

Abschlußbericht

über die im Rahmen des Vertrages Nr. I (Plan-Nr. 1403 15/5-587/5, IOS-Themennummer 3.021) vom 18.12.1964 und der Nachtragsvereinbarung zu diesem Vertrag (Plan-Nr. 2501 15/5 587/5) vom 20.12.1965

zwischen

VEB Pentacon Dresden Kamera- und Kinowerke  
und der

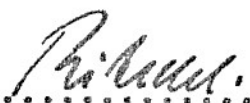
Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin,  
Forschungsgemeinschaft der naturwissenschaftlichen,  
technischen und medizinischen Institute,  
Institut für Optik und Spektroskopie,

durchgeführten Arbeiten mit dem Thema

Ausgewählte Detailprobleme der Aufgabe  
"Dauerreflexsuchersystem für photographische  
Kameras"

Berlin-Adlershof, 22. Juli 1966

  
..(Hödam)..  
wiss. Bearb.

  
.....  
(Prof. Dr. Ritschl)  
Institutsdirektor

Dieser Bericht enthält 40 Seiten, davon 12 Seiten Abbildungen.

Inhalt

	Seite
Zusammenfassung	3
1. Aufgabenstellung	4
1.1. Vorbereitung der Untersuchungen	5
2. Optische Forderungen an die Folie	7
2.1. Foliendicke	7
2.2. Oberflächenform	8
2.2.1. Bildstrahlengang	8
2.2.2. Sucherstrahlengang	10
3. Spezielle Untersuchungen des Einflusses der optischen Abweichungen auf die Abbildung	11
3.1. Bildstrahlengang	11
3.2. Sucherstrahlengang	12
3.3. Kritik der Ergebnisse	15
4. Verspiegelung der Folie	15
4.1. Grundsätzliche Fragen und Teilungsverhältnis	15
4.2. Art der Verspiegelung	18
4.3. Mechanisches und optisches Verhalten der Schichten	20
5. Klimaverhalten der Folien	21
6. Auswahl des endgültigen Folienmaterials	22
7. Optische Prüfung der eingebauten Folien	23

### Zusammenfassung

Es wurde an einer größeren Anzahl verschiedener Proben von Kunststofffolien der Einfluß der Folieneigenschaften auf den Abbildungsvorgang sowie das mechanische und klimatische Verhalten untersucht.

Durch Messungen der astigmatischen Eigenbrennweite sowie durch verschiedenartige Testaufnahmen wurde der Zusammenhang zwischen der Oberflächenstruktur der Folien und der Güte des Bildes im Negativ ermittelt. Die Grenzen der zulässigen Strukturierung wurden festgelegt.

Voraussetzung für die optische Brauchbarkeit ist die Homogenität des Folienmaterials. Inhomogenität führt zu starkem und störendem Streulicht.

Zur Prüfung der Oberflächenstruktur und der Homogenität wird ein Schlierenverfahren vorgeschlagen, das durch entsprechende Gestaltung auch zur Toleranzprüfung geeignet ist.

Als zweckmäßiges Teilungsverhältnis des Lichtes wurden die Werte 55 bis 58 % für den Bildstrahlengang und etwa 40 % für den Sucherstrahlengang gefunden. Zur Realisierung dieses Verhältnisses wird eine Interferenz-Zweifachschicht vorgeschlagen. Die Art dieser Schicht und ihre Eigenschaft wird beschrieben.

Wegen der Empfindlichkeit gegen feuchte Luft erwiesen sich die Folien auf Acetatgrundlage für den gedachten Zweck trotz ihrer guten optischen Eigenschaften als wenig geeignet. Unempfindlich gegen Feuchtigkeit sind Polymerisatfolien, die aber bis auf die Polyesterfolien wegen Inhomogenität optisch ungünstig sind. Besonders die Polyesterfolie

"Melinex" 0,02 mm

(Hersteller: ICI, London W.C.1, 81-87 High Holborn)

zeigte in jeder Hinsicht gutes Verhalten und wird deshalb zur Verwendung vorgeschlagen.

Durch Berechnung des an der Folie auftretenden zusätzlichen Astigmatismus wurde die obere Grenze der Foliendicke mit etwa 0,025 mm gefunden.

### 1. Aufgabenstellung

Die Entwicklung einäugiger Spiegelreflexkameras, insbesondere für das Bildformat 24 x 36 mm, läßt in der Perspektive einige typische Tendenzen erkennen. Diese sind unter anderem

- a) Innenmessung der jeweiligen Belichtungszeit möglichst im Moment der Aufnahme,
- b) Belichtungsmessung in Verbindung mit der jeweils verwendeten Aufnahmeoptik einschließlich der Zusatzgeräte für Makro- und Mikroaufnahmen,
- c) weitgehende Automatisierung, z.B. durch elektronische Verschußsteuerung.

Die Lösung dieser Aufgaben erfordert ein Suchersystem, bei dem im Gegensatz zu den bisher üblichen Anordnungen der Spiegel zur Aufnahme nicht mehr aus dem Strahlengang herausgeklappt wird, d.h. ein System mit physikalischer Teilung der zum Film und zum Sucher gelangenden Lichtenergie. Eine derartige Vorrichtung wird als Dauerreflexsuchersystem bezeichnet.

Bei einigen Schmalfilmkameras wird bereits dieser Vorgang angewendet. Der Strahlenteiler befindet sich hierbei innerhalb des Objektivs. Wollte man dieses System auf photographische Kameras übertragen, wäre die Entwicklung spezieller Objektivsysteme notwendig. Dies scheidet aber hier aus, da in der Photographie die Benutzung des handelsüblichen Objektivsortiments einschließlich der Zusatzgeräte für Makro- und Mikroaufnahmen zu fordern ist. Außerdem ist das gegenüber der Schmalfilmtechnik erheblich größere Bildformat zu berücksichtigen.

In dem hier vorliegenden Falle ist deshalb der Strahlenteiler am Ort des bisherigen Klappspiegels anzuordnen. Eine teil-

durchlässige Verspiegelung des bisher üblichen Glasspiegels scheidet aus, weil durch dessen notwendige Dicke in störendem Maße zusätzlicher Astigmatismus erzeugt wird, der Anlaß zu merkbarer Verschlechterung der Bildgüte ist.

Es liegt daher nahe, den Glasspiegel durch gespannte glasklar durchsichtige Folien zu ersetzen, bei denen eine Oberfläche mit einer geeigneten reflektierenden Schicht versehen ist.

Die Auswahl eines geeigneten Folienmaterials nach optischen und mechanischen Grundsätzen, das Festlegen von Toleranzen für die optischen Eigenschaften sowie die Art und die Durchführung der Beschichtung mit einer teilweise reflektierenden Schicht sind die zu lösenden Grundprobleme für das Institut für Optik und Spektroskopie. Die Gestaltung der für die Kamera geeigneten Fassungskörper sowie die Technologie des Spannens der Folien in diesen Körpern wird im VEB Pentacon bearbeitet.

### 1.1. Vorbereitung der Untersuchungen

Zunächst wurden etwa 35 Herstellerbetriebe von Kunststofffolien in der DDR, in Westdeutschland und im Auslande um Überlassung von Versuchsmustern gebeten. Bis auf wenige Ausnahmen, bei denen bereits auf Grund der Anfrage auf mangelnde Eignung des Materials hingewiesen wurde, wurde die Bitte durch Übersendung von Mustern unterstützt. Ein Teil dieser Muster war allerdings von vornherein auszuschneiden, da das Material für untergeordnete Zwecke (z.B. Verpackung) bestimmt war und mangelhafte Oberflächengüte oder Durchsichtigkeit zeigte.

Nach grober Vorsortierung wurden folgende Materialien zu den weiteren Untersuchungen benutzt:

- a) Acetatfolie 0,1 mm (VEB Photochemische Werke Berlin-Köpenick)
- b) Triacetatfolie "SR 30", 0,03 mm (Chemiewerk Dr. P. Stock GmbH., Starberg am See)
- c) Triacetatfolie "SR 30", 0,15 mm (Hersteller wie b)
- d) Acetatfolie "SVL" 0,06 mm (Hersteller wie b)
- e) Acetatfolie "Ultraphan NB, beidseitig glänzend" 0,02 mm (Lonza-Werke GmbH, Weil am Rhein)
- f) Acetatfolie "Ultraphan NB, beidseitig glänzend" 0,03 mm (Hersteller wie e)
- g) Acetatfolie "P-904", 0,022 mm (Ansel Europe SA, Bern/Schweiz, Schwanengasse 8)
- h) Acetatfolie "P-904" 0,025 mm (Hersteller wie g)
- i) Acetatfolie "P-912", 0,03 mm (Hersteller wie g)
- k) Polypropylenfolie "Moplefan BT", 0,025 mm (Montecatini, Milano, Italien)
- l) Polypropylenfolie "Moplefan OT", 0,015 mm (Hersteller wie k)
- m) Polycarbonatfolie "Pokalon (Lonza-Werke GmbH, Weil am Rhein)
- n) Polyesterfolie "Melinex" 0,02 mm (ICI, London W.C. 1, 81-87 High Holborn)
- o) Polyesterfolie "Grisuten" etwa 0,02 mm, Labormuster (Hersteller VEB ORWO, Wolfen)

Für die Versuche wurden die Folien in spezielle Spannfassungen (Bild 1) mit einem freien Durchmesser von 30 mm eingelegt. Die Fassungen wurden nach Unterlagen des VEB Pentacon angefertigt.

Bei den oben genannten Versuchsproben sind einige aufgeführt, deren Dicke oberhalb der durch den Astigmatismus gegebenen Grenzen liegt. Die Untersuchung dieser Stücke diente vorwiegend prinzipiellen Fragen.

Zur Durchführung der Testaufnahmen wurde eine im Institut für Optik und Spektroskopie befindliche Testkamera so umgebaut, daß sich die Spannfassung mit der Folie analog dem Aufbau der Spiegelreflexkamera zwischen Objektiv und Film anbringen ließ. Um exakte Planlage des Films zu erreichen, wurde dieser gegen eine ebene Metallplatte gedrückt, wobei lediglich ein etwa 5 mm breiter Spalt zur Belichtung freiblieb. Ein Teil der Testaufnahmen wurde auf Plattenmaterial ausgeführt.

Da bereits bei der Vorsortierung der Musterfolien solche mit deutlichen Fehlern ausgeschieden waren, bleiben die Einflüsse der Folie auf die Abbildung naturgemäß gering. Die Verschlechterung der Bildgüte konnte in der Regel lediglich durch mikroskopische Betrachtung des Negativs beobachtet werden. Ein späterer Positivprozeß läßt die Auswirkungen nicht mehr eindeutig erkennen. Deshalb mußte im folgenden Bericht auf die Wiedergabe von Bildbeispielen für diese speziellen Untersuchungen bis auf wenige Ausnahmen verzichtet werden.

## 2. Optische Forderungen an die Folie

Allgemein ist vorauszusetzen, daß das Folienmaterial keine trübenden Bestandteile enthält, d.h. klar durchsichtig ist. Das Material muß weiter optisch homogen sein, es dürfen innerhalb der ausgenutzten Größe keine merkbaren Änderungen der Brechzahl auftreten. Sind diese Bedingungen nicht ausreichend erfüllt, so tritt störendes Streulicht auf, das zu Kontrastminderungen und Bildgüteverlusten im photographischen Bilde führt.

Da die Folie auf der Bildseite des Kameraobjektiva angebracht ist, sie sich also innerhalb einer endlichen Schnittweite befindet, tritt selbst bei einwandfreier Beschaffenheit zusätzlicher Astigmatismus auf, dessen Größe von Brechzahl und Dicke des Materials sowie von der Stellung der Folie im Strahlenweg abhängt. Da Brechzahl und Stellung gegeben sind, ist die Dicke als freier Parameter zu begrenzen.

### 2.1. Foliendicke

Zur Festlegung der oberen Grenze der Foliendicke wurde die Größe des an der Folie entstehenden Astigmatismus berechnet. Die Rechnung erfolgte für die vom Objektiv kommenden Hauptstrahlen. In Bild 2 ist die schematische Anordnung sowie das Ergebnis dargestellt. Die Kurven zeigen den Verlauf der

meridionalen und der sagittalen Bildschale in Abhängigkeit vom Hauptstrahlwinkel  $\epsilon_B$  für drei Foliendicken (0,1 mm, 0,05 mm und 0,025 mm). Die Kurven sind so angeordnet, daß der Astigmatismus (Abstand von meridionaler und sagittaler Schale) im axialen Bildpunkt halbiert wird.

Nimmt man, wie es für die Kleinbildphotographie berechtigt ist, an, daß die durch Astigmatismus erzeugte zusätzliche Bildortverlagerung innerhalb einer Größe von  $\pm 0,01$  mm bleiben muß, so ist aus den Kurven des Bildes 2 direkt zu entnehmen, daß die Foliendicke einen Wert von 0,025 bis 0,03 mm nicht überschreiten darf.

Dieser Wert erscheint ebenfalls mit Rücksicht auf die mechanische Halterung der Folien in der Kamera zweckmäßig und ist, wie die zur Verfügung stehenden Folienproben beweisen, gut realisierbar.

## 2.2. Oberflächenform

Hier ist eine Unterscheidung zwischen Mikro- und Makrogestalt der Oberfläche zweckmäßig. Die Makrogestalt gibt die Oberflächenform im großen (Ebenheit) wieder. Abweichungen von der idealen Mikrogestalt bedeuten eine Strukturierung der Oberfläche im kleinen bzw. partielle Formänderungen, wie sie z.B. durch im Herstellungsprozeß bedingte Riefen mit oder ohne bevorzugten Richtungscharakter entstehen.

Die Wirkung derartiger Oberflächenfehler kann im durchgehenden Lichtanteil (Bildstrahlengang der Kamera) durchaus anders sein als im reflektierten Anteil (Sucherstrahlengang). Es erscheint deshalb vorteilhaft, den Einfluß in beiden Lichtwegen gesondert abzuhandeln.

### 2.2.1. Bildstrahlengang

Die Ebenheit der gespannten Folie im großen ist ausschließlich durch die mechanische Form der Anlagefläche des Spannrahmens beeinflusst. Bei der Voraussetzung konstanter mittlerer Dicke



wirkt die Folie als Planparallelplatte auch dann, wenn durch geringfügige Fehler der Spannvorrichtung Abweichungen von der idealen Ebenheit vorliegen. Sie bleibt also im Prinzip ohne Einfluß auf die Abbildung, da bei den hier verwendeten geringen Dicken der entstehende Astigmatismus vernachlässigbar ist. Zeigen die Folien jedoch eine ausgeprägte Mikrostruktur der Oberfläche oder Brechzahl-inhomogenität, so können merkbare Störungen der Abbildung auftreten.

Ein großer Teil der untersuchten Materialien zeigt Riefen mit ausgeprägtem Richtungscharakter, die offenbar im Herstellungsprozeß entstehen (Bild 5a und 5b). Diese haben die Wirkung von Zylinderlinsen mit mehr oder weniger großer Brennweite. Sie führen Astigmatismus auf der optischen Achse ein, der sich auch bei durchgeführten Brennweitenmessungen und den Testaufnahmen bestätigt.

Liegt, wie es bei einigen Mustern der Fall ist, die Richtung der Riefen auf Vorder- und Rückfläche der Folie um etwa  $90^\circ$  versetzt, so summiert sich der jeweilige Astigmatismus zu einer nicht richtungsbedingten Zunahme der Bildunschärfe. Die ähnliche Erscheinung ist zu beobachten, wenn eine oder beide Flächen eine sichtbare unregelmäßige Struktur aufweisen.

Durch Inhomogenität der Brechzahl innerhalb des Folienmaterials, wie sie insbesondere bei den Mustern der untersuchten Polypropylen- und Polycarbonatfolien aufzutreten scheinen (siehe z.B. Bild 5c), entsteht starkes Streulicht im Bilde. Während die Bildschärfe hierdurch nur wenig beeinflusst wird, erfolgt eine deutliche Kontrastminderung im Negativ. Durch Anwendung von Kopiermaterial mit steiler Gradation könnte der Streulichteinfluß im fertigen Bild ausgeschaltet werden. Abgesehen davon, daß erfahrungsgemäß dieser Ausgleich mit einem teilweisen Informationsverlust verbunden ist, wird der Benutzer der Kamera die flauen Negative als unvollkommen ablehnen.

### 2.2.2. Sucherstrahlengang

Als Folge des Reflexionsgesetzes sind hier Formfehler der Fläche der Folie ungleich wirksamer als beim durchgehenden Lichtanteil. Die durch Formfehler der Spannrahmen erzeugte Abweichung von der Ebenheit im großen werden hier wirksam. Oberflächenfehler in Form von gerichteten Riefen oder sonstigen Mikrostrukturen lassen im Prinzip die gleichen Bildstörungen entstehen wie beim durchgehenden Strahlenverlauf. Inhomogenitäten der Brechzahl wirken sich beim reflektierten Anteil nicht aus.

Die durch Ebenheitsfehler im großen machen sich im Sucherbild weniger als Unschärfe, sondern als Bildverzerrung bemerkbar. Der Grund hierfür ist die Tatsache, daß bei der Spiegelreflexkamera die Folie innerhalb der Brennweite verhältnismäßig dicht an der Bildebene des Sucherbildes angeordnet ist, und der Krümmungsradius der Folienoberfläche (abhängig von der mechanischen Güte des Spannrahmens) in der Regel groß bleibt.

Die erwähnte konstruktive Eigenart der Kamera hat zur Folge, daß sich die durch Flächenfehler verursachten Bildstörungen nur relativ geringfügig auswirken (kurzer Abstand zwischen fehlererzeugendem Flächenelement und Bild). Berücksichtigt man weiter physiologische und psychologische Effekte der Wahrnehmung des Sucherbildes, so zeigt sich, daß die auftretenden Störungen nicht nur in geringerem Maße empfunden werden als beim Betrachten des photographierten Bildes, sondern auch den Einstellvorgang beim Scharfstellen des Bildes nicht in vollem Umfang beeinträchtigen. Versuchsreihen zur Feststellung der Einstellunsicherheit haben diese Tatsache bestätigt. Eine merkbare Bildverschlechterung zeigte sich lediglich, wenn größere Fehler der Oberflächengestalt, insbesondere grobe gerichtete Riefen vorlagen.

Unregelmäßige Mikrostruktur innerhalb der gesamten Folienoberfläche führt zur leichten Verunschärfung des Sucherbildes

sowie zu Streulicht und Kontrastminderung. Da der physiologische Vorgang des Scharfstellens aber als Optimieren innerhalb einer Reihe mehr oder weniger scharfer Bilder in kontinuierlicher Folge zu betrachten ist, treten auch hier meßbare Störungen nur bei groben Flächenfehlern auf.

### 3. Spezielle Untersuchungen des Einflusses der optischen Abweichungen auf die Abbildung.

Aus bereits erwähnten Gründen ist es auch hier notwendig, die Vorgänge im Bild- und Sucherstrahlenweg gesondert zu behandeln. Aufgabe der Untersuchungen war hierbei, einen physikalischen Zusammenhang zwischen den inneren und äußeren Abweichungen der Folien vom Idealzustand und deren Einfluß auf die Güte des vom Objektiv erzeugten Bildes in der Kamera zu finden.

#### 3.1. Bildstrahlengang

Die allgemeinen Betrachtungen in Abschnitt 2.2.1. lassen bereits erkennen, daß Abweichungen von der idealen Oberflächengestalt zu einer Eigenbrennweite der Folie, die in der Regel azimutabhängig (d.h. also astigmatisch) ist, führen wird. Es wurde deshalb versucht, die Kritik des optischen Verhaltens durch Bestimmen dieser Eigenbrennweite vorzunehmen.

Hierzu wurde die zu untersuchende Folie in gespanntem Zustand objektivseitig hinter einem Kollimator aufgestellt. Mit einem Fernrohr wird das Bild des Kollimator-Fädenkreuzes durch die Folie hindurch beobachtet. Die Brennweite der Folie kann dann aus der zum Scharfstellen notwendigen Größe der axialen Verschiebung aus der Nullstellung (Okularstellung ohne Folie) heraus berechnet werden. Die Brennweite der Objektive von Fernrohr und Kollimator betrug hierbei  
= 500 mm.

Bei diesen Messungen bestätigten sich zunächst die in Abschnitt 2.2.1. gemachten Ausführungen. Das Bild war in fast allen Fällen gut beobachtbar, die notwendige Einstellsicherheit war gewährleistet. Folien mit nicht richtungsgebundener Mikrostruktur der Oberflächen - gegeneinander versetzte Richtungen der Herstellungsriefen auf Vorder- und Rückfläche sowie unregelmäßige Struktur - ergaben Brennweiten, die mit wenigen Ausnahmen (deutlich erkennbare grobe Flächenfehler) größer als 100 m waren und somit für den gedachten Verwendungszweck ohne Einfluß blieben. Richtungsbedingte Strukturen, z.B. Riefen mit bevorzugter Richtung, erzeugen meßbaren Astigmatismus, der bei deutlich ausgeprägten Formfehlern in einem Azimut eine Brennweite von weniger als 50 m erzeugt. Derartige Fehler sind, wie durch Testaufnahmen nachzuweisen ist, bei kritischen Aufnahmeobjekten im Bilde durchaus bemerkbar.

Solche Testaufnahmen liegen in größerer Anzahl vor (siehe z.B. Bild 13). Da die auftretenden Fehler aber mit ausreichender Sicherheit nur bei mikroskopischer Betrachtung der Negative festzustellen sind, ist auf die Wiedergabe von Bildbeispielen hier verzichtet.

Unregelmäßige Oberflächenstruktur führt ebenso wie optische Inhomogenität zu Streulicht und damit zu Kontrastminderung im Bilde. Die Einstellung des Fernrohrokulars bei der Brennweitenmessung wurde aber hierdurch nur in sehr geringem Maße unsicherer. Die Messung der Brennweite ergibt deshalb kein deutliches Kriterium, das die Größe dieser Störung, die im photographischen Bilde durchaus merkbar ist, erkennenläßt.

### 3.2. Sucherstrahlengang

Es lag zunächst nahe, die Eigenbrennweite der Folie auch im reflektierten Lichtanteil, d.h. im Sucherstrahlengang, zur Kritik des optischen Verhaltens heranzuziehen. Hierzu wurde eine Abwandlung der in Abschnitt 3.1. beschriebenen Einrichtung benutzt, bei der die Achsen von Kollimator und

Fernrohr miteinander einen Winkel von  $90^\circ$  bildeten.

Es wurde bereits in Abschnitt 2.2.2. erwähnt, daß sich bei dieser Messung Formfehler ungleich stärker auswirken als im durchgehenden Lichtanteil, da hier die Abweichung des Strahlenverlaufs durch das Reflexionsgesetz bestimmt ist. Es sind also kürzere Brennweiten zu erwarten als im Bildstrahlengang. Darüber hinaus wird durch die Mikrostruktur der Oberfläche bei dieser Art der Messung eine Vielzahl von mehr oder weniger scharfen Nebenbildern erzeugt, die sich in ihrer Gesamtheit als stark störendes Streulicht bemerkbar machen. Hierdurch wird eine sichere Scharfstellung des Bildes im Fernrohrokular unmöglich.

Durch Herabsetzen der Brennweite des Fernrohrobjektivs ist eine bessere Bildgüte zu erreichen, da die Betrachtungsvergrößerung des Bildes verringert wird. Gleichzeitig sinkt aber auch die Meßsicherheit, so daß die Brennweitenmessung im Sucherstrahlengang zu einem unzureichenden Kriterium wird.

Durch die bereits in Abschnitt 2.2.2. behandelten Ursachen wirkt sich die vorstehend beschriebene Erscheinung bei der Benutzung der Folienspiegel innerhalb der Kamera nicht störend aus. Auch deshalb ist die Brennweitenmessung als Gütekriterium des Sucherstrahlenganges ungeeignet. Es war vielmehr ein Verfahren zu suchen, das dem praktischen Gebrauch nahe kommt.

Zunächst wurde die zu prüfende Folie in Verbindung mit Kleinbild-Photoobjektiv und einer Bildfeldlinse mit Lupe so angeordnet, daß dem optisch-mechanischen Aufbau in der Kamera weitestgehend entsprochen ist. Die subjektive Beurteilung des Sucherbildes bestätigte dann die in Abschnitt 2.2.2. gemachten Ausführungen. Bei der Mehrzahl der Foliemuster ist keine störende Abnahme der Bildgüte merkbar. Starke Formfehler wirken sich vorwiegend als Verzerrung einzelner Bildelemente aus.

Es wurde nunmehr versucht, diese subjektive Beurteilung durch eine physikalische Analogie zu ersetzen. Der Aufgabe des Suchers entsprechend wurden hierzu Meßreihen zur Bestimmung der Ein-

stellungsunsicherheit im Sucherbilde herangezogen. Durch mehrere Beobachter verschiedenen Alters (Akkommodationsfähigkeit) und unterschiedlicher Übung wurden in größerer Anzahl Scharfstellungen bestimmter Testobjekte durch Verschieben des Objektivs durchgeführt. Die Größe dieser Verschiebung konnte an einem Feintaster (Skalenwert 0,01 mm) abgelesen werden. Als Test dienten sowohl räumlich gestaffelte natürliche Objekte (Gebäudeteile, Innenraumdetaills) als auch flächenhafte Gegenstände (Prüftafeln mit Gitter- oder Sektorenrastern, Diapositiv einer technisch einwandfreien Landschaftsaufnahme). Die Testbeleuchtung entsprach den beim Gebrauch der Kamera üblichen Größen (äquivalente Belichtungszeit etwa  $1/30$  sec). Als Bildfeldlinse wurde neben der bekannten einfachen Mattscheibenlinse auch die im VEB Pentacon entwickelte Fresnellinse mit Meßkeil und konzentrischem Meßfeld benutzt.

Zur Feststellung der grundsätzlichen Einstellunsicherheit wurde die zu prüfende Folie in der Anordnung gegen einen einwandfreien Glasspiegel ausgetauscht. Aus jeder Meßreihe wurde nach den bekannten Methoden der Ausgleichsrechnung der mittlere wahrscheinliche Fehler einer Beobachtung bestimmt.

Die Auswertung der Meßreihen zeigte zunächst, daß die grundsätzliche Einstellunsicherheit bei etwa 30 % des Schärfentiefenbereichs lag. Eindeutige Unterschiede zwischen der Mattscheibenlinse und der Fresnellinse waren nicht feststellbar. Es ist jedoch zu bemerken, daß die Versuche auch nicht die Feststellung derartiger Wirkungen zum Ziele hatten. Hierzu wäre eine weitergehende Variation der Objekte sowie eine größere Anzahl von Messungen nötig gewesen. Offenbar liegt ein wesentlicher Vorteil der Fresnellinse in dem helleren Bilde, das bei geringer Objektleuchtdichte günstigen Einfluß hat (siehe hierzu Abschnitt 4.1.).

Bei Benutzung von Folienspiegeln waren eindeutige und reproduzierbare Minderungen der Einstellsicherheit nur bei denjenigen Prüfmustern bemerkbar, deren Oberfläche typische

grobe Fehler, insbesondere Riefen mit deutlichem Richtungscharakter oder sichtbarer Narbung, aufwies. Hiermit bestätigt die in Abschnitt 2.2.2. erwähnte Tatsache, daß auftretende Störungen in den Folien sich weniger stark auswirken, als zunächst anzunehmen war.

### 3.3. Kritik der Ergebnisse

Die in Abschnitt 3. dargestellten Untersuchungsverfahren geben zwar prinzipiell exakte Meßwerte. Sie vermitteln jedoch keine vollständige Aussage über die gleichzeitige Wirkung aller die Abbildung in der Kamera störenden Faktoren. Hierzu sind jeweils mehrere Messungen nach unterschiedlichen Verfahren notwendig, deren gegenseitige Korrelation schwierig bleibt. Die Methoden sind ferner aufwendig und zeitraubend. Deshalb bleibt ihr Wert für die fertigungsmäßige Prüfung der Folien fraglich.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen jedoch, daß bereits bei Kenntnis der Oberflächenstruktur der Folie und ihrer optischen Homogenität sehr wohl eine Vorausbestimmung der optischen Gesamtwirkung möglich ist. Auf dieser Grundlage arbeitet das in Abschnitt 7. zur laufenden Überwachung vorgeschlagene Schlierenverfahren, das auch die Möglichkeit bietet, durch Variation des Meßvorganges in einfacher Weise Toleranzwerte für die Brauchbarkeit einer Folie einzuführen.

## 4. Verspiegelung der Folie

### 4.1. Grundsätzliche Fragen und Teilungsverhältnis

Der Aufgabe der Folienspiegel entsprechend sind die Folien mit einer teildurchlässigen Spiegelschicht zu versehen. Derartige Schichten lassen sich mit hoher Gleichmäßigkeit und Reproduzierbarkeit durch Aufdampfen reflektierender Stoffe im Hochvakuum herstellen.

Erfahrungen aus früheren Arbeiten, die durch Versuche an den Musterfolien bestätigt wurden, zeigen, daß sich dieses Verfahren auch bei den hier in Frage kommenden Materialien bewährt. Voraussetzung ist allerdings eine saubere Oberfläche der Folien. Fett- und Säurespuren, die besonders durch Berühren mit den Fingern entstehen, sind unbedingt zu vermeiden. Da eine Säuberung der Folien mit den bei Gläsern gebräuchlichen Mitteln nicht möglich ist, sind solche Verunreinigungen durch sorgfältiges Handhaben zu vermeiden. Im Anlieferungszustand der Folie sind die Oberflächen einwandfrei, so daß lediglich Staubreste usw. durch Abblasen mit trockener Luft zu entfernen sind.

Bei der Festlegung des zweckmäßigen Teilungsverhältnisses des Lichtes sind folgende Gesichtspunkte zu beachten. Das Aufspalten des Gesamtlichtstromes in Bild- und Sucherstrahlengang führt zwangsläufig zur Minderung der Bildhelligkeit in beiden Wegen. Hierbei sollte im Bildstrahlengang der Helligkeitsabfall kleiner als 50 % bleiben. Dies würde maximal eine Verdoppelung der Belichtungszeit bedeuten. Ein solcher Wert liegt innerhalb der Unsicherheit der üblichen Aufnahmebedingungen, wie sie durch Toleranzen der Belichtungsmessung, der Verschußzeiten usw. erzeugt werden. Er ist erfahrungsgemäß vertretbar. Durch Verschieben des Kalibrierpunktes des Belichtungsmessers kann er in der automatischen Kamera kompensiert werden, ohne daß nachteilige Folgen bei der Benutzung entstehen.

Im Sucherstrahlengang ist bei der Kritik der zulässigen Helligkeitsminderung die mögliche Erhöhung der Einstellunsicherheit im Sucherbild zu berücksichtigen. Zur Klärung der Verhältnisse wurden gleichzeitig mit den in Abschnitt 3.2. beschriebenen Einstellversuchen Untersuchungen über die Abhängigkeit der Einstellsicherheit von der Bildhelligkeit angestellt. Hierzu wurde die Leuchtdichte des Testobjektes verändert. Als Meßpunkte wurden vier Werte der Leuchtdichte gewählt, die (bezogen auf die dem Objekt äquivalente Fläche konstanter Leuchtdichte und eine Kalibrie-



rungskonstante  $c_R = 50$ ) für eine Blendenzahl  $K = 5,6$  und die Filmempfindlichkeit  $18^\circ$  DIN folgende Belichtungszeiten ergeben:  $1/60$  sec,  $1/8$  sec, 1 sec und 2 sec.

Während nun die Mattscheibenlinse zu geringeren Helligkeiten ein Anwachsen der Meßunsicherheit auf etwa 150 % erkennen läßt, zeigt die Fresnellinse keinen eindeutigen Zusammenhang. Bei ihr bleibt die Einstellunsicherheit weitgehend unabhängig von der Bildhelligkeit. Der Grund hierfür dürfte in dem wesentlich helleren Bild zu suchen sein.

In keinem Fall jedoch bedeutet die Verminderung der Bildhelligkeit um 50 %, wie sie bei einer symmetrischen Strahlenteilung entstehen würde, eine Minderung der Qualität der Kamera. Auch die Herabsetzung auf 25 % wirkt sich nicht störend aus. Deshalb kann prinzipiell über das Teilungsverhältnis des Lichtes frei entschieden werden.

Vor der endgültigen Festlegung sind noch einige Eigenschaften der Spiegelschichten zu betrachten. Aufgedampfte Metallschichten, z.B. Aluminium, sind technisch einfach herzustellen. Der Grad der Teilungsanteile ist leicht einzuhalten. Die spektrale Abhängigkeit des Durchlaßgrades ist bei Aluminium, das wegen seiner günstigen mechanischen und chemischen Eigenschaften bevorzugt verwendet wird, praktisch vernachlässigbar klein. Nachteilig ist jedoch der in solchen Schichten vorhandene hohe Absorptionsverlust, der etwa 25 % beträgt. Da im Bildstrahlengang die Helligkeit nicht unter 50 % sinken soll, wäre dieser Verlust aus der Energie des Sucherstrahlenganges zu decken. Da hier aber noch Licht zur Belichtungsmessung abgezweigt werden muß, wird die Sucherbildhelligkeit unbefriedigend.

Günstigere Eigenschaften besitzen hier Mehrfach-Interferenzschichten. Diese haben nur eine äußerst geringe Absorption, so daß in beiden Wegen die Energie des Lichtes erhalten

bleibt. Sie sind zwar weniger leicht herstellbar als Metallschichten und zeigen mehr oder weniger große spektrale Abhängigkeit des Durchlaßgrades. Messungen an verschiedenartigen Interferenzschichten haben jedoch ergeben, daß mit einem System aus zwei Schichten bereits günstige Ergebnisse zu erreichen sind.

Auf Grund dieser Versuche, die in Abschnitt 4.2. noch in Einzelheiten beschrieben sind, wird das Teilungsverhältnis wie folgt festgelegt:

Bildstrahlengang: etwa 55 bis 58 %  
Sucherstrahlengang: etwa 40 %.

#### 4.2. Art der Verspiegelung

Eine Reihe von Folien wurden in gespanntem Zustand mit unterschiedlichen Interferenzschichten aus zwei und drei übereinanderliegenden Schichten mit steigender Brechzahl bedampft. Hierbei zeigte sich, daß ein System aus zwei Schichten das gewünschte Teilungsverhältnis gut realisiert. Systeme aus mehr als zwei Schichten führen zu einem Ansteigen des reflektierten Anteils, wobei sich gleichzeitig die spektrale Selektivität erhöht. Das Zweischichtsystem bietet auch gleichzeitig ökonomische Vorteile.

Nachstehend seien die Daten der als günstig erkannten Verspiegelung angegeben:

Vorbehandlung: Die auf Rahmen gespannten Folien werden mit einem weichen und staubfreien Tuch (verwendet wurde einwandfrei gewaschenes und gespültes ungestärktes Trikotgewebe) von anhaftenden Verunreinigungen befreit. Lose Staubreite werden durch Abblasen mit einem Gebläse (auf saubere und trockene Luft achten) beseitigt. Teile mit Fingerspuren und sonstigen fettigen Verunreinigungen sind zur Bedampfung nicht geeignet.

Material der Aufdampfschichten: Es werden nacheinander zwei Schichten mit verschiedener Brechzahl aufgedampft. Hierzu sind benutzt

1. Schicht: 70 mg Natriumhexafluoroaluminat ( $\text{Na}_2\text{AlF}_6$ ) reinst für optische Zwecke, Brechzahl  $n = 1,34$ . Hersteller VEB Fluorwerke Dohna.
2. Schicht: 68 mg Zinkulfid ( $\text{ZnS}$ ) reinst für optische Zwecke, Brechzahl  $n$  etwa 2,5.

Verdampfungsaufbau und -vorgang: In Rezipienten einer Hochvakuumanlage sind an getrennten Stromdurchführungen zwei Schiffchen zur Aufnahme der zu verdampfenden Materialien angebracht. Für die erste Schicht ist ein Schiffchen aus Molybdänblech 0,3 mm benutzt, während das für die zweite Schicht bei gleichem Material eine Stärke von 0,04 mm besitzt. Die unterschiedlichen Materialstärken sind notwendig wegen der verschiedenen Wärmeenergie und Zeitdauer der Verdampfung.

Die Folien befinden sich in einer geeigneten mechanischen Aufnahme 300 mm über den Schiffchen mit den zu verdampfenden Stoffen.

Nach Auspumpen des Rezipienten auf einen Druck von etwa  $1 \cdot 10^{-5}$  Torr werden die Schiffchen nacheinander zum Glühen gebracht. Das Aufdampfmaterial wird zunächst bei langsamer Temperatursteigerung gegläht und entgast und dann zur Verdampfung gebracht. Die hierbei benutzten Zeiten waren

	Entgasung	Verdampfung
1. Schicht ( $\text{Na}_2\text{AlF}_6$ )	5 min	2 min
2. Schicht ( $\text{ZnS}$ )	16 min	6 min.

Die längeren Zeiten bei  $\text{ZnS}$  sind notwendig wegen der Heigung des Materials zum Sublimieren und des damit verbundenen Spratzens. Bei erhöhtem Tempo würde hierdurch Material verlorengehen und die Schicht in ihren optischen Eigenschaften verändert werden.

Eine Glühentladung zur zusätzlichen Reinigung der Folienoberfläche erwies sich nicht als notwendig (s. Abschn. 4.3.).

In der Kamera sind die Folien auf Rahmen geklebt. Diese geschwärzten Rahmen speichern während des Verdampfungsvorganges merkbar Wärme. Die verwendeten Kleber sind auf ihre Temperaturfestigkeit zu prüfen (beim WEB Pentacon). Gegebenenfalls sollten bei der Aufnahme der Folien im Rezipienten rechteckige Blenden aus blankem Blech etwa 1 mm vor den Folien angeordnet werden, die die Wärmestrahlung vom Rahmen fernhalten.

#### 4.3. Mechanisches und optisches Verhalten der Schichten

Die mechanische Festigkeit und Klimabeständigkeit der nach vorstehend beschriebenem Verfahren hergestellten Schichtsysteme genügt den üblichen Anforderungen. Sie können ohne Gefahr durch Abwischen mit einem sauberen Tuch von späteren Verunreinigungen befreit werden, wobei allerdings harte Staubpartikel vorher durch Abblasen zu beseitigen sind. Die beschichteten Folien wurden bei den optischen Untersuchungen längere Zeit ungeschützt aufbewahrt und ohne besondere Vorsicht gehandhabt. Beschädigungen traten hierbei nicht auf. Aus diesem Grunde wurde auch auf die Glimmentladung zur Reinigung vor der Beschichtung verzichtet, die stets die Gefahr der mechanischen Beschädigung der Oberfläche mit sich bringt.

Bei den Klimaprüfungen (siehe Abschnitt 5) wurde ein Einfluß auf Beschaffenheit und Verhalten der Schichten nicht beobachtet.

Ebenfalls sind keine nachteiligen Einflüsse auf das optische Verhalten der Folien in der Kamera festzustellen.

Das Streulicht bleibt unterhalb der Wahrnehmbarkeitsgrenze und führt weder im Bild- noch im Sucherstrahlengang zu Störungen. Die spektrale Durchlässigkeit zeigt eine leichte Bevorzugung der kurzen Wellenlängen im Bildstrahlengang, die aber ohne merkbare Wirkung bleibt. Bild 3 gibt die Abhängigkeit des Durchlaß- und Reflexionsgrades von der Wellenlänge im sichtbaren Licht wieder.

## 5. Klimaverhalten der Folien

Zur Prüfung des Klimaverhaltens des Folienmaterials wurden beschichtete und unbeschichtete Folien unterschiedlicher Art und Herkunft Klimaschwankungen ausgesetzt, wobei Rücksicht auf den allgemeinen Gebrauch der Kamera genommen wurde. Es wurden folgende Tests unternommen:

a) Kälteprüfung: Die Folien wurden in gespanntem Zustande (in Spannfassungen, nicht geklebt) etwa 50 Stunden einer Temperatur von etwa  $-15^{\circ}$  ausgesetzt. Beschädigungen (Risse usw.) traten in keinem Fall auf. Nach dem Herausnehmen aus dem Kälteschrank waren die Folien auf Acetatgrundlage durchweg mehr oder weniger wellig. Nach kurzer Aufbewahrung an der Raumluft verschwand diese Welligkeit, die offenbar nicht durch die Kälte, sondern durch Feuchtigkeitsniederschlag auf den kalten Folien aus der Luft entstanden ist. Folien auf Polymerisatgrundlage (Polypropylen und Polyester) blieben bei der Prüfung unverändert.

b) Wärmeprüfung: Bei Erwärmung der Proben auf etwa  $45^{\circ}$  zeigten sich keine Veränderungen.

c) Feuchteprüfung: Die Proben (Zustand wie bei a)) wurden 24 Stunden in Luft mit etwa 95 % relativer Feuchtigkeit aufbewahrt. Die Folien auf Acetatgrundlage wurden hierbei stark wellig. Diese Erscheinung ging auch nach der Trocknung an der Luft nicht völlig zurück. Polymerisatfolien zeigten auch bei dieser Prüfung keine Veränderung.

d) Gebrauchsprüfung: Die Proben (Zustand wie bei a)) wurden an einer Reihe von Tagen mit verschiedener Witterung außerhalb des Raumes offen dem Wettereinfluß ausgesetzt, wobei sie gegen unmittelbare Berührung und Sonnenbestrahlung geschützt blieben. Bei relativer Luftfeuchtigkeit unter etwa 70 % zeigten sich keine Veränderungen. An kühlen und trüben Tagen mit höherer Feuchtigkeit wurden die Folien auf Acetatgrundlage mehr oder weniger wellig. Diese Welligkeit ver-

schwand bei Verminderung der Feuchtigkeit, solange nicht die Feuchtwerte von c) erreicht wurden. Polymerisatfolien zeigten auch hier keine Veränderung.

Ein Einfluß der Vorspiegelung der Oberfläche auf das Verhalten war ebenso wenig zu beobachten wie eine Veränderung der Spiegelschicht selbst.

Um zu prüfen, ob sich unter bestimmten Voraussetzungen die optisch günstige und leicht zu beschaffende Acetatfolie besser verhält, wurde eine derartige Probe völlig durchhäutet und in diesem Zustande gespannt. Nach der Trocknung wurde die Probe Luft hoher Feuchtigkeit (etwa 90 %) ausgesetzt. Auch bei dieser Behandlung wurde die Folie wellig. Dies bedeutet, daß die vermutete Elastizität nicht ausreicht und bei der Trocknung der nassen gespannten Folie eine bleibende Verformung eintrat.

#### 6) Auswahl des endgültigen Folienmaterials

Bei der Auswahl des für den gedachten Zweck geeigneten Folienmaterials waren sowohl optische als auch mechanische Gesichtspunkte zu beachten. Optisch brauchbar zeigten sich ein großer Teil der Acetatfolien. Bei den Polymerisatfolien ist die Polypropylenfolie "Moplefan OT" (Montecatini Mailand) und die Polycarbonatfolie "Pokalon" (Lonza-Werke GmbH, Weil am Rhein) wegen des starken Streulichts ungeeignet. Gute Eigenschaften zeigen Polyesterfolien, insbesondere "Melinex" (ICI, London). Das Polyesterlabormuster von ORWO fällt wegen der Strukturierung der Oberfläche etwas ab.

Bei der Beurteilung der mechanischen Brauchbarkeit war besonders auf das Klimaverhalten zu achten. Hier zeigten alle Acetatfolien Mängel, während die Polymerisate brauchbar blieben. Die zum Spannen der Folien in der Fassung notwendige Spannung wurde bei allen Mustern ohne Beschädigung erreicht. Günstig sind hier Polyesterfolien, da bei ihnen das Spannen

einfach wird. Setzt man diese Folien nach dem Einbau in die Fassung kurzzeitig einem Warmluftstrom aus, so spannen sie sich bleibend von selbst.

Unter Beachtung der vorstehenden Untersuchungsergebnisse und nach Klärung der Beschaffungsmöglichkeit wird deshalb die Polyesterfolie "Melinex" (ICI, London) als Material der Folienspiegel ausgewählt.

### 7. Optische Prüfung der eingebauten Folien

Wie bereits in Abschnitt 3.3. festgestellt, kann die Prüfung der Güte der Folien durch Beurteilen der Oberflächenstruktur und der Schlierenfreiheit erfolgen. Die hier auftretenden Mängel werden in einer Schlierenanordnung nach Töpfer unmittelbar sichtbar, wobei sich durch Variation der Schlierenblende eine Toleranzfestlegung ergibt. Zur Untersuchung sind die Folien in gespanntem Zustande zu benutzen.

Den schematischen Aufbau der zur Untersuchung der Folien benutzten Schliereneinrichtung zeigt Bild 4. Das Lichtfeld einer Quecksilberspektrallampe (HQE 40) wird durch ein dreifaches Mikroskopobjektiv unter Zwischenschalten eines Monochromatfilters für  $\lambda = 546 \text{ nm}$  (VEB Jenaer Glaswerk) auf die als eigentliche Lichtquelle wirkende Blende  $0,5 \text{ mm } \varnothing$  abgebildet. Als Schlierenkopf diente ein achromatisches Fernrohrobjektiv mit genügend großer Öffnung, der die Lichtblende auf die etwa  $1400 \text{ mm}$  entfernte Schlierenblende im Abbildungsmaßstab  $\beta = -1$  abbildet. Die zu prüfende Folie ist auf der Bildseite des Schlierenkopfes im Abstand von  $1350 \text{ mm}$  vor der Schlierenblende angebracht. Ein hinter dieser Blende befindliches weiteres Objektiv bildet die Folie in die Bildebene einer Kleinbildkamera ab. Diese kann durch ein Okular zur visuellen Beobachtung ersetzt werden.

Da der Schlierenkopf weitestgehend frei von Öffnungsfehlern sein muß, wurde hier ein langbrennweitiges System benutzt (Astroobjektiv VEB Carl Zeiss). Auch das Objektiv zur Folienabbildung hat eine lange Brennweite (etwa 500 mm) erhalten, damit das Format der Kleinbildkamera weitgehend ausgefüllt wurde. Als Okular diente ein orthoskopisches System mit großem Bildfeld (Astro-Okular  $f = 40$  mm, VEB Carl Zeiss). Die langen Brennweiten des Aufbaus, die in diesem Versuchsaufbau mit Rücksicht auf vorhandene Systeme und kleine Abbildungsfehler gewählt werden mußten, lassen sich bei Verwendung spezieller Systeme verringern.

Bei völliger optischer Neutralität der Folie erscheint das im Okular bzw. in der Kleinbildkamera erscheinende Bild gleichmäßig hell. Durch die Wirkung der Oberflächenstruktur und der Inhomogenität des Folienmaterials werden die diese Störstellen passierenden Strahlen des die Leuchtfeldblende abbildenden Strahlenbündels aus ihrer Richtung mehr oder weniger abgelenkt. Überschreitet diese Ablenkung einen durch die Größe der Schlierenblende gegebenen Wert, so werden diese Strahlen dort abgedeckt. Damit werden die Folienfehler als dunkle Stellen im Bild der Folie im Okular sichtbar.

Je nach Größe der Schlierenblende ändert sich folglich die Empfindlichkeit der Meßanordnung. Durch deren passende Wahl ist zu erreichen, daß störende Fehler noch oder nicht mehr sichtbar werden. Hierdurch ist die Möglichkeit einer Toleranzfestlegung gegeben.

Bei der hier benutzten Anordnung wurde als Schlierenblende ein Blendenrevolver verwendet, der Blenden mit den Durchmessern 1 mm, 2 mm und 4 mm trug. Ein Strahl konnte also durch Folienfehler aus der Mitte der Schlierenblende heraus um folgende Winkelwerte abgelenkt werden, ehe eine Verdunklung der Fehlerstelle eintrat:

Blendendurchmesser	1 mm	2 mm	4 mm
Ablenkung	1,2'	2,5'	5,1' .



Diese Werte lassen einen Schluß auf die Störung eines in einer mit Folienspiegel ausgerüsteten Kamera erzeugten Bildes zu. Bei der Kleinbildkamera bedeutet, wenn man die nur Bildebene hin verschobene Lage des Spiegels berücksichtigt, die durch Winkelablenkung einzelner Strahlen um  $2,5'$  erzeugte Unschärfe etwa 20 % des Unschärfenkreises. Hierbei ist noch zu bedenken, daß der energiereiche Anteil dieser Strahlen innerhalb des Bildstrahlenbündels bei vereinzelt auftretenden Foliendefekten gering bleibt. Sind also bei der entsprechenden Blendengröße im Schlierengerät keine wesentlichen Verdunklungen im Foliensbild zu bemerken, so wird die Folie auch in der Kamera keinen Anlaß zu Störungen geben.

Als Toleranzkriterium können demnach zwei ausgewählte Winkelgrößen der Schlierenblende dienen, die etwa den oben angeführten Blendengrößen 1 mm und 2 mm entsprechen sollen. Die bei der Blende 1 mm sichtbaren Fehler müssen bei der Blende 2 mm bis auf geringe Reste verschwunden sein. Im anderen Fall ist die Folie unbrauchbar.

Die Durchlichtprüfung nach dem Schlierenverfahren gibt Auskunft über das Verhalten der Folien sowohl im durchgehenden wie auch im reflektierten Lichtanteil in der Kamera. Nicht zu bemerken sind jedoch Formfehler im großen, die durch ungenaue Anlageflächen der Spannrahmen verursacht werden können. Wie aber bereits in Abschnitt 1.2. dargelegt, wirken hier nur grobe Fehler wirklich störend. Derartige Fehler sind aber beispielsweise durch subjektive Betrachtung des Spiegelbildes eines Testgitters o.ä. sehr leicht ohne zusätzlichen apparativen Aufwand feststellbar.

Einige Bildbeispiele mögen nunmehr die typischen Erscheinungsformen der auftretenden Fehler im Schlierenbild erläutern. Durch den räumlich langen Versuchsaufbau machen sich teilweise überlagerte Interferenzerscheinungen bemerkbar,

die keine Ursache in Folienfehlern haben und deshalb zu vernachlässigen sind.

**Bild 5:** Allgemeine Erscheinungsformen von Oberflächenstrukturen an Folien.

- a) Längsriefen in einer bevorzugten Richtung
- b) " in zwei senkrecht zueinander liegenden Richtungen
- c) Unregelmäßige Struktur (Narben)

**Bild 6 bis Bild 12:**

Erscheinungsformen von Folienfehlern bei der Schlierenprüfung bei verschiedenen Größen der Schlierenblende.

**Bild 6:** Triacetatfolie "SR 30" 0,03 mm, Chemiewerk Dr. P. Stock GmbH, Starnberg am See.

Bei Blende 1 mm (Bild 6a) treten gerichtete Riefen auf, die bei den Blenden 2 mm (Bild 6b) und 4 mm (Bild 6c) verschwinden. Die Folie ist brauchbar.

**Bild 7:** Acetatfolie "Ultraphan NB, beidseitig glänzend" 0,02 mm, Lonza-Werke GmbH, Weil am Rhein.

Bei Blende 1 mm (Bild 7a) Riefen in zwei senkrecht zueinander liegenden Richtungen, die bei Blende 2 mm (Bild 7b) noch bemerkbar sind und erst bei Blende 4 mm (Bild 7c) verschwinden. Wegen des geringen Flächenanteils der Störungen bei Blende 2 mm ist die Folie noch brauchbar.

**Bild 8:** Acetatfolie "P 904" 0,022 mm, Amcel-Europe SA, Brüssel.

Bei Blende 1 mm (Bild 8a) deutliche unregelmäßige Narbenstruktur der Oberfläche, die auch noch deutlich bei Blende 2 mm (Bild 8b) auftritt und erst bei Blende 4 mm (Bild 8c) verschwindet. Es tritt eine an der Grenze der Brauchbarkeit liegende Unschärfe im photographierten Bild auf.

Bild 9: Polypropylenfolie "Moplefan OT 15, biaxial gereckt" 0,015 mm, Montecatini Mailand.

Die Folie zeigt zunächst bei Blende 1 mm (Bild 9a) deutlich gerichtete Riefen. Bei Blende 2 mm (Bild 9b) und 4 mm (Bild 9c) treten größere Störungen auf, die offenbar auf optische Inhomogenität des Materials zurückzuführen sind (Oberflächennarben dieser Art wären bei Blende 4 mm stärker zurückgegangen). Bei Blende 1 mm bleibt diese Erscheinung undeutlich, weil sie durch die Beugungsunschärfe der Versuchsanordnung überlagert wird. Auch nach weiterer Vergrößerung der Schlierenblende auf 16 mm bleibt die Erscheinung noch sichtbar.

Die über diese Folie hergestellten Testnegative sind überaus flau und kontrastarm, wenn auch die Schärfeneinbuße gering bleibt. Die Folie ist für den vorgesehenen Zweck unbrauchbar.

Bild 10: Polycarbonatfolie "Pokalon" 0,02 mm, Lonza-Werke GmbH, Weil am Rhein.

Hier treten, wenn auch in etwas geringerem Maße, die gleichen Erscheinungen auf wie bei Moplefan (Bild 9).

Bild 11: Musterfolie Polyester, VEB ORWO Wolfen.

Bei Blende 1 mm (Bild 11a) sind Längsriefen erkennbar, die jedoch keinen ausgeprägten Richtungscharakter zeigen und nicht über die ganze Länge reichen (unterbrochene Riefen). Sie verschwinden bis auf geringe Reste bei Blende 2 mm (Bild 11b) und noch weiter bei Blende 4 mm (Bild 11c). Testaufnahmen lassen leichte Unschärfe der Bilder erkennen. Die Folie ist in diesem Zustand nur bedingt brauchbar.

Bild 12: Polyesterfolie "Melinex", ICI, London.

Bei Blende 1 mm (Bild 12a) ist keine Strukturierung zu erkennen. Die bei den Blenden 2 mm (Bild 12b) und 4 mm (Bild 12c) erscheinenden Störungen sind lokaler Natur und offenbar Einschlüsse, die wegen der Beugungsunschärfe der Versuchseinrichtung erst bei großen Blenden sichtbar sind. Sie haben - ähnlich wie Blasen in Objektivlinsen - keinen Einfluß auf die Güte des in der Kamera erzeugten Bildes. Testaufnahmen zeigen keinen Schärfeverlust. Die Folie ist gut brauchbar.

Bild 13: Beispiel einer Testaufnahme bei Zwischenschalten der Polyesterfolie ORWO (Bild 13a) und Melinex (Bild 13b). Während die Melinex-Folie gegenüber der Testaufnahme ohne Folie (Bild 13c) keinen merkbaren Schärfeverlust zeigt, ist bei der ORWO-Folie im Bildkern eine Verschlechterung sichtbar.

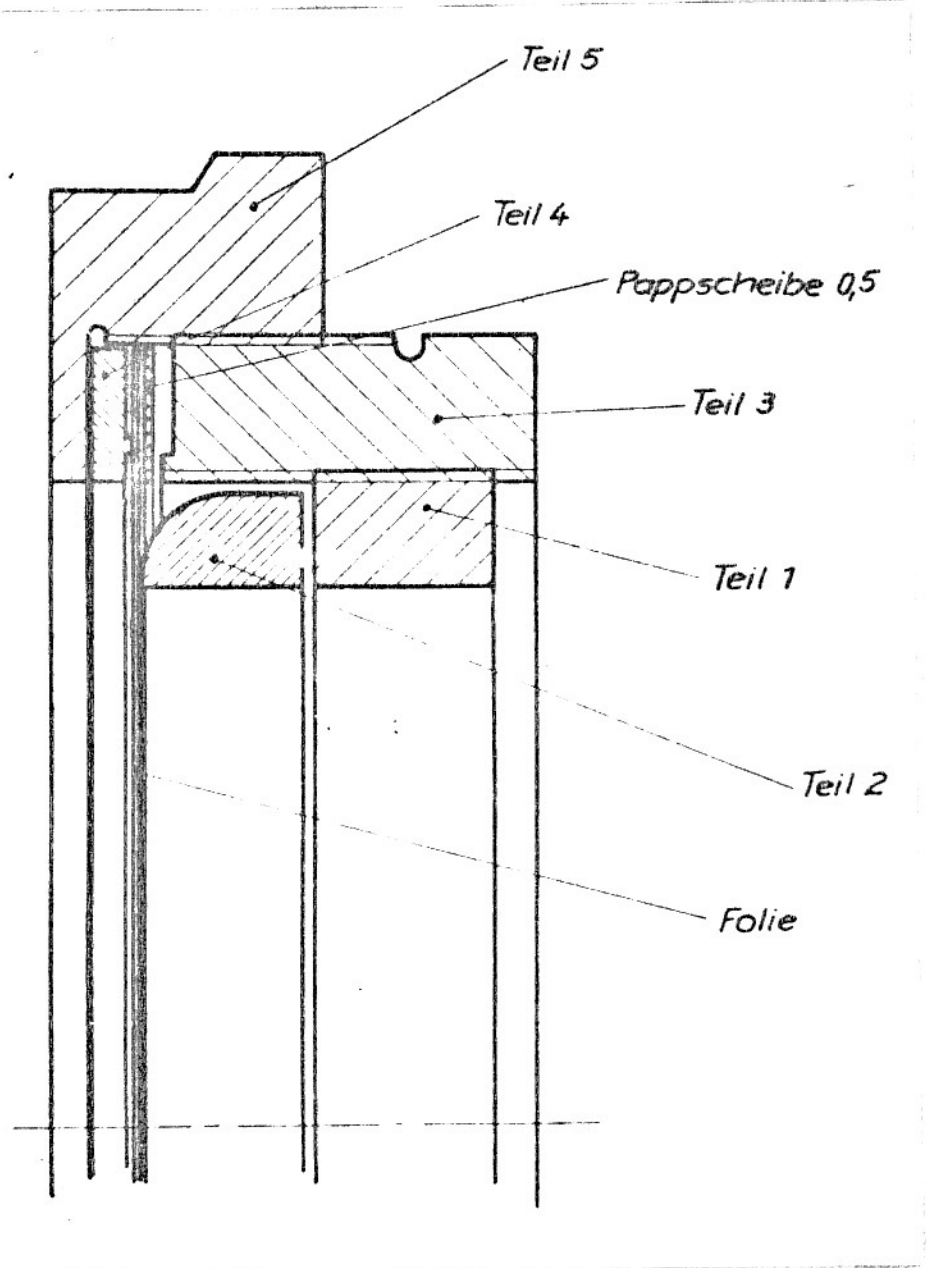


Bild 1  
Spannfassung

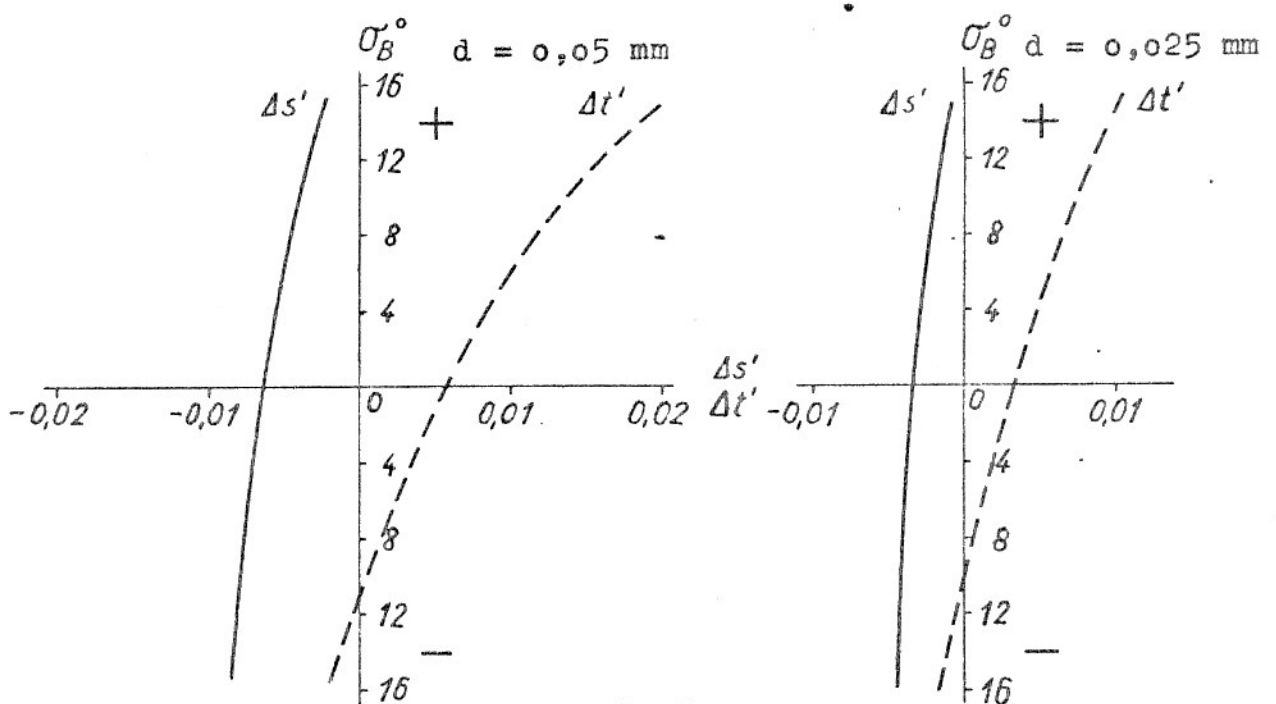
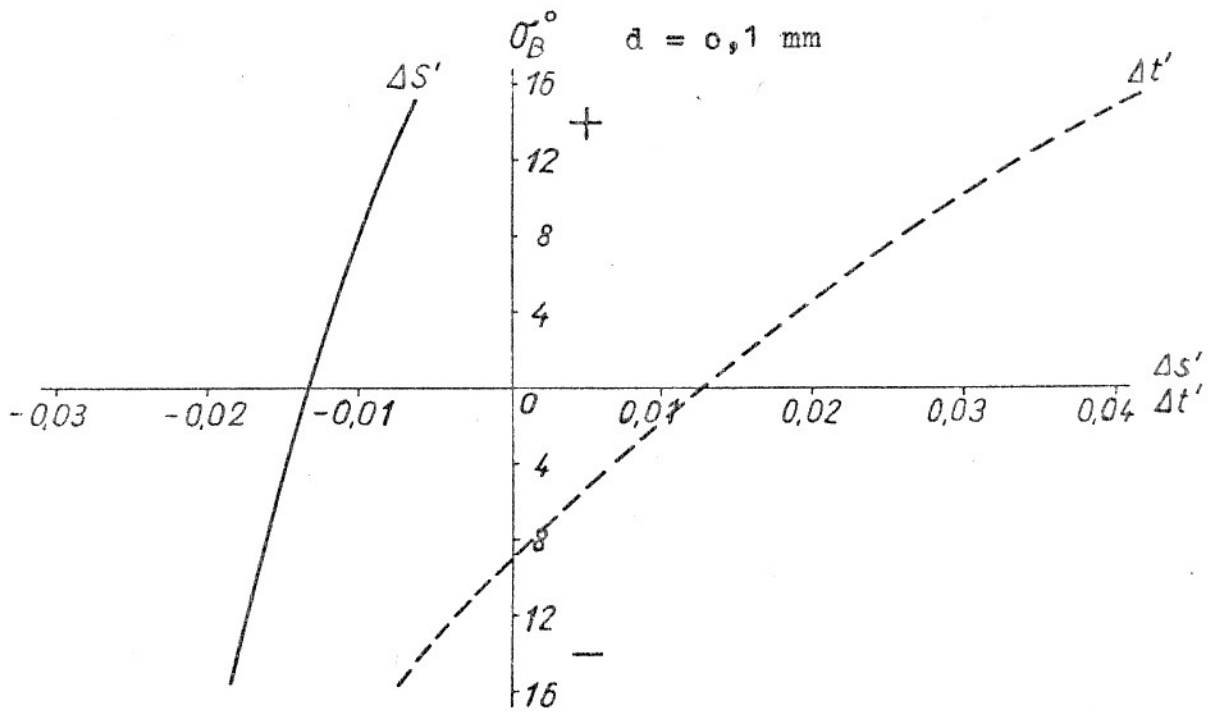
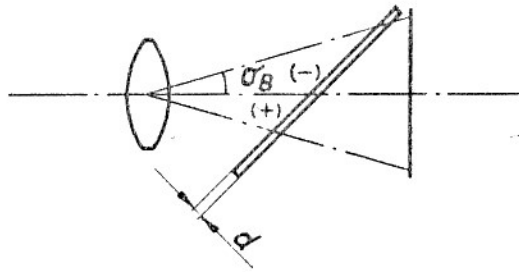


Bild 2

Zusätzlicher Astigmatismus an der Folie

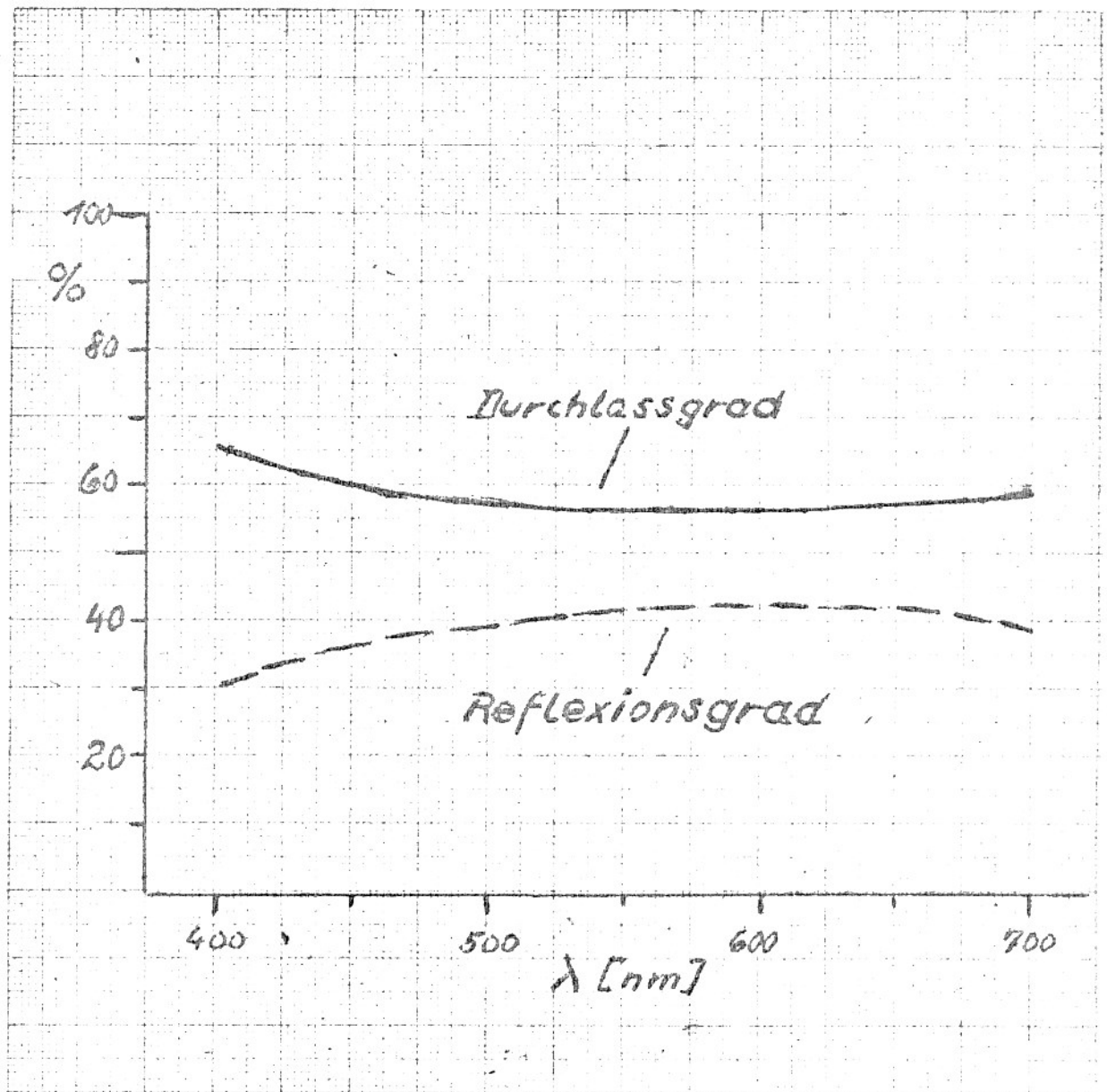


Bild 3

Transmission und Reflexion der verspiegelten Folie.

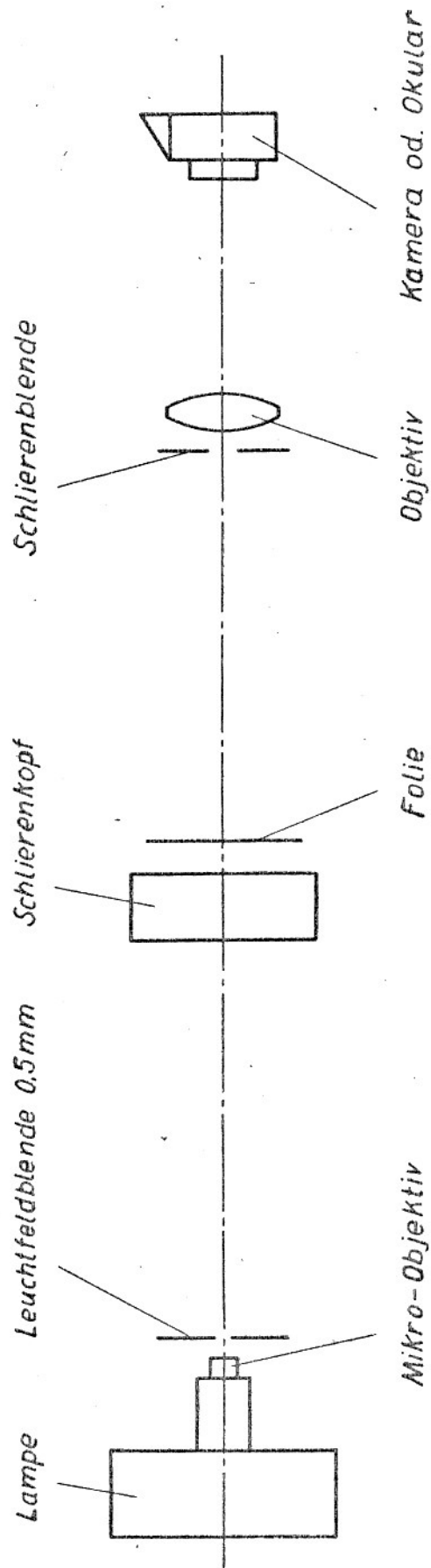
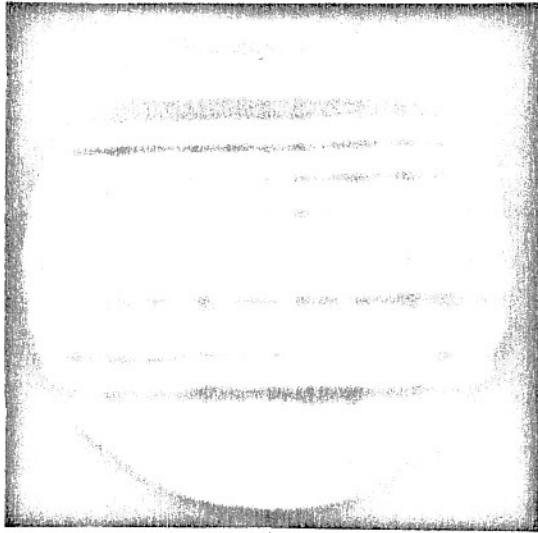


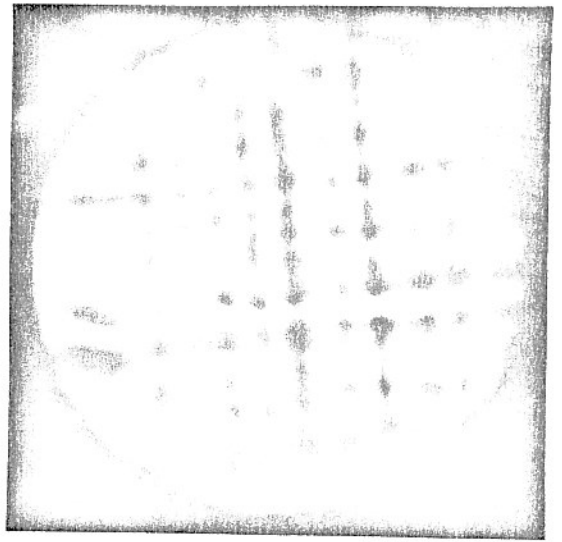
Bild 4

Schema der Prüfeinrichtung

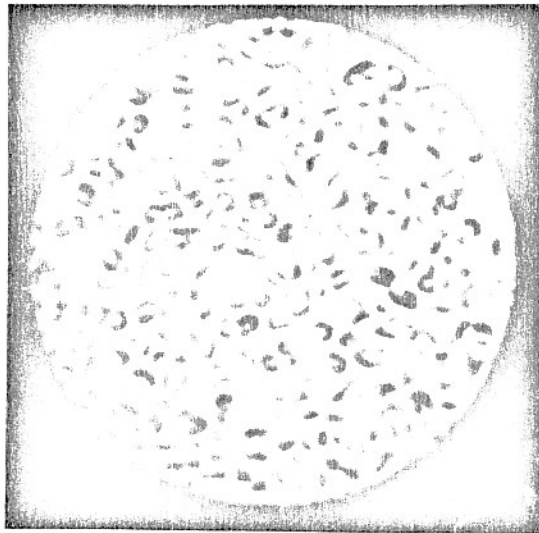




a

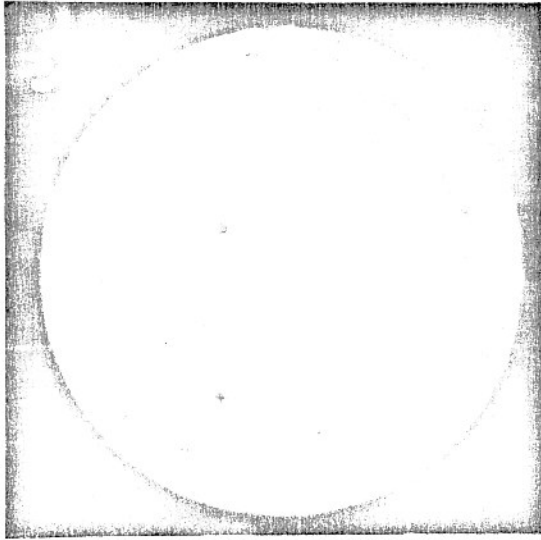


b

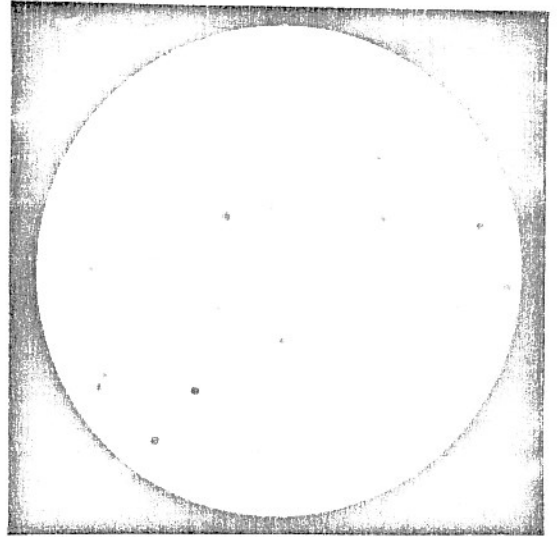


c

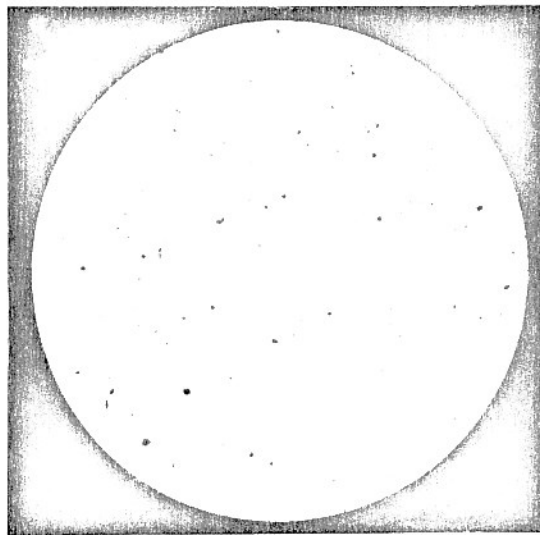
Bild 5  
Oberflächenstrukturen



a

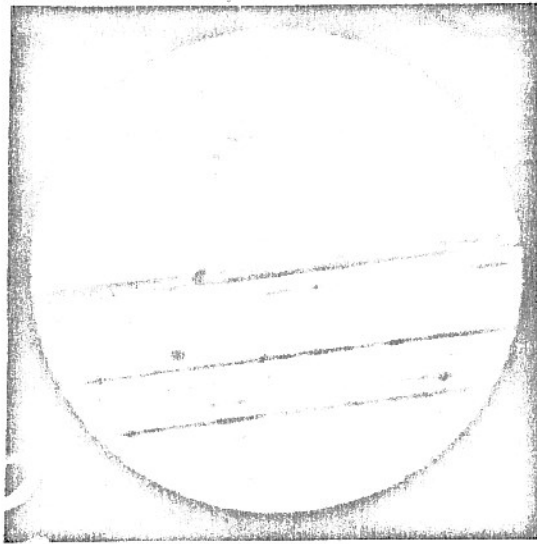


b

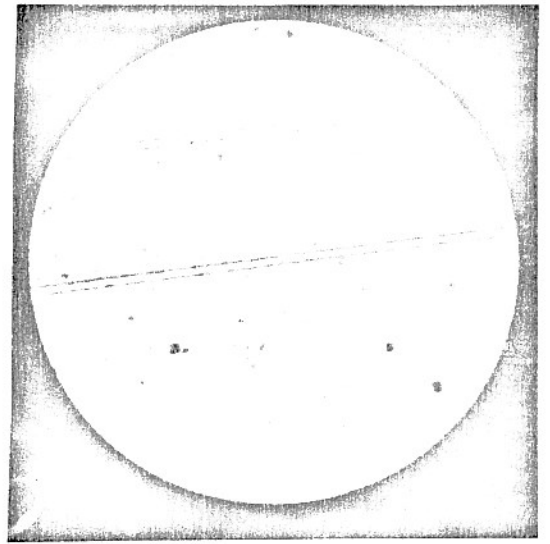


c

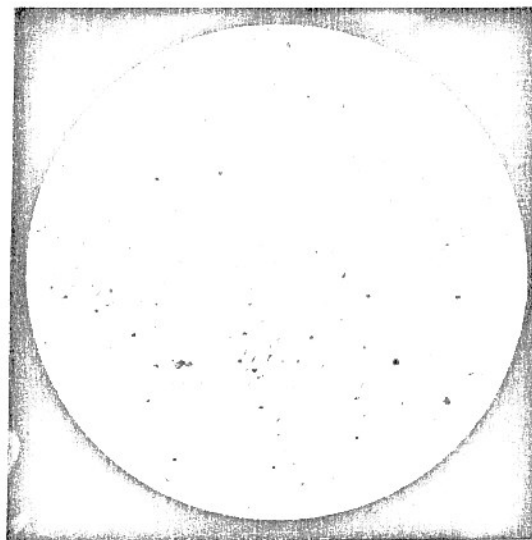
Bild 6  
Prüfbilder



a

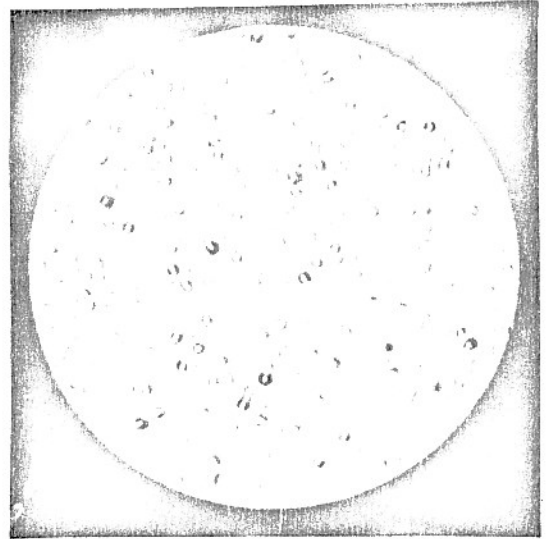
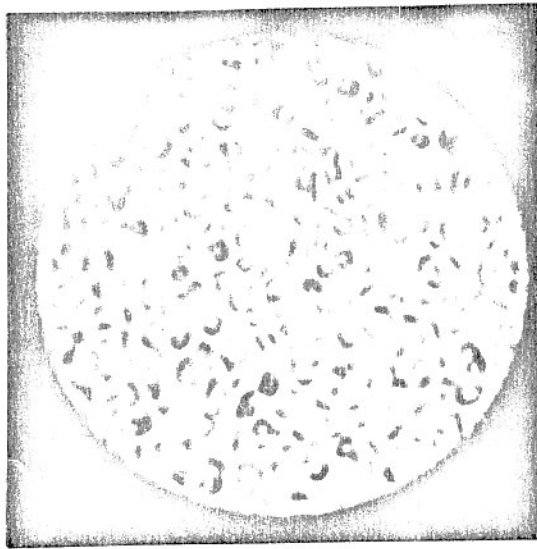


b



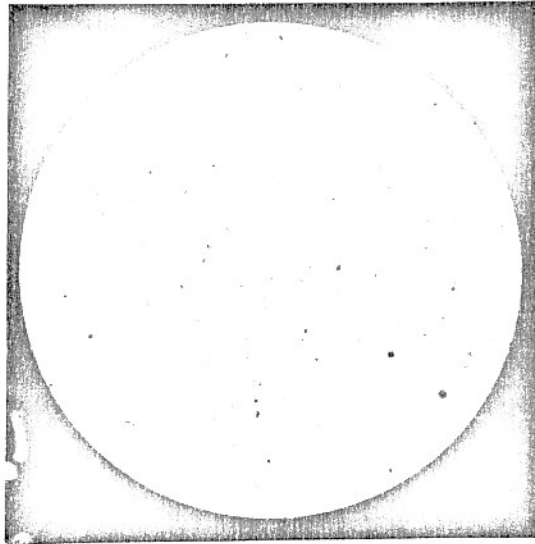
c

Bild 7  
Prüfbilder



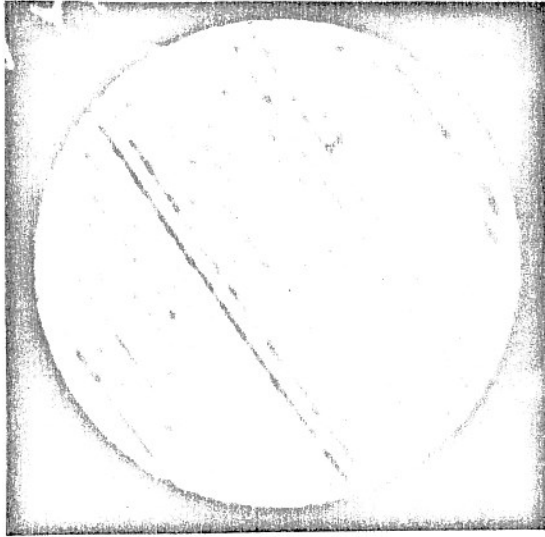
a

b

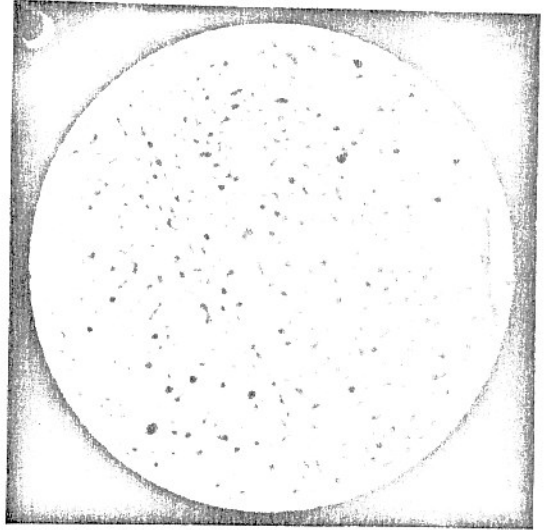


c

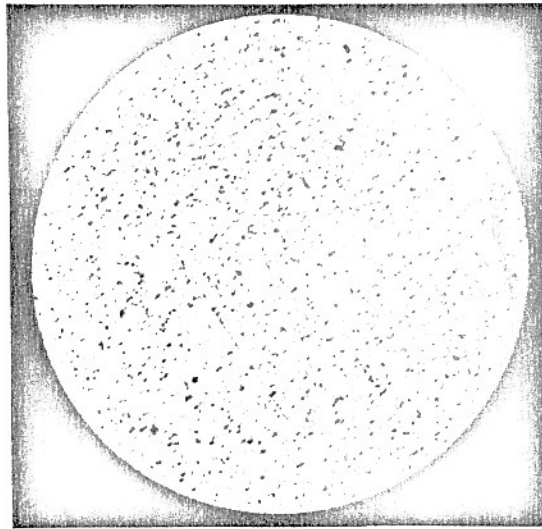
Bild 8  
Prüfbilder



a

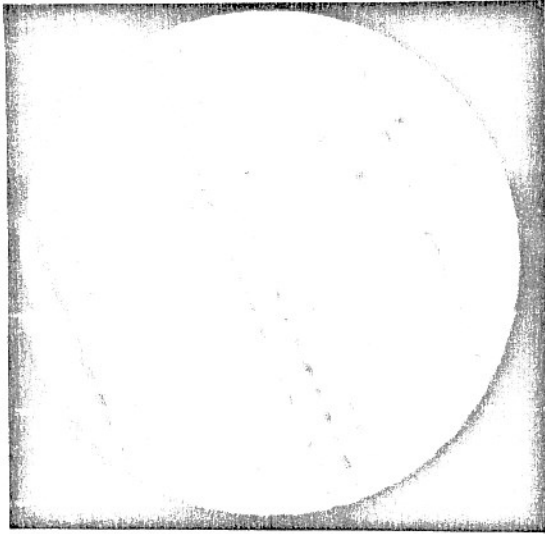


b

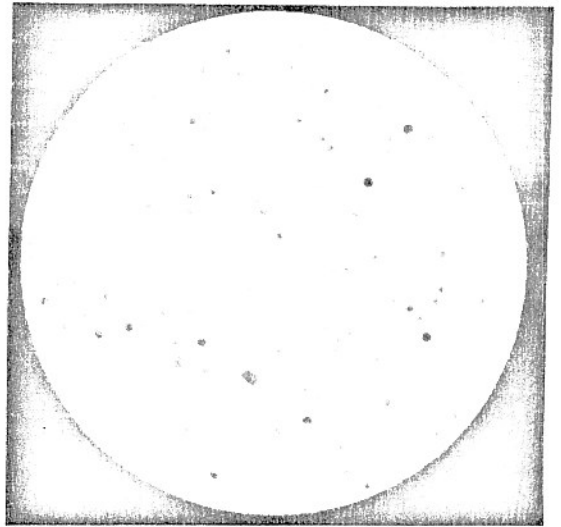


c

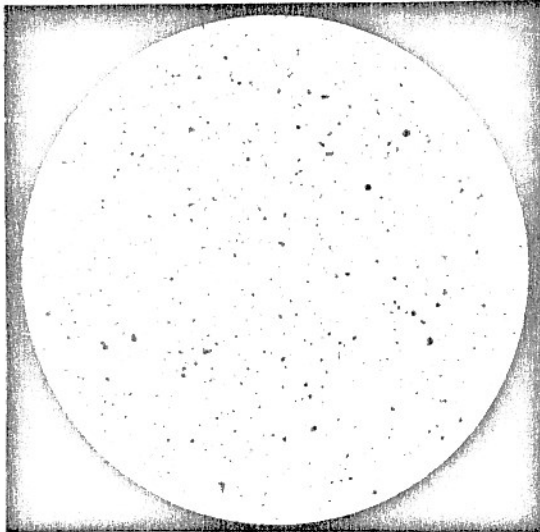
Bild 9  
Prüfbilder



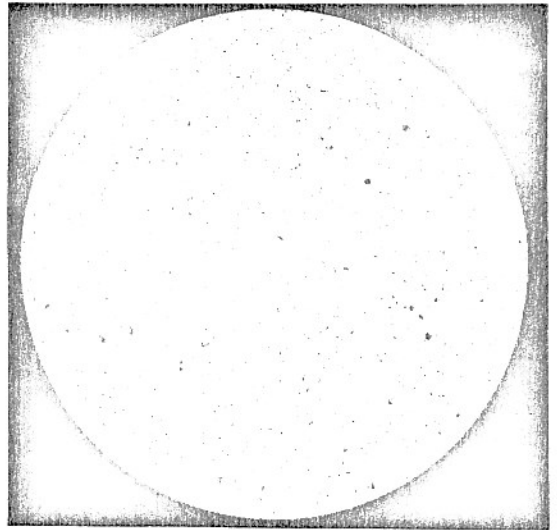
a



b

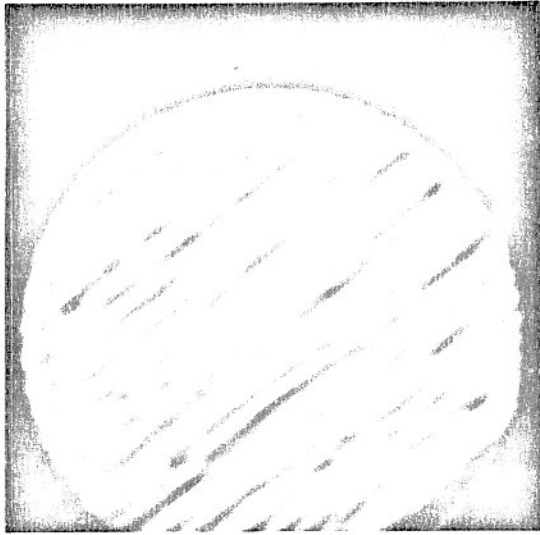


c

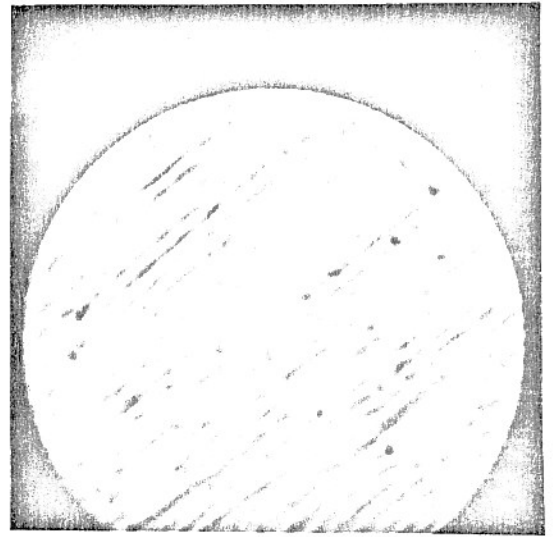


d

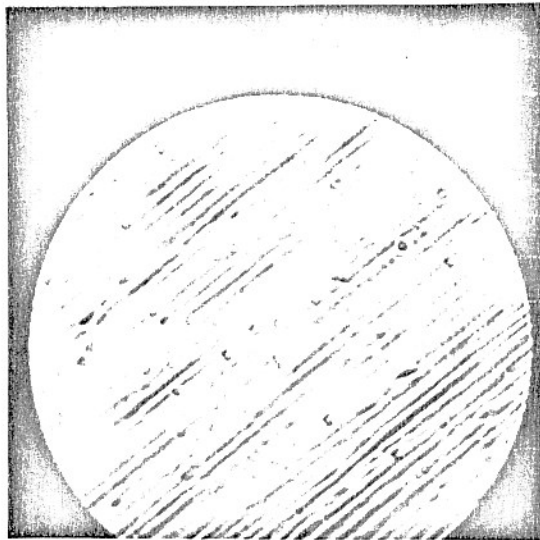
Bild 10  
Prüfbilder  
(Bild 10 & bei 16 mm Blendenöffnung)



a

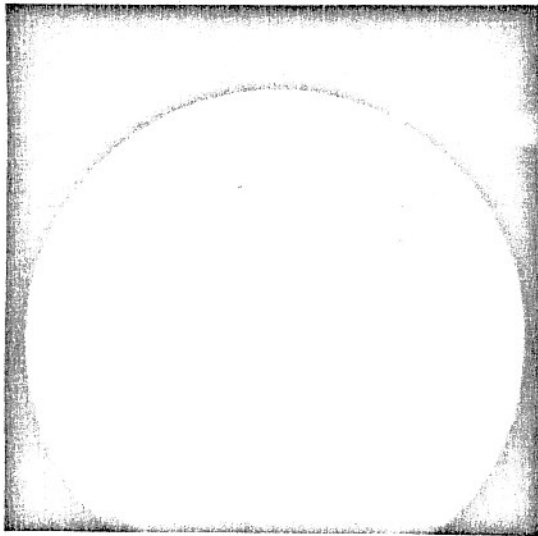


b

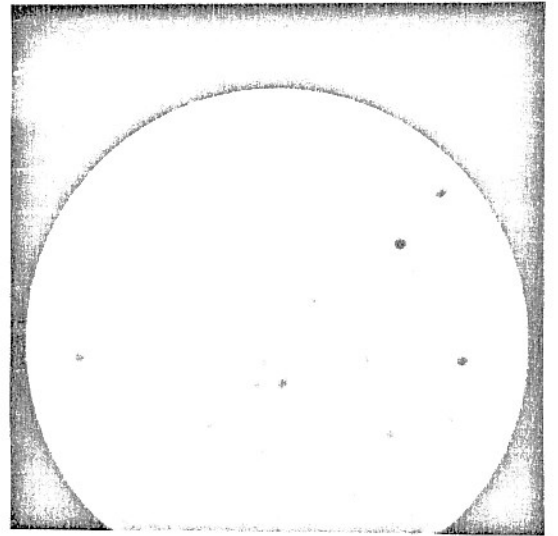


c

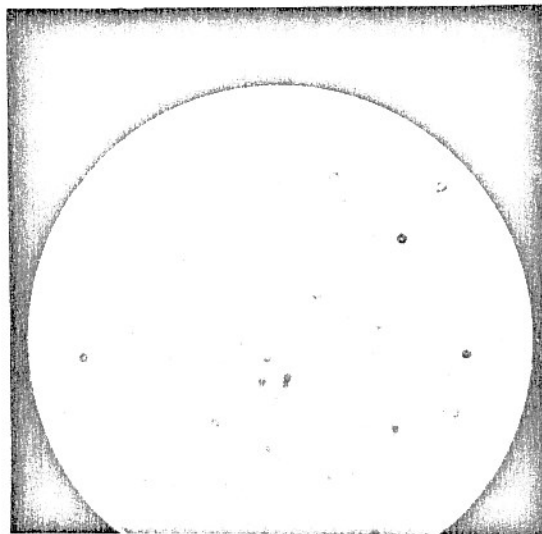
Bild 11  
Prüfbilder



a



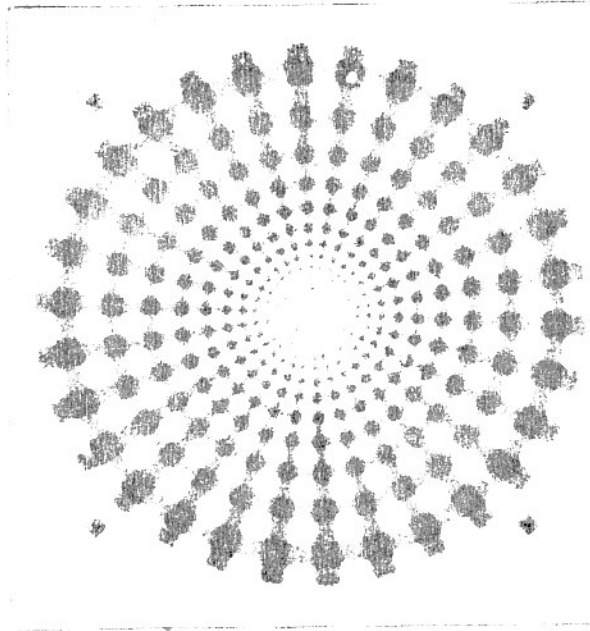
b



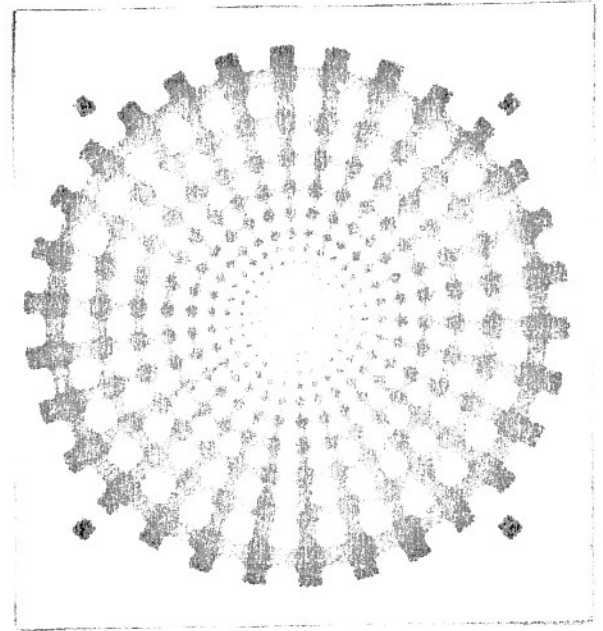
c

Bild 12  
Prüfbilder

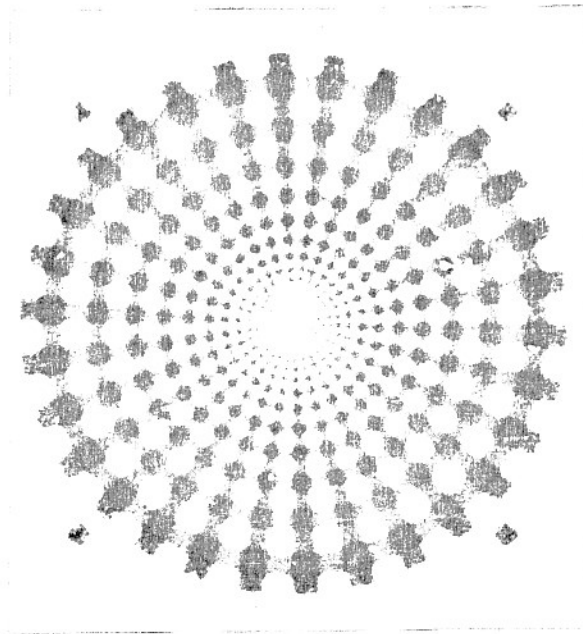




a



b



c

Bild 13  
Beispiel einer Testaufnahme  
(Material ORWO NP 10, Nachvergrößerung 50x)