

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 11 (1966)
Heft: 95/96

Artikel: Tieftemperatur-Farbfotographie für Amateure
Autor: Eggeling, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-900074>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 27.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Tiefemperatur-Farbphotographie für Amateure

von H. EGGEING, Wettingen¹⁾



Den meisten Amateuren sind schon einige Ergebnisse der Tiefemperatur-Farbphotographie bekannt, denn die auf diese Weise erhaltenen Aufnahmen des Flagstaff-Observatoriums sind durch unseren Bilderdienst frühzeitig einem weiten Kreis zugänglich gemacht worden. Im Vergleich zum mühevollen Verfahren der Mount-Palomar-Farbaufnahmen von WILLIAM C. MILLER²⁾ schien das neue Verfahren ein grosser Fortschritt zu sein, so dass ich neugierig wurde, ob die Tiefemperatur-Technik auch für den Amateur durchführbar ist. Meine Kamera war bereits im Entstehen, als der Beitrag vom Entdecker des Verfahrens, ARTHUR A. HOAG, in «*Sky and Telescope*» erschien³⁾. Er fordert dort die Amateure geradezu zu eigenen Versuchen auf! Doch bevor ich zur Kamera und den erzielten Ergebnissen komme, möchte ich ein paar Worte über den *physikalischen Hintergrund der neuen Methode* sagen.

Wir wissen, dass das Halogensilberkorn der lichtempfindlichen Schicht durch das Auftreffen von Photonen in einen labilen Zustand gebracht wird, der seine spätere Reduktion zu metallischem Silber ermöglicht. Wieviel Silber entsteht – wie stark die Schwärzung also wird – hängt von der eingefangenen Lichtenergie (das ist Lichtintensität mal Zeit) ab. Es ist schon lange bekannt, dass *bei kleinen Intensitäten* scheinbar mehr Energie nötig ist, um die gleiche Schwärzung wie bei grossen Intensitäten zu errei-

chen. Man muss viel *länger belichten*, als es sich rechnerisch ergibt. Diese nach seinem Entdecker SCHWARZSCHILD-*Effekt* benannte Eigentümlichkeit tritt beim Farbfilm besonders auch dadurch in Erscheinung, dass sie zu *Farbverzerrungen* führt, weil sie die Empfindlichkeit im Grün und vor allem im Rot viel stärker als in anderen Farben schwächt. Die Ursache für die Verschiedenheit der SCHWARZSCHILD-Exponenten der einzelnen, für verschiedene Spektralbereiche sensibilisierten Farbfilm-Schichten wird darin gesehen, dass die durch Lichtquanten hervorgerufene Änderung der Feinstruktur des Halogensilbers, die an sich nicht sehr stabil, gröber gesagt, nicht «rüttelfest» ist, besonders beim Übergang der Energie vom Sensibilisator-Molekül zum Halogensilber-Teilchen gestört wird, wenn die Moleküle in Bewegung sind. Nun schwingen aber alle Moleküle – auch in festen Körpern. Es ist dies die bekannte ungeordnete *Molekularbewegung* von BROWN. Diese Schwingungsenergie entspricht dem Wärmeinhalt eines Körpers und verschwindet vollständig erst beim Abkühlen auf den absoluten Nullpunkt (-273°C).

Wir können nun verstehen, was bei *sehr geringen Lichtintensitäten* geschieht: Die wenigen einfallenden Lichtquanten haben nur eine geringe Chance, eine bleibende Änderung der Molekülstruktur hervorzurufen, weil die thermische Bewegung sie grösstenteils wieder zerstört, bevor eine genügende Stabilität

erreicht ist. A. A. HOAG bringt eine einfache Analogie-Vorstellung: Man stelle sich ein Gefäss mit einem Leck vor, in das Wasser hineinfliesst. Es bleibt leer, wenn weniger Wasser hineinfliesst, als durch das Leck ausläuft. Fliesst aber viel Wasser hinein, so füllt es sich trotz des Lecks. Man muss sich noch vorstellen, dass sich das Leck bei einer gewissen Füllung schliesst: wenn eine bestimmte Ausdehnung der Strukturänderung im Halogensilber erreicht ist, *bleibt* sie bestehen.

Man sieht nun, was zu tun ist, um das Gefäss zu füllen: der Abfluss durch das Leck muss gestoppt oder wenigstens verringert werden. Man muss also *kühlen*, damit die Moleküle weniger schwingen. Das ist der Grund für die *Tiefkühlung des Films*! Man nimmt dabei zwar eine gewisse Verringerung der all-

Da eine Vakuum-Pumpe für den Amateur recht teuer ist, habe ich versucht, mit einer *umgebauten Fahrradpumpe* auszukommen. Damit gelang es schliesslich, ein Vakuum von rund 0.05 Atmosphären zu erzielen. Dieser Druck, kombiniert mit einer extremen Trocknung des Füllgases genügt bereits für den Erfolg, wenn die Kamera vollkommen dicht ist.

Die Konstruktion der Kamera sei an Hand der Schnittzeichnung (Fig. 1) erläutert. Der Boden ist aus glasfaserverstärktem Epoxydharz gegossen. Der Film liegt innen an einer als Kühlplatte dienenden Aluminiumplatte an, während von aussen her die Wärme durch feste Kohlendioxid (Trockeneis) entzogen wird. Der Raum für das Trockeneis besteht aus Polystyrolschaum, der aussen zum Schutz gegen Wärmeeinstrahlung mit Aluminiumfolie überzogen

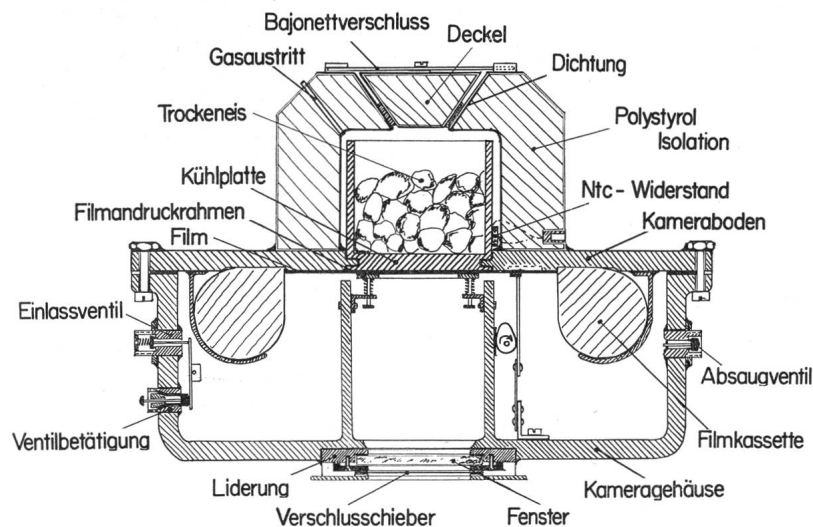


Fig. 1: Schnittzeichnung der Tiefkühl-Kamera

gemeinen Lichtempfindlichkeit in Kauf, aber es ist ja die viel grössere Erhöhung der Empfindlichkeit für kleine Lichtintensitäten, die uns in der Astrophotographie interessiert und auf die es hier ankommt.

Nun zu den Problemen der Kamera: Würden wir den Film einfach kühlen, so würde sich die Luftfeuchtigkeit auf ihm als Tau oder Reif niederschlagen. Um dem zu begegnen, ist es naheliegend, das Füllgas der Kamera extrem trocken zu halten. Da aber erst bei ziemlich hohem Vakuum der Dampfdruck des Wassers bei -80° noch grösser als der Gesamtdruck bleibt, kann erst durch das *Zusammenwirken von Kühlung, Trocknung und Vakuum* ein Beschlagen des Films und des Frontfensters der Kamera mit Sicherheit vermieden werden. Dies ist der Grund dafür, dass A. A. HOAG ein ziemlich hohes Vakuum empfiehlt.

Das Kammergehäuse ist ebenfalls aus glasfaserverstärktem Epoxydharz (Araldit + Glasgewebe) hergestellt, wobei die Aluminium-Linderung für das Frontfenster gleich mit eingegossen wurde. Dieses besteht aus 4 mm dickem, planparallel poliertem und vergütetem Spiegelglas. Beide Vakuumdichtungen bestehen aus Silikongummi, der aus der Tube aufgetragen wird und sowohl auf Araldit wie auf Aluminium haftet. Die andere Flanschseite muss leicht eingefettet werden. Mit einem Schieber (Verschlusschieber) gegen eine Plüschdichtung wird die Kamera lichtdicht verschlossen. Es sind zwei Ventile vorhanden: Ein Absaugventil, an das die Luftpumpe angeschlossen wird, und ein Einlassventil, das von aussen betätigt werden kann und das ein Nachsaugen von getrocknetem Gas ermöglicht. Für die Vakuum-Anzeige wird ein Manometer benötigt. Da bil-

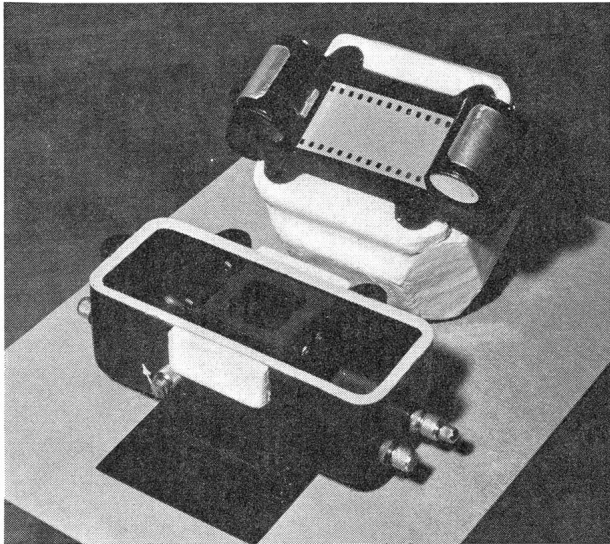


Fig. 2: Die geöffnete Kamera mit eingelegtem Film

lige und leichte Manometer nicht ohne weiteres zu erhalten sind, habe ich mir ein solches aus einer Thermometer-Kapillare wie folgt hergestellt: Das eine Ende der Kapillare steht mit dem Vakuumraum in Verbindung, das andere wird mit Araldit verschlossen. Saugt man nun im Anschluss an das erste Evakuieren ein kleines Quecksilbertröpfchen – zur besseren Schmierung und Abdichtung mit Silikonöl vorbehandelt – in die Kapillare ein, so ist bei normalem Druck nur ein kleiner Luftrest in der Kapillare eingeschlossen, der sich beim Evakuieren ausdehnt. Die Länge der Luftsäulen in der Kapillare ist dann ein Mass für das jeweils bestehende Vakuum.

Die geöffnete Kamera mit eingelegtem Film zeigt die Fig. 2. Es wird Kleinbildfilm verwendet. Der Film-andruckrahmen lässt das Format 24×24 mm frei. Zweckmässig sind die Kassetten des Agfa-Rapid-Systems, weil damit der Film durch einfaches Einschieben aufgewickelt wird. Ein Greifer, der auch im Va-

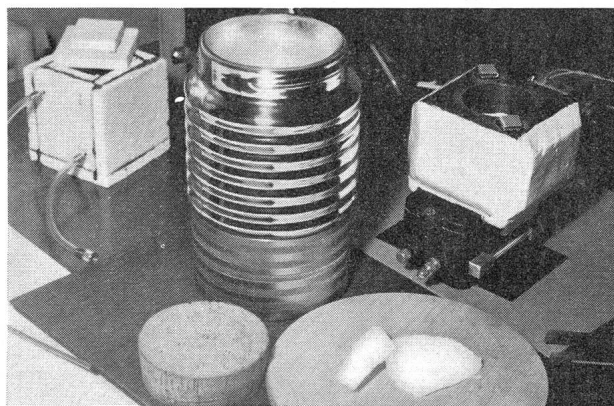


Fig. 3: Einfüllen des Trockeneises

kuum (von aussen her) betätigt werden kann, bewirkt den Filmtransport. Ein Transport des tiefgekühlten Films ist allerdings nicht ratsam, da er dann sehr spröde ist.

Zur Vorbereitung einer Aufnahme werden zunächst das Gefäss mit Trockeneis und die Pumpe angeschlossen. Für die erforderliche extreme Trocknung hat sich nach mehreren Fehlschlägen schliesslich das folgende Verfahren als zweckmässig erwiesen: Es wird nicht Luft, sondern Kohlensäure-Gas angesaugt, das im Vorratsgefäss für das Trockeneis bereits in sehr trockener Form zur Verfügung steht. Dieses Kohlendioxyd passiert zunächst eine Spule aus dünnem Kupferrohr, die mit Trockeneis gekühlt ist. Auf diese Weise wird in der Spule die restliche vorhandene Feuchtigkeit ausgefroren. Die Kamera wird ausgepumpt, worauf über das Einlass-Ventil getrocknetes Kohlendioxyd eingelassen wird. Dieser Vorgang wird mehrfach wiederholt, worauf die Verbindungen entfernt und die Öffnungen verschlossen werden.

Die Fig. 3 zeigt das Einfüllen von Trockeneis. Eine kleine elektrische Messeinrichtung erlaubt eine Kontrolle der Kühlplatten-Temperatur. Zur Aufrechterhaltung einer Temperatur von -75°C bei $+20^\circ \text{C}$ Raumtemperatur genügt eine Kühlleistung von 1,5 Watt. Dies entspricht einem Verbrauch von etwa 80 Gramm Trockeneis pro Stunde, die sich im Trockeneisraum gut unterbringen lassen.

Über die weiteren Voraussetzungen für eine halb-stündige Astroatnahme soll hier nicht weiter gesprochen werden, doch sei angemerkt, dass die hier beschriebene Kamera leichter als das Teleskop mit Leitrohr und Nachführung zu bauen ist.

Die ersten Ergebnisse, wie sie mit der beschriebenen Kamera erhalten wurden, sind auf dem Kunst-druckblatt zusammengestellt. Da die Kontrolle der Farbtreue von Astrophotographien zumindest für den Amateur nicht möglich ist, wurden entsprechende Farbtafel-Versuchsaufnahmen gemacht. Der Farbkreis wurde mit einer Tageslichtlampe (Farbtemperatur etwa 5500°K) beleuchtet. Für alle Aufnahmen diente der neue Ektachrome High Speed «improved» Film für Tageslicht (EH-135 improved, 23/10° DIN). Eine erste Kontrollaufnahme (A) zeigt das Ergebnis einer ungekühlten Aufnahme, die bei Blende 4,5 6,5 Sekunden lang belichtet wurde. Abgesehen von einem leichten Grüntich, der vermutlich durch die ungenaue Filterung der Tageslichtlampe verursacht wird, sind die Farben hier erwartungsgemäss richtig wiedergegeben. Verkleinert man hierauf die Blende auf 48, was einer proportionalen Belichtungszeit von 12,3 Minuten entspricht, so muss ohne Kühlung bereits fünfmal länger, nämlich 60 Minuten lang belichtet werden, damit eine Aufnahme (B) mit etwa gleicher Transparenz wie bei der Normalaufnahme (A) entsteht. Der Farbstich ist nach Blaugrün verschoben und die Sättigung der Farben ist geringer geworden. Immerhin ist die Farbverzerrung bei die-

sem neuen Filmtyp für Tageslicht viel geringer, als bei dem in gleicher Weise untersuchten Kunstlichtfilm Ektachrome High Speed Typ B (22 DIN).

Die Verhältnisse werden nun durch Tiefkühlung des Films auf -75°C radikal verbessert. Die dritte Aufnahme (C) wurde auf den gleichen Filmstreifen bei unveränderter Beleuchtung und Blende, jedoch gekühlt und mit nur 15 Minuten Belichtungszeit gemacht. Sie stimmt fast vollständig mit der Normalaufnahme (A) überein. Da eine weitere, nur 7,5 Minuten lang belichtete Aufnahme nahezu gleiche Transparenz aufweist, kann man ohne Übertreibung feststellen, dass die Tiefkühlung den SCHWARZSCHILD-Effekt im untersuchten Bereich praktisch aufhebt. Wissenschaftlich ausgedrückt bleibt der SCHWARZSCHILD-Exponent für alle drei Emulsionsschichten gleich Eins, das heisst, die Reziprozität der Empfindlichkeiten wird gewahrt.

Es war zu erwarten, dass sich dieses Ergebnis bei Himmelsaufnahmen bestätigen würde. Als Beispiel dafür zeigt das Kunstdruckblatt zwei Vergleichsaufnahmen des Orion-Nebels M 42, die im Fokus eines 15 cm Newton-Spiegels mit der Brennweite 120 cm erhalten wurden, wobei das Originalbild von 24×24 mm ungefähr ein Quadratgrad erfasst. Es sei bemerkt, dass bei diesen Aufnahmen die Nachführgenauigkeit noch nicht ganz befriedigte, da nur ein Leitrohr mit 100 cm Brennweite von unbefriedigender optischer Qualität zur Verfügung stand (das durch einen Schiefspiegler von 1440 mm Brennweite ersetzt werden wird). Auch störte bei diesen Aufnahmen ein unregelmässiger Wind. Der Unterschied, auf den es hier ankommt, ist aber dennoch gut zu erkennen: Die Aufnahme I, die ohne Kühlung bei $+8^{\circ}\text{C}$ mit einer Belichtungszeit von 20 Minuten erhalten wurde, ist blaustichig und damit farbverfälscht, während die Aufnahme II, die unter Kühlung des Films auf -75°C mit der gleichen Belichtungszeit auf denselben Filmstreifen (EH-135 improved, 23/10⁰ DIN) aufgenommen wurde, nicht nur farbrichtig ist, sondern auch noch schwach leuchtende Partien zeigt, ohne dass dabei die Trapezsterne im Zentrum bereits überstrahlt wären.

Diese Aufnahmen sind natürlich erst ein Anfang, und es bleibt noch sehr viel zu tun übrig. Alle erhältlichen hochempfindlichen Farbemulsionen sollten auf ihr Verhalten bei noch geringerer Lichtintensität und bei verschiedenen tiefen Temperaturen untersucht werden. Es scheint zum Beispiel, dass der Kunstlichttyp B von Kodak – entgegen den theoretischen Erwartungen – eine bessere Rotwiedergabe und Farbsättigung hat als der neue Tageslichttyp. Es ist auch noch nicht bekannt, bei welcher Filmtemperatur die beste Farbwiedergabe bei kleinstem SCHWARZSCHILD-Effekt erreicht wird. Da es schwierig ist, mit Trockeneis andere Temperaturen als -75°C zu erreichen, wird jetzt eine thermoelektrische Kühlung mit PELTIER-Elementen vorbereitet. Der Aufwand ist allerdings grösser, da eine Umlaufrückkühlung

mit Eiswasser sowie eine elektronische Regelung der Filmtemperatur erforderlich sind.

Die Tieftemperatur-Photographie ist für den fortgeschrittenen Amateur ein reizvolles neues Gebiet, in das es sich lohnt, vorzustossen. Wenn dieser Bericht einige Sternfreunde zu eigenen Versuchen anregen wird, so ist damit sein wesentlicher Zweck erreicht. Der Verfasser möchte am Schluss nicht versäumen, seinen Kollegen, welche durch die Trockeneisbeschaffung und die sorgfältige Filmentwicklung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, herzlich zu danken.

Anmerkungen:

- 1) Nach einem Vortrag, gehalten anlässlich der 7. Schweizerischen Astro-Amateur-Tagung in Baden 2.–3. Oktober 1965 (mit einigen Ergänzungen).
- 2) WILLIAM C. MILLER, Colour Photography in Astronomy. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 74, 457 (1962).
- 3) ARTHUR A. HOAG, Experiences with Cooled Colour Emulsions. Sky and Telescope 28, 332 (1964).

Photographie en couleurs à basse température pour amateurs

par H. EGGELING, Wettingen

Résumé: La technique de la photographie en couleurs à basse température, développée par M. A. A. HOAG à l'Observatoire de Flagstaff est aussi accessible à l'amateur avancé.

L'effet SCHWARZSCHILD, et surtout les altérations de couleurs qu'il cause, peuvent être écartés par le refroidissement du film, car leur origine se trouve dans le mouvement moléculaire thermique.

L'appareil est placé dans une gaine de polyester et d'aluminium. La chambre à vide utilise des films de petit format logés dans des cassettes Agfa-Rapid.

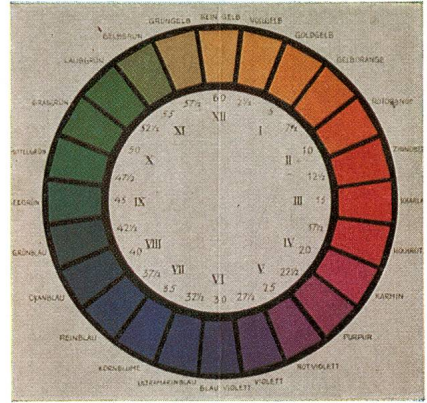
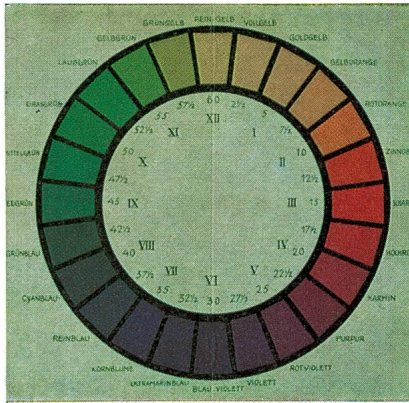
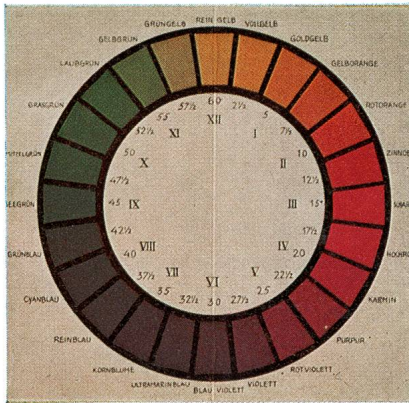
Une plaque conductrice en aluminium refroidit le film grâce à de la glace sèche. Le vide extrême est évité par du gaz carbonique (CO_2) extrêmement sec. Les premiers résultats obtenus sur des tables de couleurs et sur le ciel démontrent que le principe est juste et apte à fonctionner.

Des recherches systématiques sur le refroidissement PELTIER et sur diverses émulsions en couleurs sont prévues.

Die Veröffentlichung der Farbtafel wurde durch anonyme Spenden ermöglicht, wofür die Redaktion ihren herzlichen Dank zum Ausdruck bringen möchte.

Tieftemperatur-Farbphotographie für Amateure

von H. EGGELING, Wettingen



Farbkreis-Aufnahmen als Tests

A
Blende 4,5/6,5 Sek./ungekühlt +22° C

B
Blende 48/60 Min./ungekühlt +22° C

C
Blende 48/15 Min./gekühlt -75° C



Vergleichsaufnahmen des *Orion-Nebels* M 42

I
20 Min. / ungekühlt +8° C

II
20 Min. / gekühlt -75° C

(beide Aufnahmen im direkten Newton-Fokus, Öffnung 1:8, $f = 1200$ mm). Alle Bilder wurden auf Ektachrome High Speed-Film «improved» für Tageslicht aufgenommen (EH-135 improved, 23/10° DIN), davon A, B, C und I, II jeweils auf den gleichen Streifen mit gemeinsamer Entwicklung. Originalgrösse aller Aufnahmen: 24×24 mm (Vergrößerung knapp $2,3 \times$).