise rotation quality on condition that the distance between the rotor and the stator bearing surfaces is adjusted /3/.

The bearing principle is able to admit axial forces as well as radial forces. The effect of self-centering stabilizes the spherical air bearing during the rotation. By balancing the rotation scanner in several steps any unbalance is reduced to less than 5 mg absolute. The movement is powered by a direct DC-drive. The rotation accuracy and the wobble is better than 50 nm /3/.

The rotation scanner is carried by an air guide, which is manufactured by the company KUGLER GmbH. The drive here is a friction drive from the NANOMOTION Company. The movement is uniform and responsible for the two-dimensional picture built up.

The film which is to be exposed is clamped in a drum like a tunnel and is fixed by a vacuum chuck. The film drum is made by an ultra-precision technique (single diamond turning) and achieves geometrical accuracy of cylinder better than 3 μm . It defines the position of the film with reference to the rotating exposure optic.

Summary

The first microfilms were exposed successfully (fig. 7a). At the moment a rotation frequency of 30 Hz is used. The resolution of the pixel size 3.3 μm is proved. Analysis of the 150 pairs of lines with a microscope shows a deviation of less than 2 % (fig. 7b). The exposure of picture data achieved high color quality.

The next steps are the increase of the exposure frequency and further investigations into, for example, the stability of the process.

The test bench system shown in fig. 8 is the first system to expose microfilm by using RGB-Laser sources. The transfer of this new technology to the worldwide market will be realized by our industrial partners. By next year the first prototype should already be set up.

Acknowledgment

This work was supported under contract no. B 509-02001 by the Thuringia's ministry of science, research and the arts, Erfurt.

References:

- /1/ Client Server Computing IT 03/2001, S. 62 ff.
- /2/ Risse, S.: „Präzisionslager aus Glaskeramik“ Dezember 1997, S.114–115.
- /3/ Risse, S.: „Ein Beitrag zur Entwicklung eines doppelsphärischen Luftlagers aus Glaskeramik“. Dissertation; Technische Universität Ilmenau; 2001.

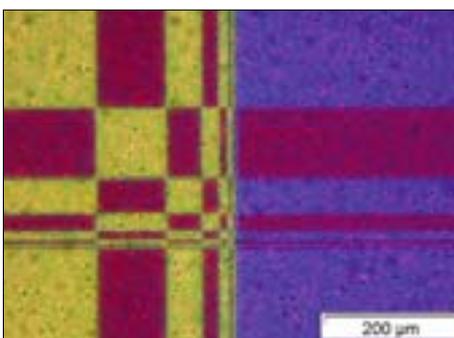


Abb. 7a:
Belichtetes Muster auf einem Mikrofilm.

Fig. 7a:
Exposed pattern on microfilm.

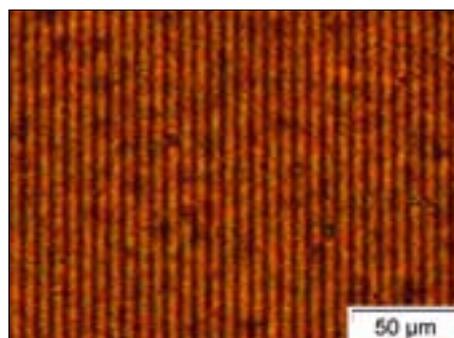


Abb. 7b:
Nachweis der Auflösung an einem ausbelichteten Gitter.

Fig. 7b:
Exposed line pattern with pixel size.



Abb. 8:
Experimentalaufbau des Filmbelichters.

Fig. 8:
Test bench system of film exposure tool.