



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Optische Theorie der Zeitdehner
Author(s)	Takaichi, Shingo
Citation	Memoirs of the Faculty of Engineering, Hokkaido Imperial University, 6(4), 149-315
Issue Date	1941-08-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/37735
Type	departmental bulletin paper
File Information	6(4)_149-316.pdf



Optische Theorie der Zeitdehner.

Von

Takaichi SHINGO.

(Eingegangen am 30. Sept. 1940)

VORWORT.

Die Veranlassung zur Niederschrift dieser Arbeit entsprang aus einem theoretischen und wirtschaftlichen Bedürfnis; die nach den bestehenden Verfahren zweckmässig entworfenen Apparate bringen sowohl übermässige Bildfehler mit sich, als sie auch überflüssige Ausgabe zur Herstellung verlangen. Ursprünglich zielte sie darauf hin, die momentanen Zustände des Bruchvorganges der Werkstoffe sowie die der Schwingung des Inneren und der Oberfläche eines Werkstoffes, woraus Teile von technischen Bauten gestaltet sind, anschaulich photographisch aufzunehmen. Obgleich dieselben Gedanken den Beobachtern von physikalischen Erscheinungen gelegentlich kommen könnten, befindet sich bisher keine einzige autoritative fehlerfreie Behandlung desselben Themas in meiner Kenntnis. Daher glaubte ich, dass die von mir abgeleiteten Folgerungen auch für andere nützlich sein könnten. Die Untersuchung erstreckte sich über einige Jahre, besonders die letzten zwei Jahren waren damit ausgefüllt; die Niederschrift wurde daher bei meiner Studienreise durch Deutschland, Frankreich, England, Italien und auch die Vereinigten Staaten von Amerika stets mitgeführt. Es schien mir zweckmässiger diese Untersuchungen zusammengefasst erscheinen zu lassen anstatt sie getrennt zu veröffentlichen. Aus diesem Grund ist der Inhalt dieser Arbeit in sechs Kapitel eingeteilt, die untereinander als ohne Zusammenhang aufgefasst werden können.

Vor dem bis ins einzelne Eingehen in die optische Theorie des einzelnen Zeitdehners wird eine Übersicht der bisherigen Apparate mit kurzgefasster Beurteilung in Kapitel 1 gegeben. In Kapitel 2 wird der einfachste Zeitdehner nach den neuesten Ideen ausführlich besprochen; hierauf sind die wichtigsten Theorien über Maximalwirksamkeit der Belichtungslichtmenge und Schlitzverschlüsse in Ziff. 16 bis 19 anschaulich vorgetragen, deren Prinzipien auch für die Zwecke der anderen Verfahren für Zeitdehner ebenso gültig gelten. In Kapitel 3 ist der optische Ausgleich mit einem Spiegelkranz besonders mit Rücksicht auf die Beseitigung der Bildfehler behandelt, dessen Anordnungen und Theorien bis heute auch niemals theoretisch untersucht sind. Es soll hierdurch nachdrücklich betont werden, dass die nach den von mir vorgetragenen Verfahren verfertigten Apparate viel wirksamer als die bisherigen sind, deren Fähigkeit allgemein anerkannt ist. Ferner sind es dieselben Gedanken, die diesem Kapitel zugrund

liegen, die die übrigen beherrschen. In Kapitel 4 ist der optische Ausgleich mit einem Spiegelkranz rechnerisch behandelt, so dass man die hervorgebrachten Bildfehler veranschlagen kann; im allgemeinen pflegt man die Fähigkeiten des Apparates zu überschätzen. In Kapitel 5 wird der optische Ausgleich mit einem Paar Zwillingspiegelkränzen auf Grund eingehender Erörterungen und zahlreicher Beispiele neuerdings entwickelt, dessen Wirkungsweise ganz ausgezeichnet ist. Er kann nicht bloss in grossen Apparaten hoher Bildfrequenz, deren Ausnutzung nur auf das Laboratorium beschränkt ist, sondern auch in kleinen tragbaren Apparaten niedriger Bildfrequenz Anwendung finden; dabei sind die Bildfehler einwandfrei beseitigt. Ich halte es vielleicht für das beste unter allen bestehenden Systemen von Zeitdehnern. In Kapitel 6 ist das System mit „Umlaufendem Spiegel“ unter Verwendung von umlaufenden Hilfsspiegeln vorge tragen, jedoch zuerst unter theoretischer Beurteilung des bisherigen einfachen ohne umlaufende Hilfspiegel; bei dem ersteren sind die Bildfehler ganz erheblich herabgesenkt und damit wird die Belichtungsdauer zweckmässig verlängert, wobei die Bildfrequenz äusserst erhöht ist. Die bis ins einzelne eingehenden Beurteilungen und Diskussionen möchte ich den am Ende dieser Arbeit hinzugefügten Schlussfolgerungen überlassen.

Zum Schluss hege ich die Hoffnung, dass die von mir hierdurch vorge tragenen Ideen für den Beobachter der ins einzelne zergliederten momentanen Erscheinungszustände im Gebiete der Physik und Technik wertvoll sind.

Bei der Fertigstellung dieser Arbeit bin ich zu allererst Herren Prof. Emer. Dr.-Ing. H. Nakayama, Tokyo, und Prof. Dr.-Ing. F. Takabeya, Sapporo, die keine Mühe gescheut haben mir alle mögliche Unterstützungen für Zustandbringen dieser Arbeit zu geben, meinen verbindlichsten Dank auszusprechen verpflichtet. Danken möchte ich auch Herren Prof. Dr.-Ing. N. Yamaga, Tokyo, und Prof. Dr.-Ing. S. Iguchi, Sapporo, für wertvolle Ratschläge beim Aufsuchen der Literatur, und Herrn Prof. M. Kujime, Sapporo, der mir einen kleinen Zeitdehner in seinem Laboratorium hatte fertigstellen lassen, sowie Herren Prof. Dr.-Ing. I. Kusama, Tokyo, Prof. Dr.-Ing. Y. Tanaka, Tokyo, Prof. Dr.-Ing. N. Yamaguchi, Tokyo, und nicht zuletzt Herrn Prof. Dr. Y. Ikeda, Sapporo, für die Ermunterung zur Vervollkommung dieser Arbeit. Des emsigen Herrn S. Ono, der die Figuren gezeichnet hat, sei ferner hiermit gadacht.

Sapporo, den 1. Jan. 1940

(den 1. Jan. 2600)

T. Shingo

INHALTSVERZEICHNIS.

Kapitel 1.

ÜBERSICHT ÜBER ZEITDEHNER.

	Seite
1. Allgemeines über die Zeitdehner	161
2. Über den Entwurf des Zeitdehners	162
3. Zeitdehner mit Greifer und Bildschalter	164
4. Zeitdehner mit Scheibenbildschalter und Zahntrommeln	164
5. Funkenkinematographie mit einem Bildfenster	167
6. Funkenkinematographie mit mehreren Bildfenstern	169
7. Funkenkinematographie mit einem umlaufenden Spiegel	169
8. Optischer Ausgleich mit einem Spiegelkranz	170
9. Optischer Ausgleich mit einem Paar Zwillingsspiegelkränzen	174
10. Optischer Ausgleich mit einer Glastrommel	175
11. Optischer Ausgleich mit einem Hilfslinsenkranz	177
12. Optischer Ausgleich mit Funkenbelichtung	178
13. Übersicht über Zeitdehner	178

Kapitel 2.

ZEITDEHNER MIT SCHEIBENBILDSCHALTER UND
ZAHNTROMMELN.

14. Vorbemerkung	181
15. Über die Belichtungslauer und Bildfrequenz	183
16. Schlitzverschluss 1	185
17. Schlitzverschluss 2	190
18. Die gesammte Belichtungsmenge eines ganzen Bildchens	192
19. Maximal-Wirksamkeit der Belichtung eines einzelnen Bildpunktes	194
20. Zusammenfassung der Elemente	197

Kapitel 3.

OPTISCHER AUSGLEICH MIT EINEM SPIEGELKRANZ.

21. Vorbemerkung	204
22. Die optische Theorie	205
23. Die Bildfehler des Zeitdehners bei $\theta + \gamma = \frac{\pi}{2}$	212
24. Bei $\theta + \gamma = \frac{\pi}{2}$ mit Verschluss 1	214
25. Bei $\theta = \frac{\pi}{2}$, $\gamma = 0$ mit Verschluss 4	225
26. Bei $\theta + \gamma = \frac{\pi}{2}$ mit Verschluss 3	228
27. Bei $\theta = \gamma = \frac{\pi}{4}$ mit Verschluss 3	232
28. Das Bildfenster und das Dingfenster	234
29. Belichtungsdauer und Belichtungsmenge	235
30. Das gleichwertige Lichtfenster als Belichtungsdauer-regler	246
31. Antriebsmaschinen	247
32. Zusammenfassung der Elemente	248

Kapitel 4.

OPTISCHER AUSGLEICH MIT EINEM ZYLINDERFÖRMIGEN
SPIEGELKRANZ.

	Seite
33. Vorbemerkung	265
34. Die optischen Bildfehler	265
35. Zusammenfassung	267

Kapitel 5.

OPTISCHER AUSGLEICH MIT EINEM PAAR ZWILLINGS-
SPIEGELKRÄNZEN.

36. Vorbemerkung	268
37. Die optische Theorie	268
38. Verschluss 4	274
39. Die Elemente	276
40. Zusammenfassung	282

Kapitel 6.

UMLAUFENDER HAUPTSPIEGEL MIT UMLAUFENDEN
HILFSSPIEGELN.

41. Vorbemerkung	298
42. Der bestehende Apparat	298
43. Umlaufender Hauptspiegel mit umlaufenden Hilfsspiegeln	300
44. Die Elemente des Entwurfs	307
45. Zusammenfassung	307

ZUSAMMENFASSUNG.

Zusammenfassung	312
Literatur-verzeichnis	314

VERZEICHNIS DER IN DEN GLEICHUNGEN BENUTZTEN BUCHSTABEN.

- A** Der Flächeninhalt der wirksamen Öffnung des dicht hinter dem eingerichteten Lichtfenters LL' , d.h. $L_1L_2L_3L_4$.
- α** Der auf die k,i -Ebene projizierte Abstand von $\overline{OP}$, der vom Koordinatenanfangspunkt O ausgehend die zur optischen Achse des Objektives im Bildraum parallel laufenden Lichtstrahlen $\overline{PF}$ trifft; oder die Koordinate des vom Objektiv direkt gebildeten imaginären Bildpunktes F in Richtung von α ; oder die Abweichung des die Glastrommel durchlaufenden Lichtstrahles.
- α_0** Der Mittelwert von α ; die Länge des vom Koordinatenanfang O ausgehenden auf dem Achsenstrahl $\overline{Z_0F_0}$ senkrecht stehenden $\overline{OP_0}$, oder die Koordinate des vom Objektiv direkt gebildeten imaginären Mittelbildpunktes F_0 in Richtung von α .
- α_{02}** Der vom Koordinatenanfang O gemessene Abstand des Achsenmittelpunktes E_{02} des zweiten Spiegelkranzes, d.h. $\overline{OE_{02}}$.
- α_1** Der auf die k,i -Ebene projizierte Abstand von $\overline{OP_1}$, der vom Koordinatenanfang O ausgehend auf den zur optischen Achse des Objektives im Bildraum parallel laufenden Lichtstrahl $\overline{P_1F_1}$ trifft.
- α'** Die vom Mittelbildpunkte F_0 in Richtung von i' gemessene Koordinate eines gewissen Bildpunktes F auf der vom Objektiv direkt gebildeten imaginären Bildebene F_0F .
- α, β, γ** Die dem rechtwinkligen Koordinatensystem entsprechend, das als Rechtssystem in der Seiten- der Längen- und der Normalenrichtung des Filmes angenommen ist, festgesetzten dreieinigen Einheitsvektoren.
- α** Ein Parameter, der Werte zwischen 0 und 0,5 annimmt; oder die Hälfte des Zentriwinkels, der im Mittelpunkt Z des durch einen gewissen Lichtkegel auf der Lichtfensterebene entstehenden Durchschnittskreises $L_1L_2L_3L_4$ von den Kreisbogen L_2L_3 bzw. L_4L_1 gebildet wird.
- α_0** Ein Parameter, der die Ungleichung $\frac{1}{2} < \alpha_0 < 2$ befriedigt.
- α_1** Die Konstante, $2\varphi m / 2\pi = mW_0 \sin \chi / 2\pi f' = nW_0 / V_0$.
- B** Der Halbmesser des Durchschnittskreises $ZL_1L_2L_3L_4$, der von einem gewissen Lichtkegel und der Lichtfensterebene gebildet ist.
- B_0** Der Halbmesser des Durchschnittskreises, der von der letzten Linsenfläche des Objektives und dem das Objektiv durchlaufenden Lichtstrahlenbündel gebildet ist, $\overline{Z_0H_1} = \overline{Z_0H_4}$.
- B_{01}, B_{02}** B_0 bei Fall 1 bzw. 2.
- B_i, B'_i** Die Hälfte der auf die Ebene des Durchschnittskreises $H_1Z_0H_4$, der von der letzten Linsenfläche des Objektives und dem das Objektiv durchlaufenden Strahlenbündel gebildet ist, von den durch die imaginären Bildpunkte F_0 bzw. F gehenden Lichtstrahlen projizierten Spiegelbreite des Spiegelkranzes.

- b Die Hälfte der Bildhöhe.
- b_0 Der Abstand der k -Achse von der optischen Achse $\overline{Z'_0 L_0 F_0}$ des Objektivs.
- b' Die vom imaginären Mittelbildpunkt F_0 in Richtung der j -Achse gemessene Koordinate eines gewissen Bildpunktes F , oder die auf die j -Achse projizierte Länge der Senkrechten $\overline{OP}$, die vom Koordinatenanfang O ausgehend einen gewissen achsenparallelen Lichtstrahl $\overline{PF}$ trifft.
- b'' Die Hälfte der auf der empfindlichen Schicht gemessenen Schlitzweite des wirklichen oder projizierten Bildfensters.
- b''' Die Hälfte der wirklichen Dinghöhe in der Dingebene, die der Bildhöhe in der Bildebene entspricht, d.h. $2bx/f$.
- β Der zwischen der Geraden $\overline{RF'_0}$ und der Ebene $OZ_0 F_0 R$ gebildete Winkel.
- c Der Abstand zwischen dem Treffpunkt der vom Koordinatenanfang O auf die optische Achse $\overline{Z'_0 F_0}$ gebildeten Senkrechte und der vom Objektiv direkt gebildeten imaginären Bildebene $F_0 F$; oder die in Bezug auf den Koordinatenanfang O in Richtung von k oder a gemessene Koordinate.
- χ Der zwischen der optischen Achse $\overline{Z'_0 F_0}$ des Objektivs und der k -Achse oder zwischen der k -Achse und der k' -Achse gebildete Winkel.
- d Die Hälfte der Dicke des Spiegelkranzes.
- d_{11}, d_{12} Die Dicke des ersten Teiles bzw. die des zweiten des ersten Spiegelkranzes $KCDJ$, d.h. $\overline{JE_0}$ bzw. $\overline{E_0 K}$ $d_{11} + d_{12}$ bedeutet die ganze Dicke des ersten Spiegelkranzes, d.h. $\overline{KJ}$.
- d_{21}, d_{22} Die Dicke des ersten Teiles bzw. die des zweiten des zweiten Spiegelkranzes $K_2 C_2 D_2 J_2$, d.h. $\overline{K_2 E_{02}}$ bzw. $\overline{E_{02} J_2}$ $d_{21} + d_{22}$ bedeutet die ganze Dicke des zweiten Spiegelkranzes, d.h. $\overline{K_2 J_2}$.
- d_e Die Hälfte der im allgemeinen wirklich erforderlichen Dicke des Spiegelkranzes, d.h. $\frac{1}{2}(x_1 + x_2) \cos \gamma$.
- d_i Die Hälfte der Dicke des Spiegelkranzes, dessen Spiegelbreite $\overline{S_{1i} S_0 S_{4i}}$ ganz beliebig angenommen ist, d.h. $\frac{1}{2}(\xi_1 + \xi_3) \cos \gamma$.
- d_s Der notwendige Abstand des weitesten Spiegelrandes vom Schnittpunkt, der durch die optische Achse des Objektivs und die betrachtete Spiegelebene in der Mittellage gebildet ist.
- d' $d''(1 - a \cos^2 2\gamma) / \sin 2\gamma$.
- d'_2 Die Hälfte der der Spiegelbreite $\overline{S_{10} S_0 S_{40}}$ entsprechenden Dicke des Spiegelkranzes.
- d'' $(x_1 \cos \gamma)_{\gamma=0} / (1 + \cos 2\gamma) = \{2Aa + (B_0 - Aa)mb / \pi f_0\} / (1 + \cos 2\gamma)$.
- ϑ Die Konstante, $1 - t/T$.
- ϑ_1, ϑ_2 ϑ bei Fall 1 bzw. 2.
- $\frac{\partial}{\partial t}$ Der Differentialquotient nach der Zeit t .

- $\frac{\partial \phi}{\partial t}$ $2\pi\tilde{\omega} = 2\pi n/m$.
- Δa Die Hälfte der Bildbreite, oder $a - a_0$.
- $\Delta(F' \cdot a)$, $\Delta(F' \cdot b)$, $\Delta(F' \cdot c)$ Die Maximal-Seiten-Bildverzerrung, die Maximal-Bildhöhen-Verzerrung bzw. die Maximal-Bildfeld-Wölbung, d.h. die Maximal-Bildverzerrungen in Richtungen von a, b, c , nach einmaliger Reflexion.
- $\Delta(F'' \cdot a)$, $\Delta(F'' \cdot b)$, $\Delta(F'' \cdot c)$ Die Maximal-Seiten-Bildverzerrung, die Maximal-Bildhöhen-Verzerrung bzw. die Maximal-Bildfeld-Wölbung, d.h. die Maximal-Bildverzerrungen in Richtungen von a, b, c , nach zweimaliger Reflexion.
- $\Delta \phi$ Die im Zeitintervall t ausgeführte Drehung des Spiegelkranzes, d.h. $2\pi n t/m$.
- δ Der von der optische Achse des Objektives gemessene Abweichungswinkel des extremen Lichtstrahles, oder die Variation einer gewissen Grösse.
- δ_{11} , δ_{12} Der Spielraum für d_{11} bzw. der für d_{12} .
- e Die notwendige Minimal-Lichtweite zwischen den theoretischen Achsen-Mittelpunkten der zwei Spiegelkränze, d.h. $\overline{E_{02}E_0} = 2\alpha_0 \zeta$.
- $\mathbf{e}$ Der Vektor des Punktes E , d.h. $\overline{OE}$.
- ε Der Längen-Bildfehler, oder der zulässige Bildfehler.
- η $\overline{Z_1E} = z_1 B / f'$.
- F Der Vektor des vom Objektiv direkt gebildeten imaginären Bildpunktes F , d.h. $\overline{OF}$.
- F' Der Vektor des nach einmaliger Reflexion gebildeten wirklichen Bildpunktes F' , der dem imaginären Bildpunkt F entspricht, d.h. $\overline{OF'}$.
- F'' Der Vektor des nach zweimaliger Reflexion gebildeten wirklichen Bildpunktes F'' , der dem imaginären Bildpunkt F entspricht.
- $[F' \cdot a]$, $[F' \cdot b]$, $[F' \cdot c]$ Die Maximal-Undeutlichkeiten des Bildpunktes F' in Richtung von a, b, c nach einmaliger Reflexion.
- $[F'' \cdot a]$, $[F'' \cdot b]$, $[F'' \cdot c]$ Die Maximal-Undeutlichkeiten des Bildpunktes F'' in Richtung von a, b, c nach zweimaliger Reflexion.
- $(F' \cdot a)$, $(F' \cdot b)$, $(F' \cdot c)$ Die Komponenten des vektoriellen Bildfehlers des Bildpunktes F' in Richtung von a, b, c .
- $(F'' \cdot a)$, $(F'' \cdot b)$, $(F'' \cdot c)$ Die Komponenten des vektoriellen Bildfehlers des Bildpunktes F'' in Richtungen von a, b, c .
- $\mathfrak{F}$ Der Abstand irgendeines Bildpunktes F in Bildhöhenrichtung vom Mittelpunkt der Einstellebene nach Ausführung einer Drehspiegelung des Spiegelkranzes.
- f_0 Der Abstand zwischen der Durchschnittsebene, die von der letzten Linsenfläche des Objektives und dem es durchlaufenden Lichtstrahlenbündel gebildet ist, und der vom Objektiv direkt gebildeten imaginären Bildebene, d.h. $\overline{Z_0F_0}$.
- f' Der Abstand zwischen der Lichtfensterebene und der vom Objektiv direkt gebildeten imaginären Bildebene, d.h. der Abstand zwischen $\overline{LZL'}$ und $\overline{F_0F}$ oder der zwischen $\overline{B_1B_2}$ und $\overline{F_1F_2}$, d.h. $\overline{ZF_0}$.

- G L/t .
- G' L'/t' .
- g Der Abstand $\overline{OO_2}$.
- γ Der zwischen der optischen Achse des Objektivs und der Normalen der betrachtenden Spiegelebene gebildete Winkel, d.h. $\widehat{Z'_0 S_0 N_0} = \widehat{S_0 S_{11} S_{11}} = \widehat{S_0 S_{4i} S_{44}} = \widehat{S'_1 S_0 S'_1}$ oder $\widehat{NSS_2} = \widehat{EOD} = \widehat{F_0 UD}$.
- γ_i γ bei der Dicke d_i des Spiegelkranzes.
- h Der Abstand zwischen der betrachteten Bildebene und dem Mittelpunkt der betrachteten Spiegelebene, d.h. $\overline{S_0 F'_0} = \overline{S_0 F_0}$, bei optischem Ausgleich mit einem Spiegelkranz; oder der Abstand zwischen der vom Objektiv direkt gebildeten imaginären Bildebene und der nach zweimaliger Reflexion gebildeten wirklichen Bildebene, d.h. $\overline{UF''_0}$, bei optischem Ausgleich mit Zwillingspiegelkranzen.
- h_1 $\overline{CF_1} = \overline{CF'_1}$.
- h_i h im Fall, dass die Dicke des Spiegelkranzes $2d_i$ beträgt.
- I** Dyade Eins.
- i Der Einfallswinkel eines gewissen Strahles, den er mit der Normalen der betrachtenden Seitenebene der Glastrommel bildet; oder die Bildzahl, die während einer Umdrehung der Filmtrommel aufgenommen werden kann, d.h. die auf dem Umfang der Filmtrommel aufnehmbare Bildzahl.
- i, j, k Einheitsvektoren eines rechtwinkligen Rechtssystems: sie sind im allgemeinen nach der Seiten-, Längen- bzw. Normalen-Richtung des Filmbandes gerichtet.
- i', j, k' Einheitsvektoren eines orthogonalen Rechtssystems: sie liegen in den Richtungen, $\overline{K'_0 F_0}$, $\overline{Oj}$, $\overline{K'O}$.
- k Die notwendige Minimal-lichtweite zwischen dem Ende des zweiten Spiegelkranzes und der empfindlichen Schicht, d.h. die zwischen D_2 und $\overline{F''F'_0 X}$; oder eine Konstante.
- κ T/t .
- L Die wirksame Maximal-Belichtungsmenge eines einzelnen Bildpunktes, d.h. $\mu A_T = 2\mu B^2 \left\{ \sin^{-1} x + x \sqrt{1-x^2} \right\} (t-2Bx/V_0)$, wo $x = w_0/2B$.
- L_0 Die gesammte Belichtungsmenge eines ganzen Bildchens, d.h. $\mu A_T \cdot 2Aa \cdot 2b$.
- L_1, L_2 L bei Fall 1 bzw. 2.
- L_2 Die Belichtungsmenge nach zweimaliger Reflexion, die L bei einmaliger Reflexion entspricht.
- L_i Die Belichtungsintensität der empfindlichen Schicht im Fall, dass die Dicke des Spiegelkranzes ganz beliebig angenommen ist, d.h. $2B_i L/2B_0$.
- L_{im}, L_{ir} L_i in der Bildmitte bzw. am Bildrand.
- L' Die wirksame Belichtungsmenge eines ganzen Bildchens im Fall, dass das Bildfenster selbst als Belichtungsdauer-regulator eingerichtet ist.
- l Die irgendein Medium durchlaufende Weglänge eines Lichtstrahles.

- λ Der von der Achse $\overline{Z_1N}$ gemessene Abweichungswinkel des Durchschnittpunktes E , der von der Verschlusschlitzebene $\overline{EOE}$, dem Lichtkegel $\overline{H_1FH_4}$ und der zur i', j -Ebene parallel gebildeten Ebene $\overline{EZ_1N}$ gebildet ist.
- λ_t λ im Punkt der Tangente, die durch den Koordinatenanfang O an die Durchschnitselfipse $\overline{EEE'}$ gelegt ist.
- m Die Zahl der um den Spiegelkranz aufgestellten Spiegel.
- m' $\bar{n}m$.
- μ Die Konstante der Belichtungsstärke.
- μ_1, μ_2 μ bei Fall 1 bzw. 2.
- $\bar{N}$ Das wirksame Belichtungsverhältnis.
- n Die Bildfrequenz je Sekunde; oder die Brechungszahl eines Mediums.
- n_1, n_2 n bei Fall 1 bzw. 2.
- $\bar{n}$ nT im allgemeinen; oder eine Konstante, T'/T .
- $\bar{\omega}$ Die Umdrehungszahl des Spiegelkranzes je Sekunde, d.h. n/m .
- $\mathbf{p}$ Der Vektor der vom Koordinatenanfang auf einen gewissen achsenparallelen Lichtstrahl gebildeten Senkrechten, d.h. $\overline{OP}$.
- Φ, Φ_2 „Persion“ von Reflexion an der betrachteten Spiegelebene des alleinigen oder ersten Spiegelkranzes bzw. die des zweiten.
- ϕ Der von der mittleren Lage gemessene Umdrehungswinkel der betrachteten Spiegelebene um die Umdrehungsachse des Spiegelkranzes während $\frac{1}{2}T$, d.h. $\pi nT/m = \pi \bar{n}/m$; oder der Umdrehungswinkel der Einheitsvektoren $\mathbf{s}$ bzw. $\mathbf{s}_2$ in Bezug auf die $\mathbf{c}, \mathbf{i}, \mathbf{k}$ -Ebene bei den Zwillingsspiegelkränzen; oder der Umdrehungswinkel von $\mathbf{s}$ um die optische Achse in Bezug auf die $\mathbf{k}, \mathbf{i}$ -Ebene beim Verfahren des Umlaufenden Spiegels.
- ϕ_2 Der Umdrehungswinkel von $\mathbf{s}_2$ um die Umdrehungsachse des betrachteten Hilfsspiegels in Bezug auf die $\mathbf{k}, \mathbf{i}$ -Ebene beim Verfahren des Umlaufenden Spiegels.
- φ Die Hälfte des Zentriwinkels, der von der Lichtweite des Verschlusschlitzes im Umdrehungszentrum O der Verschlusscheibe gebildet ist; oder der zwischen der i -Achse und $\overline{OS_0}$ gebildete Winkel bei Optischem Ausgleich mit einem zylinderförmigen Spiegelkranz, d.h. $\frac{\pi}{4} + \phi$; oder die Hälfte des von der Verschlusschlitzweite Q_1Q_4 im Umdrehungszentrum E_0 gebildeten Winkels bei Optischem Ausgleich mit den Zwillingsspiegelkränzen, d.h. $\frac{1}{2} W_0 r_0 / (r_0 + c) f'$.
- Ψ Die Hälfte des Winkels, den das dingseitige aufnehmbare Gesichtsfeld im Zentrum des Objektives bildet.
- ψ Die Abweichung der Mittellinie des Verschlusschlitzes von Verschluss 2 in Bezug auf die $\mathbf{i}, \mathbf{k}$ -Ebene oder die i -Achse.
- R Der Vektor des Punktes R , der in der von den Lichtstrahlen, die

- den vom Objektiv direkt gebildeten imaginären Bildpunkt F durchlaufen, projizierten Verschlussschlitz-kante steht, d.h. $\overline{OR}$.
- r Ein auf der Verschlussschlitz-kante liegender Punkt oder der Abstand $\overline{Or}$.
- r Der Vektor des Punktes r in Bezug auf den Koordinatenanfang O ; oder der Vektor des Verschlussschlitz-kantenpunktes Q_1 oder Q_4 von Verschluss 4 in Bezug auf den Achsen-mittelpunkt E_0 des zweiten Spiegelkranzes.
- r_0 Der Mittelwert von r , d.h. $a_0 \sec \chi$, nämlich der Abstand des Mittelpunktes Q des betrachteten Verschlussschlitzes von dem Umdrehungszentrum K oder O_1 .
- r_{01}, r_{02} r_0 bei Fall 1 bzw. 2.
- r_1 $\overline{KC}$.
- r_1, r_2 Die in der Mitte der beiden Kanten des Verschlussschlitzes liegenden Punkte.
- r'_0 Der von der Umdrehungschse gemessene Abstand des Mittelpunktes des betrachteten Spiegels des Spiegelkranzes, d.h. $\overline{S_0 E_0}$.
- r'_{01}, r'_{02} r'_0 vom ersten Spiegelkranzes bzw. r'_0 vom zweiten.
- ρ Der Halbmesser der Filmtrommel.
- s Der Einheitsnormalvektor der betrachteten Spiegelebene des alleinigen oder ersten Spiegelkranzes, d.h. der längs $\overline{S_0 N_0}$; oder der Einheitsnormalvektor der umlaufenden Hauptspiegelebene, d.h. der längs $\overline{ON_0}$; oder die in Richtung vom Durchmesser gemessene wirkliche Stärke der Glastrommel.
- s_2 Der Einheitsnormalvektor der betrachteten Spiegelbene des zweiten Spiegelkranzes oder der betrachteten umlaufenden Hilfsspiegelebene, d.h. der längs $\overline{S_{20} N_0}$ oder $\overline{O_2 N_2}$.
- T Die Belichtungsdauer eines ganzen Bildchens in Sekunden, d.h. $t + 2b(f' - r \sin \chi) / V_0 r \sin \chi$, oder $(w + W) / V$, oder ϵ_v / v .
- $T - t$ $2b(f' - r \sin \chi) / V_0 r \sin \chi$.
- T_1, T_2 T bei Fall 1 bzw. 2.
- T' Die Belichtungsdauer eines ganzen Bildchens, die der veränderten Öffnungssumme $W'_0 + w'_0$ entspricht, d.h. πT ; oder die Belichtungsdauer eines ganzen Bildchens im Fall, dass das Bildfenster selbst als Belichtungsdauer-regulator angenommen ist.
- t Die Belichtungsdauer eines einzelnen Bildpunktes in Sekunden, d.h. $T - 2b(f' - r \sin \chi) / V_0 r \sin \chi$, oder $(W_0 + w_0) / V_0 = \tau + w_0 / V_0$, oder W / V , oder $\epsilon_v / v - 2\varphi m / 2\pi n$.
- t' Die Belichtungsdauer eines einzelnen Bildpunktes im Fall, dass das Bildfenster selbst als Belichtungsdauer-regulator angenommen ist.
- τ W_0 / V_0 .
- θ Der zwischen der Spiegelebene und der Ebene, die zur Umdrehungsachse des Spiegelkranzes senkrecht steht, gebildete Winkel, d.h. $\widehat{OCK} = \widehat{ODJ} = \widehat{OS_0 Z'_0} = \widehat{OS_0 Z_0} = \widehat{OS_0 P_0} = \widehat{N_0 S_0 Z'_0} = \widehat{N_0 S_0 F'_0} = \widehat{N_2 S_2 P_2} =$

$\widehat{N_2 S_2 F'_0}$, oder $\widehat{JDO} = \widehat{DU_3 F'_0}$; oder der zwischen der optischen Achse und der zur umlaufenden Hauptspiegelebene gezogenen Normalen gebildete Winkel, d.h. $\widehat{Z'_0 O N_0}$.

θ_2 Der zwischen der Spiegelebene und der Umdrehungsachse des zweiten Spiegelkranzes gebildete Winkel, d.h. $\widehat{OO_2 D_2}$; oder der zwischen der umlaufenden Hilfsspiegelebene und der Umdrehungsachse des umlaufenden Hilfsspiegels gebildete Winkel, d.h. $\widehat{Z_2 O_2 D_2}$.

X Die Koordinate des Achsenmittelpunktes R der Filmtrommel in Richtung der i -Achse.

x $w_0/2B$, oder der Abstand $\overline{OK_3}$, d.h. $a_0 - e/2$.

x_1, x_2 $\overline{S'_1 S_0}$ bzw. $\overline{S_0 S'_4}$ bei dem alleinigen Spiegelkranz; oder $\overline{DS_0}$ bzw. $\overline{S_0 C_0}$ bei den Zwillingsspiegelkränzen.

x_{21}, x_{22} $\overline{C_2 S_{20}}$ bzw. $\overline{S_{20} D_2}$ bei den Zwillingsspiegelkränzen.

ξ_1, ξ_4 $\overline{S_{1i} S_0}$ bzw. $\overline{S_{4i} S_0}$.

y $\overline{K_3 G}$.

Z Die Koordinatenmasszahl des Achsenmittelpunktes R der Filmtrommel in Richtung der k -Achse.

z $(B_0 - \Delta a) \cot \theta / f_0$.

z_1 Der Abstand zwischen dem Punkt E , der auf der von dem Lichtkegel $H_1 F H_4$ und der Verschlussschlitz-ebene EOE gebildeten Durchschnitselfipse liegt, und der vom Objektiv direkt gebildeten imaginären Bildebene $F_0 F$.

ζ $2\Delta a + (B_0 - \Delta a) h / f_0$.

u, u_1 Der zulässige Spielraum für die einzelnen Teile, der so bestimmt ist, dass die extremen Lichtstrahlen unterwegs ungehindert durchlaufen können.

V Die aktuelle Ablaufgeschwindigkeit des Mittelpunktes des Verschlussschlitzes je Sekunde.

V_0 Die Ablaufgeschwindigkeit des Mittelpunktes des auf die Lichtfensterebene LL' projizierten Verschlussschlitzes je Sekunde.

V_{01}, V_{02} V_0 bei Fall 1 bzw. 2.

V'_0 Die Geschwindigkeit des auf die empfindliche Schicht projizierten Verschlussschlitzes, d.h. $V_0 r \sin \chi / (f' - r \sin \chi)$.

v Die Ablaufgeschwindigkeit des Filmes je Sekunde, d.h. $2nb$.

v' Die Geschwindigkeit des Bildpunktes $\mathfrak{F}$ in Bildhöhenrichtung, d.h. $\frac{\partial \mathfrak{F}}{\partial t}$.

W Die Lichtweite des Verschlussschlitzes.

W_0 Die auf die Lichtfensterebene LL' projizierte Lichtweite des Verschlussschlitzes.

W' Die Lichtweite des Verschlussschlitzes in Q , d.h. $2qr_0$.

$W'_0 + w'_0$ Die veränderte Öffnungssumme des Verschlusses und des Lichtfensters, die der anfänglichen Öffnungssumme entspricht.

w Die mittlere Spiegelhöhe des alleinigen oder ersten Spiggelkranzes $JKCD$, d.h. $2\pi r'_0/m$ oder $2\pi r_{01}/m$; oder die Lichtweite eines gewissen Fensters, durch die die empfindliche Schicht beim Abrollen des Verschlusschlitzes belichtet wird.

w_0 Die Lichtfensterschlitzweite, d.h. $2B \sin \alpha$.

w_2 Die mittlere Spiegelhöhe des zweiten Spiggelkranzes $J_2K_2C_2D_2$, d.h. $2\pi r_{02}/m$.

Kapitel 1.

ÜBERSICHT ÜBER ZEITDEHNER.

1. **Allgemeines über die Zeitdehner.**¹⁾ Es ist keine Schwierigkeit mehr heute einige Bilder einer Erscheinung mit einer Funkenfolge von 1/10 000 000 Sekunde aufzunehmen. Dieses Verfahren ist bis auf die Unzulänglichkeit, dass die Bildzahl gering ist, so gut entwickelt, dass es in dieser Arbeit nicht erläutert wird. Es wird also nur die optische Theorie der Zeitdehner, mit denen eine Momentaufnahme von über 100 Bildern mit Bildfrequenzen²⁾ von über 400 s^{-1} , besonders über 3000 s^{-1} ausgeführt wird und mit denen man Bilder erhält, die man direkt oder in der Projektion betrachten kann, nach den neueren Ideen mit eingehenden Rechnungen besprochen. Die Zeitdehner, die nach dem vom Verfasser hier vorgetragenen Verfahren entworfen werden dürften, können innerhalb der Leistungsfähigkeit des Mechanismus viel wirksamer als die bisherigen arbeiten.

Die bisher entwickelten Methoden der ununterbrochenen Momentaufnahme von über ca. 100 Bildern einer Erscheinung zur anschaulichen Nachforschung werden in die zwei grossen Systemen eingeteilt, welche aus vier Unterabteilungen

Tafel 1. Aufnahmesysteme der Zeitdehner.

System.	Beleuchtung		Empfindliche Schicht	
	Steuerung	Mechanismus	Stillstehend	in Bewegung
1	Elektrisch	Funken	(f) Funkenfolge mit mehreren Bildfenstern	(e) Funkenfolge mit einem Bildfenster
			(b) Funkenfolge mit einem umlaufenden Spiegel: i. Ohne Hilfsspiegel ii. Mit Hilfsspiegeln ²⁾	(a) ³⁾ Optischer Ausgleich: i. Mit einem Spiegelkranz ¹⁾ ii. Mit einem Paar Zwillings-spiegelkranzen ²⁾ iii. Mit einer Glaskrommel iv. Mit einem Hilfslinsen-kranz
2	Mechanisch	Schlitzverschluss	(d) Mit Bildschalter und Greifer	(c) ¹⁾ Mit Scheibbildschalter und Zahntrommeln

1) Vom Verfasser durch die theoretischen Rechnungen verbessert.

2) Vom Verfasser neuerding erfunden.

3) Es ist dem Verfasser zuerst eingefallen, dass durch die Mitwirkung der Funkenbelichtung die Wirksamkeit gesteigert wird.

1) Vgl. Literaturverzeichnis, das am Ende dieser Arbeit hinzugefügt ist.

2) Im Handbuchartikel (23) ist folgendermassen definiert: Für die Verlängerung des Zeitmassstabes ist es nötig, die Bildwechselzahl bei der Aufnahme zu erhöhen, es sind Zeitdehner mit mehr als 100 Bildern in der Sekunde. Apparate mit 100 bis 2000 Bildern nennt man wohl Mittelfrequenz-, mit über 2000 Hochfrequenzapparate.

bestehen. Sie sind in Tafel 1 systematisch veranschaulicht und in den nächstfolgenden Ziffern im Wesentlichen beurteilt.

Der Mechanismus der Zeitdehner besteht aus zwei Teilen: erstens, Beleuchtungsvorrichtungen und zweitens, Empfindliche Schicht. In allen Systemen muss die Beleuchtung elektrisch mit dem Funken oder mechanisch mit dem Schlitzverschluss gesteuert werden, wodurch die empfindliche Schicht in Intervallen belichtet wird.

Im allgemeinen können die Verschlüsse in die drei Formen unterteilt werden, die um eine feste Achse umlaufende Bildschalterscheibe¹⁾ mit mehreren Schlitzzen, die Funkenpause bei Funkenbeleuchtung²⁾ und zuletzt der hin- und herlaufende primitive Bildschalter.³⁾ Die ersteren beiden entsprechen dem Zeitdehner extrem hoher Bildfrequenz, also dem gegenwärtigen Zweck, und der letztere dem von niedrigerer Mittelbildfrequenz. Die ersteren beiden sollen später je nach dem Verfahren aufs eingehendste erörtert werden.

Als die empfindliche Schicht ist der Kinofilm gewöhnlich angenommen, der bei (a) (c) und (e) auf eine Trommel gewickelt ist und dadurch mit gleichmässiger Geschwindigkeit ablaufen gelassen werden kann, bei (b) immer still steht, und bei (d) nur während der Belichtung ruht aber vom Greifer im nächstfolgenden Augenblick, der zwischen den aufeinander folgenden Belichtungen steht, um die Bildhöhe weiter befördert wird. Bei (f) wird eine empfindliche Platte statt des Filmes gebraucht.

Die Marke¹ in Tafel 1 zeigt dass die betreffenden Elemente vom Verfasser zuerst exakt gerechnet worden sind: die Wirksamkeit des Apparates ist durch die nach diesen Resultaten festgestellten kleinen Umänderungen beträchtlich gesteigert worden. Die Marke² in Tafel 1 weist auf die vom Verfasser entwickelten und theoretisch gerechneten Vorrichtungen hin, mit denen die Leistungsfähigkeit sehr erhöht worden ist. Diese Verbesserungen können wirklich realisiert werden, um so mehr je zweckmässiger die Maschinenteile umgebaut werden: sie sind in den nachstehenden Kapitel 2, 3, 4, 5 und 6 aufs eingehendste behandelt.

Nun ist es das zweckmässigste den optischen Ausgleich mit Funkenbeleuchtung auszustatten.

Die Systeme c und d haben schon das Maximum ihrer Vervollkommnung erreicht und sind deswegen in den folgenden Ziffer nur kurz beurteilt worden.

2. Über den Entwurf des Zeitdehners. Beim Aufbauen eines Zeitdehners ist es wichtiger, vorher eine Reihe von exakten Rechnungen auszuführen, um die erwartete Wirksamkeit entwickeln zu können, als ohne Rechnung zu behaupten, dass ein Apparat z.B. höhere Bildfrequenz habe oder schnellere Aufnahmen gestatte.

Es ist selbstverständlich, dass ein neu gebauter Apparat vor einem bestehenden Vorzüge haben muss.

1) Vgl. (2), (15), (16), (23), (33), (34), (36), (37) und auch Kapitel 2, 3, 4 und 5.

2) Vgl. von (1) bis (4), von (7) bis (14), (20), (21), (23), von (30) bis (32), (36), (37) und auch Kapitel 6.

3) Vgl. (15) und (16).

Beim Entwurf eines neuen Apparates und auch beim Vergleich von Apparaten muss die Wichtigkeit eines Elementes einem anderem gegenüber zuerst festgesetzt werden. Ordnet man die Elemente nach der Wichtigkeit, so dürfte das folgendermassen aussehen.

1. Zweckmässigkeit des Apparates.
2. Qualität der aufgenommenen Bildern.
3. Unabhängigkeit der einzelnen Aufnahmezeit.
4. Bildgrösse und Bildfrequenz.
5. Lichtquelle der Beleuchtung.
6. Kosten des Apparates. u.s.ä.

Die Zweckmässigkeit des Apparates ist die wichtigste vor allen.

An die zweite Stelle kommt die Qualität der aufgenommenen Bildchen. Sehr leicht kann die Aufnahme mit der doppelten Bildfrequenz verwirklicht werden, aber dann auch mit über doppelten Bildfehlern. Die Zeit ist schon vorbei, in der man die Bildfrequenz für das wichtigste hielt. Heute ist es viel bedeutungsvoller als bisher eine Reihenfolge von aufeinander folgenden fehlerfreien und gut definierten Momentzuständen der Erscheinung aufzunehmen und sie durch die bei der Wiedergabe herbeigeführte Verlängerung des Zeitmassstabes zu analysieren. Z.B., eine Bildfrequenz $50\,000\text{ s}^{-1}$ mit Bildverzerrungen von $0,1\text{ mm}$ ist vortrefflicher als $100\,000\text{ s}^{-1}$ mit Bildverzerrungen von $0,2\text{ mm}$ und viel besser als $200\,000\text{ s}^{-1}$ mit $0,4\text{ mm}$. In der Gegenwart ist es viel wichtiger mechanische Untersuchungen mit den Bildern auszuführen als sie nur anzuschauen: jeder Dingpunkt muss als der entsprechende Bildpunkt auf der empfindlichen Schicht deutlich und unverzerrt wiedergegeben werden. Infolge von Unzulänglichkeiten dieser Art und besonders durch nicht genügende Beachtung der Optik sind die Elemente der bisher aufgebauten Apparate meistens gar nicht exakt, manchmal ganz falsch, veranschlagt. Natürlich ist der Apparat nur ein Mittel, den Momentzustand einer beständig in Bewegung befindlichen Erscheinung in der Stufenfolge von Reihenbildern im Stillstand wiederzugeben. Durch das Missverständnis, dass es allein genügt Reihenbilder aufzunehmen, kann manchmal ein ungünstiger Schluss, sogar im schlimmsten Falle ein ganz falscher, gezogen werden. Die Probleme, die hier später theoretisch behandelt werden sollen, sind gute Beispiele dafür. Aus diesem Grund muss der Entwerfer von Zeitdehnern besonders die Geometrische Optik aufs eingehendste kennen lernen.

Die Unabhängigkeit der einzelnen Aufnahmezeit, namentlich die gute Definiertheit des Aufnahmementes, ist auch sehr wichtig obwohl sie bisher sehr oft vernachlässigt worden ist. Die Anwendung des Zeitdehners ist sehr erfolgreich, soweit die zeitliche Isolierung jeder Aufnahme der in Frage stehenden Erscheinung erreicht werden kann und die Reihenfolge der als Bildchen anschaulich analysierten Momentzustände recht bequem untersucht werden kann. In diesem Sinne ist die Aufnahme bei der Bildfrequenz $100\,000\text{ s}^{-1}$ mit der Belichtungsdauer $300\,000^{-1}\text{ s}$ wertvoller als bei der Bildfrequenz $460\,000\text{ s}^{-1}$ mit der Belichtungsdauer $360\,000^{-1}\text{ s}$ ¹⁾, weil bei der letzteren nicht nur vier Bildchen

1) Vgl. (18) u. (20).

gleichzeitig belichtet werden, sondern auch die Bildgrösse bis auf ein viertel vermindert ist. Aus diesem Grund ist das n -Streifen-Aufnahme-Verfahren¹⁾ gar nicht bemerkenswert.

Beim Aufbau der Apparate mit verschiedenen Bildgrössen durch die Unterteilung der Grundbildgrösse nach demselben Verfahren befindet man sich ungefähr in denselben Schwierigkeiten. Im allgemeinen ist dabei die Bedingung erfüllt:

$$\text{Bildgrösse} \times \text{Bildfrequenz} = \text{konstant},$$

d.h.

$$4\Delta abn = k, \quad (1)$$

wo $2\Delta a$ = Bildbreite, $2b$ = Bildhöhe, n = Bildfrequenz und k = Konstante sind. Es wird hierdurch vom Verfasser insbesondere hervorgehoben dass dieses Verhältnis bei der Vergleichung von nach demselben System aufgebauten Apparaten auch bisher sehr oft missverstanden worden ist.²⁾

C. Cranz und H. Schardin erklärten auch in ihrer Schrift³⁾ wie folgt:

„Es ist falsch, die Bildfrequenz zu erhöhen, ohne auf Bildgrösse und Bildgüte Rücksicht zu nehmen.“

Derart ist die Bildgrösse auch sehr wichtig, gelegentlich wichtiger als die Bildwechselzahl.

Man muss auch nicht vergessen dass es beim Vergleichen der Apparate sehr wichtig ist, die Stärke der Lichtquellen zu berücksichtigen: leider ist das sehr oft vernachlässigt worden.⁴⁾

3. Zeitdehner mit Greifer und Bildschalter. Es ist nichts anders als ein besonders rationell eingerichteter gewöhnlicher Kinoapparat, der schon sehr hoch entwickelt ist und über den daher nichts mehr zu sagen übrigbleibt. Bei diesem System sind Bildwechselzahlen bis zu 240 s^{-1} ⁵⁾ heute erreichbar. Z.B., das Filmaufnahmegerät der Firma Askania, Berlin, das Aufnahmen bis zu 100 Bildern je Sekunde gestattet, oder die Débrische Kamera, mit der man bis zu 240 Bilder je Sekunde aufnehmen kann, die Bildgrösse ist bei beiden die Normalfilm-Bildgrösse, also $18 \text{ mm} \times 24 \text{ mm}$, und die Belichtungszeit eines Einzelbildes einstellbar.

Da der optische Ausgleich heute schon sehr entwickelt ist und deshalb sehr leicht zu behandeln und leicht selbst erbaut werden kann oder als fertiger Apparat auf dem Markt verkäuflich ist, so ist es nicht mehr nötig von diesem System eine Aufnahme mit über 240 Bildfrequenz je Sekunde zu verlangen.

4. Zeitdehner mit Scheibbildschalter und Zahntrommeln. Bei diesem wird der durch die Zahntrommel mit einer bestimmten Geschwindigkeit beförderte Film durch das Bildfenster und die Öffnung der rotierenden Verschlusscheibe, die dicht vor ihm angeordnet ist, periodisch momentan belichtet. Wegen der Einfachheit des Mechanismus und der Bauart hat dieses Verfahren bisher über-

1) Vgl. (5) u. (18).

2) Vgl. (5) (15) u. (18).

3) Vgl. (2).

4) Vgl. (16) u. (18).

5) Vgl. (2) (5) (6) (15) u. (16).

all bei der physikalischen Erforschungen einer Erscheinung Anwendung gefunden. Für die Entwicklung dieses Systems hat z.B., R. Thun, sehr viel beigetragen¹⁾: bis 1926 wurden Bildfrequenzen bis 1000 s^{-1} bei Handbetrieb und bis 2000 s^{-1} bei Motorbetrieb von ihm realisiert. Die Askaniawerke²⁾ bauen eine solche Mehrfachkammer für zwölf Bilder und eine Bildfrequenz von 1200 s^{-1} .

Der in der Literatur (6) auftretende Satz: „Man kann die Bildschärfe dadurch steigern, dass man das Filmbildfenster durch eine vor dem Film gelegene Schlitzblende stark einengt“, kann leicht zu Missverständnissen führen. Die einfache starke Einengung der Bildfensterschlitzweite in dieser Weise veranlasst nämlich einen grossen Lichtmengenverlust bei der Belichtung. Sein theoretischer Grund ist folgendermassen:

Der jetige Apparat besitzt eigentlich drei wichtige Blenden, nämlich, das Bildfenster, den Verschlussschlitz des Scheibbildschalters und das Lichtfenster. Das Bildfenster steht dicht vor dem Film und der Verschlussschlitz des Scheibbildschalters nahe hinter dem Objektiv zwischen dem Bildfenster und dem Lichtfenster. Die neue Blende, die dicht hinter dem objektiv angeordnet werden muss und durch deren Mitwirkung mit dem Verschlussschlitz die Maximalbelichtungsmenge geregelt wird, ist nichts anders als das sogenannte „Lichtfenster.“ Trotz seiner Wirksamkeit ist niemand darauf gekommen: es wurde vom Verfasser in dieser Arbeit zuerst vorgeschlagen. Aus diesem Grund wurde bisher die einfache völlige Öffnung der im Objektiv fest eingebauten Blende anstatt der neuen benutzt. Die Blenden müssen vier Bedingungen, Bildrandmarkierung, Regulierung der Belichtungsdauer eines einzelnen Bildpunktes (Bildpunktschärfung), die des ganzen Bildchens und die Maximalwirksamkeit der Belichtung, ausreichend genügen.

Das gegenwärtige dicht vor dem Film eingerichtete Bildfenster ist als Bildmaske viel geeigneter als der Verschlussschlitz. Es ist so dicht vor dem Film angeordnet dass dadurch die schon oder noch nicht belichtete empfindliche Schicht vor dem unregelmässig reflektierten Lichtstrahl gut geschützt ist und nur ein Bildchen während der Belichtung deutlich markiert wird. Der Verschlussschlitz steht dagegen so weit von der Bildebene entfernt und seine Ebene schneidet den Lichtkegel, der seinen Scheitel auf einen Bildpunkt und seine Grundfläche auf dem Objektiv hat, mit einem so grossen Flächeninhalt dass er nicht gut die Rolle der Bildmaske spielen kann.

Als Bildpunktschärfer, d.h. als Regulator der Belichtungsdauer eines einzelnen Bildpunktes, leistet der Verschlussschlitz mehr als das Bildfenster, weil die Belichtungsdauer, mit der die Bildpunktschärfe kontrolliert wird, nur durch die Schlitzweite und die Geschwindigkeit des Verschlussschlitzes reguliert wird.

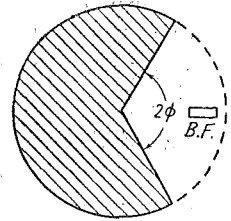


Abb. 1. Bildschalter
verschluss.

B.F. Bildfenster.

1) Vgl. (2) u. (16).

2) Vgl. (2).

Wenn das Bildfenster und der Verschlussschlitz als Bildpunktschärfer verwendet sind, sodann müssen sie so entworfen werden, dass mit ihnen die gewünschte Bildpunktschärfe bei Maximal-wirtschaftlichkeit der Belichtungsmenge erreicht werden kann.

Wird das Bildfenster allein als Bildpunktschärfer verwendet, so wird gleichzeitig ein Verlust der Belichtungsmenge und eine zeitliche Verzerrung des Bildpunktes verursacht, weil trotz der Kürze der Belichtungsdauer eines einzelnen Bildpunktes die Aufnahmezeit eines ganzen Bildchens die Reziproke der Bildfrequenz dauert.

Wenn statt dessen der Verschlussschlitz und eine neue Blende, die mit zwei geradlinigen Rändern begrenzt, dicht hinter der letzten Linse des Objektivs angeordnet sind, zusammengesetzt als Bildpunktschärfer und das Bildfenster nur als Bildmaske verwendet wird, so kann nicht nur das in die Kamera eingetretene Licht wirtschaftlicher benutzt werden so, dass die Wirksamkeit bis zum Maximalwert hinaufgesteigert werden kann, als auch die Belichtungsdauer eines ganzen Bildchens auf die Hälfte der Reziproke der Bildfrequenz beschränkt werden. Vergleiche Ziff. 19, Gl. (19) und (259). Die Theorie ist später abgeleitet, weil sie etwas kompliziert ist. Jedoch möchten wir hier ein Beispiel zeigen.

Setzt man, im Fall dass das Bildfenster allein als Bildpunktschärfer benutzt ist, die Bildhöhe $= 2b$, die Bildfrequenz $= n s^{-1}$, die Bildfensterschlitzweite $= 2b''$, den zulässigen Bildfehler $= \varepsilon$, die Ablaufs-geschwindigkeit des Filmes $= v = 2bn$, die Belichtungsdauer eines einzelnen Bildpunktes $= t' = \varepsilon / 2bn$, die eines ganzen Bildchens $= T' = 2b/v = 1/n$, die wirksame Belichtungslichtmenge eines ganzen $= L' = G't'$ und, im Fall dass der Verschlussschlitz und das Lichtfenster zusammengesetzt als Bildpunktschärfer angenommen sind, die Belichtungsdauer eines einzelnen Bildpunktes $= t$, die eines ganzen Bildchens $= T = 2b\bar{n}/v$, die wirksame Belichtungslichtmenge eines ganzen Bildchens $= L = Gt$, so ergeben sich die Beziehungen:

$$v = 2bn, \quad t' = \frac{\varepsilon}{v} = \frac{\varepsilon}{2bn}, \quad nt' = \frac{\varepsilon}{2b} = \frac{n\varepsilon}{v} < \frac{G}{G'}, \quad \frac{1}{2} > \bar{n} \quad (2a)$$

und infolgedessen

$$L' < L, \quad T' > 2T > 2t, \quad T \approx t, \quad \frac{L'}{T'} < \frac{L}{T}. \quad (2b)$$

Beispiel. Seien

$$\begin{aligned} 2b &= 3,8 \text{ mm}, & \varepsilon &= 0,05 \text{ mm}, & n &= 500 s^{-1}, & G/G' &= 0,1^1), & T &= 0,4 T', \\ t &= 0,8 T, & \bar{n} &= 1/3, \end{aligned} \quad (3a)$$

so entstehen nach (2a, b)

$$\begin{aligned} v &= 1900 \text{ mm } s^{-1}, & t' &= 1/38000 s, & nt' &= 1/76 < G/G' = 0,1, & T' &= 1/500 s, \\ T &= 1/1250 s, & \bar{n} &= 1/2,5, & L' &= G'/38000, & L &= G'/15060. \end{aligned} \quad (3b)$$

1) Nach (76) und (264) umgerechnet.

Auf diese Weise ist der bisherige Grundbegriff des Schlitzverschlusses vollständig missverstanden und infolgedessen sind die Elemente gründlich verrechnet worden, was später in Kapitel 2 mit eingehenden Erläuterungen besprochen wird.

5. Funkenkinematographie mit einem Bildfenster. Das ist das erste System, in dem eine Anwendung der Funkenkinematographie stattgefunden hat und das wegen seines verhältnismässig starken Beleuchtungsvermögens und der einfachen Verschlusswirkung durch die extrem kleine Funkendauer immer mehr benutzt wird. Bei diesem Apparat ist der Film auf die Filmtrommel aufgewickelt, wird durch deren Umdrehung um die Achse weiter befördert und durch ein einziges dicht vor ihm angeordnetes Fenster mit der Funkenfolge rechtzeitig belichtet.

Seitdem die ersten Reihenbilder von Schwinning nach diesem Verfahren 1903 erzielt waren und eine verbesserte Einrichtung von L. Bull 1904 geschaffen war, ist mit grossen Schritten die Funkenherstellungs-technik sehr entwickelt worden.¹⁾

1909 ist C. Cranz²⁾ mit Benutzung von elektrischem Licht zu einer kinematographischen Bildfrequenz von $5 \cdot 10^3 s^{-1}$ und drei Jahre später, d.h. 1912, zusammen mit Br. Glatzel, unter Verwendung von Gleichstromlöschfunken und einer Schellerschen Funkenstrecke zu einer Bildfrequenz von $1 \cdot 10^4 s^{-1}$ gelangt. Es ist bemerkenswert dass ein zeitlicher Abstand zweier Funken von $10^{-7} s$ von C. Cranz und H. Schardin 1926 erreicht ist und diese Funken zur Mehrfach-Hochfrequenz-Funkenkinematographie angewandt sind. Vgl. Ziff. 6.

Im Jahre 1934 ist es Edgerton und Germeshausen³⁾ gelungen einen neuen Apparat aufzubauen, bei dem Zahntrommeln anstatt der einen Filmtrommel den Film befördern und die Dauer eines Funkens 10^{-5} bis $10^{-6} s$ beträgt, dadurch wird ohne Umkopieren ein sicheres Stehen der Bilder erreicht.

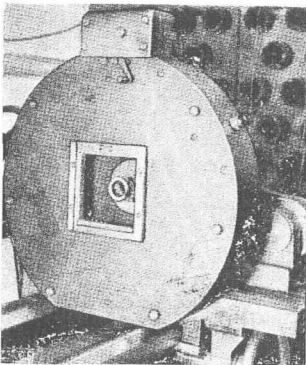


Abb. 2. Filmtrommel mit umlaufendem Platinlspiegel.

Abb. 2 und 3⁴⁾ zeigen einen Apparat⁵⁾, den F. Schwerd aufgebaut hat.

Trotz der Kürze der Belichtungsdauer hat dieses Verfahren doch den grossen Nachteil, dass die Bildwechselzahl je Sekunde verhältnismässig klein ist. Nimmt man die Bildhöhe $= 2b$, den tolerabelen Maximal-Bildfehler $= \epsilon$ und Funkendauer $= \tau$ an, so ist die Bildfrequenz n :

$$n = \frac{\epsilon}{2b\tau}. \quad (4)$$

Setzt man beispielweise $2b = 4,5 \text{ mm}$, $\epsilon = 0,05 \text{ mm}$ und $\tau = 10^{-7} s$ in die Formel ein, so ist

1) Vgl. (1) (2) (7) (8) (11) (12) (14) (16) (18) (21) u. (23).

2) Vgl. (2) u. (23).

3) Vgl. (2).

4) Wiedergabe von Abb. 5 u. 6 in (14).

5) Vgl. (14).

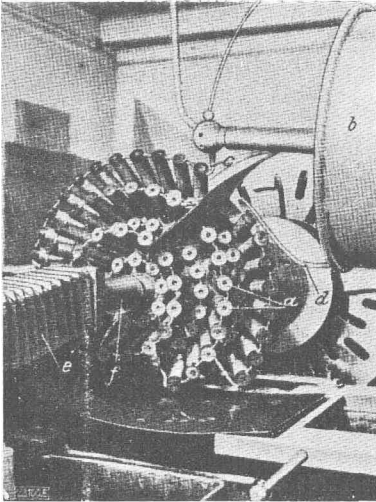


Abb. 3. Funkenkopf mit Einzelfunkensrecken in der im Jahre 1935 benutzten Ausführung.

Der Funkenkopf hat 86 in sechs Reihen angeordnete Funkensrecken, von denen jedoch die äusseren zwei Funkensreckenreihen wegen des schräg einfallenden Lichtstrahls zur Intensität der Belichtung wenig beitragen. Dementsprechend wurde die Zahl der Funkensrecken auf die mittleren vier Reihen beschränkt, so dass heute nur noch 48 Funkensrecken arbeiten. Die Funkenlänge in jeder einzelnen Strecke beträgt 1,5 mm. Die bislang vorhandene Einstellbarkeit der Funkenlängen ist durch Verlöten der Abstandsschrauben beseitigt worden, um die Induktivität zu verringern.

a. Funkensrecken. b. Funkengeschütz.
c. Zuleitung zu den Funkensrecken. d. Ableitung zur Erde. e. Balg. f. Tubus mit Objektiv.

keit von fünf je $10^{-7}s$ dauernden Funken, die innerhalb eines Zeitraumes von $10^{-6}s$ aufeinander folgen, 32% stärker ist als die eines $10^{-6}s$ dauernden Funkens und die Helligkeit von drei je $4 \cdot 10^{-7}s$ dauernden Funken, die im Zeitraum von $2 \cdot 10^{-6}s$ aufeinander folgen, annähernd doppelt so wirksam ist.

Wenn man also die Funkenkinematographie mit dem optischem Ausgleich versieht, so kann sie viel wirksamer sein, weil die Nachteile der beiden durch die charakteristischen Vorteile beider zugleich beseitigt werden können, d.h. durch den Funken wird eine stärkere Beleuchtungs-helligkeit erzielt und durch den optischen Ausgleich wird seine Belichtungsdauer zweckmässig verlängert.

$$n = 111\,111\,s^{-1} \quad (5a)$$

und

$$n\tau = \frac{1}{90}. \quad (5b)$$

Dieses Beispiel zeigt annähernd die Grenze der Leistungsfähigkeit des betrachteten Verfahrens in der Gegenwart, weil die bei weiterer Steigerung der Leistung verbrauchte Elektrizitätsmenge sehr gross wird und die Konstruktion der Funkenanordnung nicht mehr so leicht ist. Wenn man also die Bildfrequenz erhöhen will, so muss man den Film unterteilen und mit kleinerer Bildgrösse zufrieden sein. Die Gleichung (5b) zeigt auch, dass die Funkendauer im Vergleich mit der Bildfrequenz zu kurz ist und deswegen leicht eine ungünstige Belichtung der empfindlichen Schicht verursacht.

In Abb. 4¹⁾ ist das Verhältnis der Funkenhelligkeit und Funkendauer dargestellt. Im allgemeinen hat der Funken mit kürzerer Beleuchtungsdauer höhere Wirksamkeit als der mit längerer. Es ist besonders bedeutungsvoll dass die Hellig-

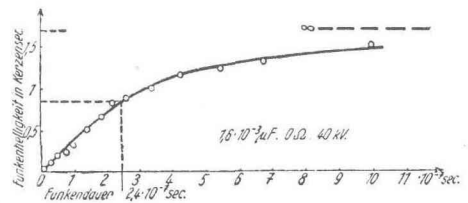


Abb. 4. Integralkurve der Helligkeit.

1) Wiedergabe von Abb. 12 in Literatur (7).

6. Funkenkinematographie mit mehreren Bildfenstern. Es kostet sehr viel Arbeit, eine grosse Filmtrommel mit hoher Umdrehungsgeschwindigkeit gegen den dabei herbeigeführten grossen Luftwiderstand wie in der vorhergehenden Ziffer um seine Achse zu drehen. Aber wenn es genügt, nur einige wenige Bildchen nacheinander aufzunehmen, so kann der Apparat sehr vereinfacht werden. Dieses Verfahren ist nach den Erfindern „Verfahren von C. Cranz und H. Schardin“¹⁾ genannt und seine Anordnung in Abb. 5²⁾ dargestellt. Bei diesem Verfahren wird das durch die räumlich voneinander getrennten Funkenstrecken a_1 bis a_8 erzeugte Licht von einer Linse b (oder einem Hohlspiegel) gesammelt und den einzelnen Objektiven c_1 bis c_8 zugeführt. Vor der Linse b (oder dem Hohlspiegel) läuft der zu untersuchende Vorgang ab . Von dem Objektiv wird auf einer ruhenden Platte d_1 bis d_8 ein Bild entworfen, das dem Zeitpunkt entspricht, zu dem der zugehörige Funke überspringt. Es bewegt sich in dem Aufnahmegerät also überhaupt nichts: die Funken sind elektrisch miteinander gekoppelt. Man hat nur nötig, den ersten Funken von dem Vorgang selbst auslösen zu lassen.

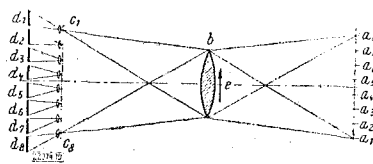


Abb. 5. Anordnung für Kinematographie auf ruhendem Film nach Cranz und Schardin.

- a_1 bis a_8 Funkenstrecken
- b Linse (an stelle der Linse kann auch ein Hohlspiegel verwendet werden)
- c_1 bis c_8 Objektive
- d_1 bis d_8 Platten oder Filmstreifen
- e Bewegungsrichtung des aufzunehmenden Vorgangs

1926 wurde von C. Cranz und H. Schardin mitgeteilt³⁾, wie in Ziff. 7 erwähnt dass nach Messungen ein Zeitunterschied von $10^{-7}s$ zwischen zwei Funken zu erreichen ist: dem entspricht eine Bildfrequenz von $10^7 s^{-1}$. Untersuchungsergebnisse über die Funkenhelligkeit bei verschiedener Fünkendauer veröffentlichten M. Kornetzki, V. Formin und R. Steinitz, 1933.⁴⁾

Neuerdings wurde von N. Yamaga⁵⁾ und T. Shimizu, 1937, berichtet⁶⁾, dass es ihnen gelungen ist, einen neueren Apparat durch Einstellung von Induktionspulen in die elektrische Anordnung aufzubauen, mit dem die Aufnahme von acht aufeinander folgenden Bildern in viel besser definierten Zeitmomenten als beim Verfahren von C. Cranz und H. Schardin ausgeführt werden konnte.

7. Funkenkinematographie mit einem umlaufenden Spiegel. Beim umlaufenden Spiegel-System⁷⁾ liegt der Film auf der Innenseite der Filmtrommel ganz unbewegt. Siehe Abb. 6. Der in der Mitte der Filmtrommel umlaufende Spiegel hat die Filmtrommelachse als Umdrehungsachse und seine Ebene ist um 45° zu ihr geneigt. Der Spiegel reflektiert das durch das Objektiv heraus tretende Strahlenbündel und stellt die Bildebene auf die empfindlichen Schicht des

1) Vgl. (1) (2) (8) u. (9).

2) Wiedergabe von Abb. 11 in (2).

3) Vgl. (1).

4) Vgl. (7).

5) Prof. an der Universität Tokyo, Japan.

6) Vgl. (32).

7) Vgl. (1) (2) (14) u. (21).

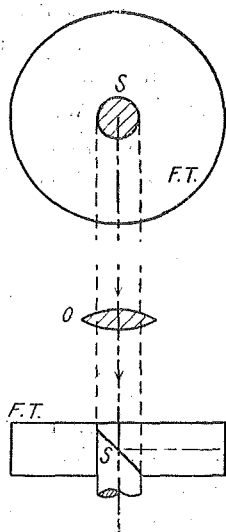


Abb. 6. Umlaufender Spiegel.

F. T. Filmtrommel
O Objektiv
S Umlaufender Spiegel

Filmes ein. Die Belichtung soll dann durch die Funkenfolge ausgeführt werden.

Bei diesem Verfahren läuft die hervorgebrachte Bildebene auf dem Film mit derselben Geschwindigkeit wie die des Spiegels, und gleichzeitig dreht sich das Bildchen selbst in derselben Ebene um denselben Drehwinkel wie der des umlaufenden Spiegels, so dass die beiden zusammengesetzten Wirkungen das Bildchen sehr stören müssen, von denen der Fehler, der von der ersteren Störung hervorgerufen ist im allgemeinen viel grösser als der von der letzteren ist.

Nimmt man die Bildhöhe $= 2b$, den tolerablen Fehler $= \epsilon$, die Bildfrequenz $= n$ und die Funkendauer $= \tau$ an, so entsteht das folgende Verhältnis:

$$n = \frac{\epsilon}{2b\tau} \quad (6)$$

Beispiel. Setzt man $2b = 10 \text{ mm}$, $\epsilon = 0,05 \text{ mm}$ und $\tau = 10^{-7} \text{ s}$ in (4) ein, so ist

$$n = 50\,000 \text{ s}^{-1} \quad (7)$$

Dieses Beispiel stellt fast das Maximum der Leistungsfähigkeit¹⁾ dieses Verfahrens dar, weil $\epsilon = 0,05 \text{ mm}$ und $\tau = 10^{-7} \text{ s}$ annähernd die Extremwerte in der Gegenwart sind.

Will man also die Bildfrequenz noch höher hinaufziehen, sodann müssen Hilfsspiegel benutzt werden, damit die obenerwähnten Fehler gänzlich oder zum grössten Teil beseitigt und mehrere Bildchen innerhalb derselben Zeiteinheit aufgenommen werden können. Diese Anordnung wurde zuerst vom Verfasser untersucht. Sie ist in Kapitel 6 theoretisch behandelt.

8. Optischer Ausgleich mit einem Spiegelkranz. Dieses Verfahren beruht auf dem sehr bekannten Prinzip der Drehspiegelung. Nämlich es wird nicht nur das durch das Objektiv vom Dingraum nach der Bildebene heraustretende Strahlenbündel²⁾ durch einen Spiegel des Spiegelkranzes reflektiert, sondern auch die auf dem Film eingestellte Bildebene wird während der Umdrehung des Spiegelkranzes um seine Achse mit derselben Geschwindigkeit wie die des Filmes befördert, so wie sie auf ihm fest eingestellt ist. Hierbei muss der Bildschalterverschluss in ganz gleicher Weise, wie bei Zeitdehner mit Scheibbildschalter und Zahntrommeln, Kapitel 2, eingerichtet werden. Bei dieser Konstruktion sind bisher einige Irrtümer unterlaufen, die eingehend erörtert werden sollen. Bisher ist nur die erste Wirkung, die Drehspiegelung, bemerkt worden, aber die letzte trotz ihrer Wichtigkeit vollständig übersehen. Wegen des Vorteils der Drehspiegelung, durch den die Belichtungsdauer sehr verlängert und infolgedessen die Lichtmenge ausreichend ausgenutzt werden kann, hat dieses Verfahren sehr

1) Vergleiche sie mit derjenigen, welche in (1) angegeben ist.

2) Es gibt noch eine Art von diesem Verfahren, bei der der Spiegelkranz vor dem Objektiv eingerichtet ist: es ist aber nicht so bequem, daher nicht besprochen. Vergleiche (23).

oft bei den Untersuchungen physikalischer Phänomene Anwendung gefunden.

Es gibt zwei Formen von Spiegelkranzen, die bisher angewandt sind, Zylinder¹⁾ und Kegel.²⁾ Vergleiche Abb. 7 und 8. Alle Spiegelflächen sind beim zylinderförmigen Spiegelkranz zu seiner Achse parallel und beim kegelförmigen zu seiner Achse um 45° geneigt. Das durch das Objektiv heraustretende Strahlenbündel wird bei den bisherigen Apparaten unter einem Winkel von 90° reflektiert.

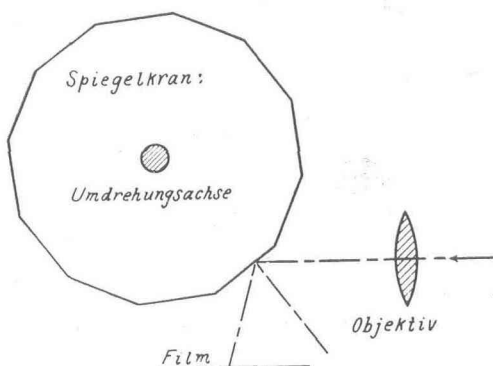


Abb. 7. Zylinderförmiger Spiegelkranz.

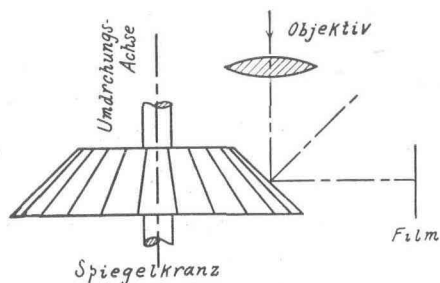


Abb. 8. Kegelförmiger Spiegelkranz.

Der zylinderförmige Spiegelkranz hat wieder zwei Formen: Aussen-
spiegelkranz und Innenspiegelkranz. Der erstere ist für die Aufnahme bei hoher Bildfrequenz, z.B. $20'000\text{ s}^{-1}$ ³⁾, geeignet im Laboratorium, der letztere für den tragbaren Apparat niedriger Bildfrequenz, z.B. 2000 s^{-1} ⁴⁾. Abb. 9

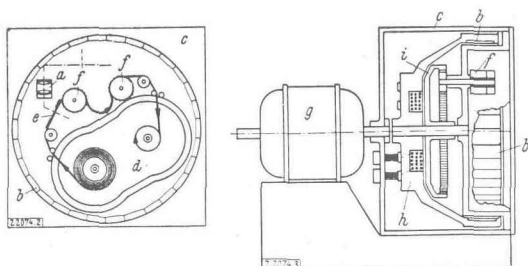


Abb. 9. und 10. Schnitt.

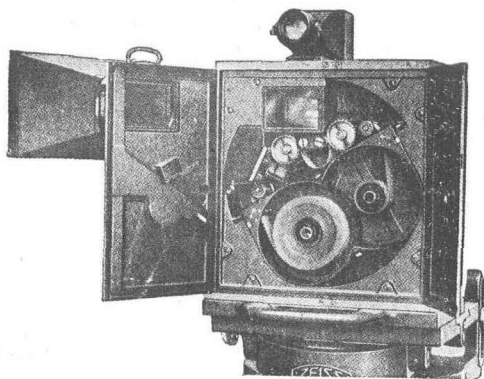


Abb. 11. Zeitlupe, geöffnet.

Abb. 9 bis 11. Zeitlupe mit optischem Ausgleich.

- a Objektiv, Brennweite 45 mm, Öffnung 1:1,9
- b Spiegelrad mit 30 Spiegeln, Umfangsgeschwindigkeit rd. 42 m/s
- c Gehäuse aus Leichtmetall
- d Filmkammer
- e Bildfenster
- f Rollen zur Filmbewegung
- g Motor
- h elektromagnetische Kupplung für den Antrieb der Rollen f
- i Kupplungsscheibe mit Innenzahnkranz

Zuerst wird das Spiegelrad *b* auf volle Drehzahl gebracht—dann erst wird die Filmbewegung durch die Kupplung *h* eingeschaltet. Auf diese Weise geht während des Anlaufs kein Film verloren.

Durchmesser des Spiegelrades 280mm. Aufnahme-fähigkeit der Filmkammer 55 bis 60 m Film.

1) Vgl. 6) (15) (19) u. (23).

2) Vgl. (2) (19) u. (29).

3) Vgl. den zweiten Apparat Suharas, Japan, in (19).

4) Vgl. (6) (27) u. (28).

bis 11 zeigen¹⁾ den Zeitdehner von Zeiss-Ikon, mit dem Bildfrequenzen bis $2\,000\text{ s}^{-1}$ erzielt werden können.

Es ist besonders bemerkenswert dass man T. Suhara mit N. Sato und S. Kamei, Japan, auf diesem Gebiete sehr viel verdankt. 1930 verwendete er einen kegelförmigen Spiegelkranz mit 180 Spiegeln zu seinem dritten Apparat²⁾ und erzielte damit Bildfrequenzen bis $60\,000\text{ s}^{-1}$ bei einer Bildgrösse von $4,5\text{ mm} \times 11\text{ mm}$: vergleiche Abb. 12³⁾ 13 und 14⁴⁾.

Der kegelförmige Spiegelkranz ist zu allen Zwecken verwendbar, aber nicht der zylinderförmige zu hohen Bildfrequenzen über $\text{ca. } 30\,000\text{ s}^{-1}$, weil der letztere die folgenden Nachteile hat:

Der effektive Flächeninhalt des einzelnen Spiegels ist verhältnissmässig klein, die reflektierte Bildebene kann auf

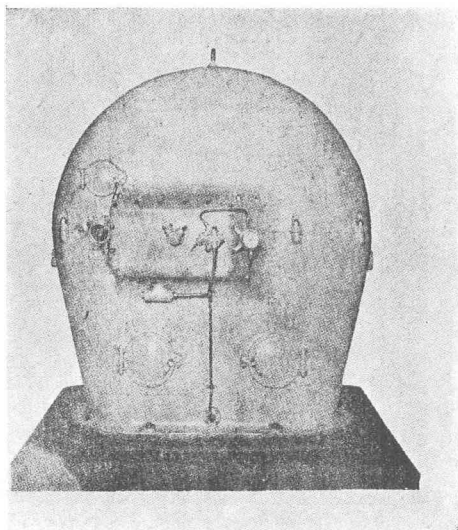


Abb. 12.

der empfindlichen Schicht des Filmes nicht so sehr genau eingestellt werden, der längs der Filmen-länge gemessene Bildfehler ist ziemlich gross und der Film wird durch die Zentrifugalkraft bei höheren Geschwindigkeiten zerrissen.

Das Verfahren mit dem kegelförmigen Spiegelkranz ist unter Kapitel 3 und das mit dem zylinderförmigen unter Kapitel 4 eingehend untersucht.

Es muss wieder über die bisherigen Apparate gesagt werden, dass es, wie in Ziff. 4, zwei notwendige Blenden gibt, deren Grundbegriffe auch gründlich missver-

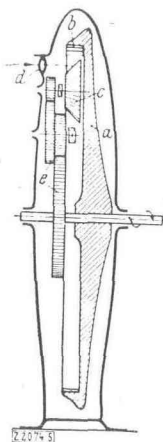


Abb. 13. Schnitt.

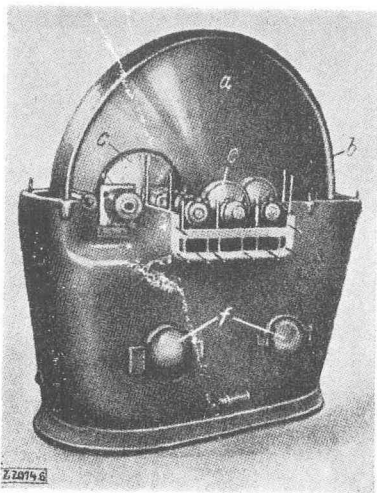


Abb. 14. Ansicht, Oberteil abgehoben.

Abb. 13. und 14. Zeitlupe nach Suhara mit umlaufendem Filmrad.

- | | |
|--------------|--------------------------------|
| a Filmrad | d Objektiv |
| b Film | e Getriebe |
| c Spiegelrad | f Türen zum Einlegen des Films |

Durchmesser des Filmrades 1250 mm

- 1) Wiedergabe von Abb. 2 bis 4 in (2).
- 2) Vgl. (2) (19) u. (29).
- 3) Wiedergabe von Abb. 1 in (29).
- 4) Wiedergabe von Abb. 5 u. 6 in (2).

standen worden sind. Man hat der einzigen dicht vor dem Film angeordneten Blende mehrere Rollen zuerteilt, Belichtungsdauer-regulator, Bildpunktschärfer und Bildmaske. Sie hat also zu viel zu schaffen gehabt.

Man darf aber weder die Wirkung der Drehspiegelung des einzelnen Spiegels noch die des Schlitzverschlusses nicht vergessen. Man lasse die erstere Wirkung der Drehspiegelung, die Beförderung der Bildebene, ein Weilchen ausser Betracht und überlege die Restwirkungen. Jeder einzelne Spiegel reflektiert um den einer Bildhöhe entsprechenden Winkel, stellt die Bildebene exakt auf der empfindlichen Schicht ein und wirkt gleichzeitig als Schlitzverschluss. Es ist also nichts anders als der einfache Bildschalter-schlitzverschluss mit Spiegelungswirkung.

Als Schlitzverschluss ist er jedoch nicht so leistungsfähig, weil weder die Belichtungsintensität auf der Bildebene gleichmässig verteilt ist, noch die Belichtungsmenge das Maximum erreicht. Die erstere Aufgabe ist in Ziff. 16, 17, 26, 28 und 38 und die letztere ist in Ziff. 19 vollkommen aufgelöst.

Es muss eine neue Blende dicht hinter dem Objektiv angeordnet werden derart, dass sie durch die Mitwirkung des Verschlusschlitzes die Rolle als Regulator der Belichtungsdauer eines einzelnen Bildpunktes ebenso wie der des ganzen Bildchens spielen kann, und ausserdem die Maximalwirksamkeit der Belichtungsmenge erreicht werden kann. Diese neue Blende nennt man das „Lichtfenster“.

Nun denke man an die Wirkung der Drehspiegelung zurück. Die am Spiegel reflektierte Bildebene läuft mit derselben Geschwindigkeit wie der Film in dieselbe Richtung, und die Bildebene ist immer auf die zu erst eingestellte empfindliche Schicht festgesetzt. Die Belichtung dauert während eines bestimmten Zeitweilchens, die dem momentanen Erscheinungszustand des zu erforschenden Phänomens entspricht.

Es ist keine vergebliche Mühe, noch einmal an die bisherigen Einrichtungen zurückzudenken. Man hat sich wegen begangener Irrtümer erfolglos bemüht, um Apparate mit höherer Leistung aufzubauen. Man hat das Bildfenster als Belichtungsdauer-regulator, Bildpunktschärfer und auch Bildmaske zu viel leisten lassen und den Spiegeln nur die einfache Aufgabe der Spiegelung zuerteilt. Durch das Bildfenster werden zwei aufeinander folgende Bildchen während einer gewissen Zeitdauer gleichzeitig belichtet, d.h. zwischen der Belichtung des Endes des vorderen und des Anfangs des hinteren befindet sich kein Zeitintervall. Nämlich es dauert die Aufnahme eines Bildchens etwas mehr als die Reziproke der Bildfrequenz.

Setzt man die Bildfensterschlitzweite $= 2b''$, die Bildhöhe $= 2b$, die Bildfrequenz $= n \text{ s}^{-1}$, die Belichtungsdauer eines Bildpunktes $= t$ und die eines ganzen Bildchens $= T$ voraus, so ergeben sich

$$T = \frac{1}{n} \frac{2b + 2b''}{2b} = \frac{1}{n} + t \quad (8a)$$

$$t = \frac{1}{n} \frac{2b''}{2b} = T \frac{2b''}{2b + 2b''} = T - \frac{1}{n} \quad (8b)$$

Somit ist t nicht nur die Belichtungsdauer eines Bildpunktes sondern auch die der verdoppelten Aufnahme von zwei aufeinander folgenden Bildchen.

Beispiel. Setzt man $2b'' = 1 \text{ mm}$, $2b = 4,5 \text{ mm}$ und $n = 60\,000 \text{ s}^{-1}$, so werden nach (8a,b)

$$T = \frac{1}{49\,091} \text{ s} \quad (9a)$$

$$t = \frac{1}{270\,000} \text{ s}. \quad (9b)$$

Die Wirksamkeit der Belichtung bei den bisherigen Einrichtungen ist annähernd vier fünftel im Vergleich mit der in Kapitel 3 erörterten: dies ist in Kapitel 2 und 3 theoretisch aufgeklärt.

Es sollen die vom Verfasser verbesserten Hauptpunkte folgendermassen rekapituliert werden, damit die bisherigen Verfahren beurteilt werden können.

1. Wenn man das Bildfenster allein als Bildpunktschärfer und Bildmaske und den Drehspiegel als Regulator der Belichtungsdauer eines ganzen Bildchens annimmt, so findet verdoppelte Aufnahme an den Rändern von zwei aufeinander folgenden Bildchen trotz der verhältnismässig kurzen Belichtungsdauer des einzelnen Bildpunktes statt, ausserdem wird das Bildchen ungleichmässig belichtet und die Lichtmenge nur unzureichend ausgenützt, wobei man noch mit grossen Spiegelbreiten arbeiten muss. Das ist das alte Verfahren.

2. Wenn man den Verschlussschlitz mit dem neuen, dicht hinter dem Objektiv angeordneten Lichtfenster als Bildpunktschärfer und Regulator der Belichtungsdauer eines ganzen Bildchens und das Bildfenster nur als einfache Bildmaske arbeiten lässt, so kann man sowohl die Maximal-Belichtungsmenge hinreichend ausnützen, als auch die Bildfehler vollkommen beseitigen, und die Belichtungsdauer eines ganzen Bildchens im Vergleich mit der Reziproken der Bildfrequenz genügend verkleinern. Das ist das zuerst vom Verfasser vorgeschlagene Verfahren.

So weit es dem Verfasser bekannt ist, sind die Grundbegriffe des optischen Ausgleiches bisher vollständig missverstanden und infolgedessen die Elemente aussergewöhnlich verrechnet worden.

Die wichtigen Eigenschaften, nämlich, die Mitwirkung des Schlitzverschlusses und des Lichtfensters, die zuerst vom Verfasser hervorgehoben sind, und die der Drehspiegelung, sind in Kapitel 3 und 4 in eingehenden Erörterungen besprochen.

Zum Schluss soll es insbesondere hervorgehoben werden, dass die Wirksamkeit des Apparates durch die günstige Abminderung des Abweichungswinkels, der vor und nach Reflexion an dem Spiegel längs eines bestimmten Strahles gemessen ist, beträchtlich verbessert werden kann. Es kann nämlich dadurch die Dicke des Spiegelkranzes vermindert und die Wirksamkeit der Belichtungslichtmenge erhöht werden. Vergleiche Kapitel 3 und die Beispiele in Ziff. 32.

9. Optischer Ausgleich mit einem Paar Zwillingsspiegelkränzen. Der optische Ausgleich mit einem Spiegelkranz, der eben in der vorliegenden Ziffer erörtert worden ist, hat ziemlich grosse optische Bildfehler, besonders bei geringer Spiegelzahl, d.h., bei grossem Drehwinkel des Spiegels. Er ergibt Fehler, von

der ersten Ordnung welche unter keinen Umständen beseitigt werden können.

Aus diesem Grund ist der optische Ausgleich mit einem Spiegelkranz für grosse Apparate höherer Bildfrequenz, z.B. $60\,000\text{ s}^{-1}$, geeignet, aber für handliche kleine niedrigerer Bildfrequenz, z.B. $1\,000\text{ s}^{-1}$, leider nicht, weil der Spiegelkranz so klein gemacht werden muss.

Wenn man aber ein Paar entgegengesetzte kegelförmige Spiegelkränze, d.h. Zwillingspiegelkränze, nach der in Kapitel 5 vervollständigten Folgerung benutzt, wie sie in Abb. 15 gezeigt sind, so können fast alle optischen Fehler praktisch beseitigt werden.

Das jetzige Verfahren ist deshalb nicht nur für höhere Bildfrequenzen über $100\,000\text{ s}^{-1}$, sondern auch für niedrigere, z.B. $1\,000\text{ s}^{-1}$, sehr geeignet. Es erstreckt sich seine Verwendbarkeit also über das ganze Gebiet der Hochbildfrequenz, das jeder Zeitdehner anfordert.

Ausserdem kann die Belichtungsdauer eines einzelnen Bildpunktes und die eines ganzen Bildchens geeignet reguliert werden, so dass gute Aufnahmen erzielt werden.

Zum Schluss soll es hervorgehoben werden, dass das in Frage kommende Verfahren hier zu erst vorgetragen ist, dessen Theorie in Kapitel 5 aufs eingehendste besprochen ist.

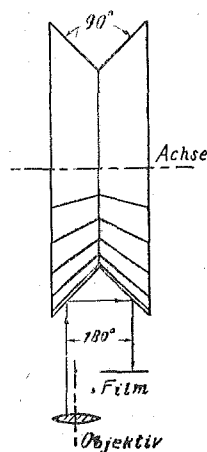


Abb. 15.

10. Optischer Ausgleich mit einer Glastrommel.¹⁾ Dieses System ist unter 2 (a) iii in Tafel 1 angeführt und sein Prinzip kann aus Abb. 16 leicht eingesehen werden. Bei diesem Apparat befindet sich eine geradeckige Glastrommel zwischen dem Objektiv und der empfindlichen Schicht, die in der Mitte ihrer Seitenebenen einen durchleuchtbaren Lichtweg hat aber auf den Ecken irgendwie undurchsichtig ist, so dass Lichtstrahlen vollständig abgesperrt werden können. Durch die Umdrehung der Glastrommel um ihre Achse wird der Bildpunkt mit derselben Geschwindigkeit wie der der empfindlichen Schicht befördert, der in dem entsprechenden Punkt der empfindlichen Schicht stets eingestellt bleibt. Die Belichtung wird durch den durchleuchtbaren Lichtweg der Glastrommel momentan ausgeführt und dann während einer kleinen Weile durch die weitere Umdrehung der Glastrommel von ihrer undurchsichtigen Ecke ausgeschaltet. Nämlich die Glastrommel spielt bei der Umdrehung um die Achse dieselbe Rolle wie das Lichtfenster und der Bildschalter.

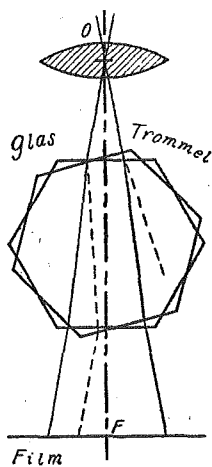


Abb. 16.

Hierbei muss sowohl die Variation der reduzierten Weglänge des Lichtstrahles, die durch die Glastrommel von einem bestimmten

1) Vgl. (33) (34) u. (37).

Dingpunkt bis zum entsprechenden Bildpunkt gemessen ist, als auch die eines bestimmten Strahles, die durch die Umdrehung der Glastrommel hervorgerufen ist, verschwinden. Leider ist das nicht der Fall: die beiden Variationen sind also nicht nur von Null verschieden, sondern auch nach der Lage des Lichtstrahles ebenso wie nach der Lage der Glastrommel sehr unbeständig. Nämlich jede von diesen beiden Tatsachen steht wirklich mit dem Fermatschen Satz

$$\delta \Sigma n l = 0 \quad (10)$$

im Widerspruch, wo n die Brechungszahl des Mediums und l die durchlaufene Weglänge bedeuten.

Diese Fehler sind von der dritten Ordnung, die natürlich beim optischen Entwurf immer beseitigt werden müssen. Der grösste Fehler darunter ist die chromatische Aberration, die im allgemeinen bei der betrachtenden Aufgabe nicht beseitigt werden kann. Bezeichnet man den Einfallswinkel eines Strahles, den er mit der Normalen der Seitenebene der Glastrommel bildet, mit i , die Brechungszahl des Trommelglases mit n , die in Richtung des Durchmessers gemessene wirkliche Stärke der Glastrommel mit s , die Abweichung des durch die Glastrommel durchgelaufenen Strahles mit a , und die Variation einer Grösse mit dem Vorzeichen Δ , so ergeben sich

$$a = s \left\{ \sin i - \frac{\sin 2i}{2(n^2 - \sin^2 i)^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (11a)$$

$$\Delta_n a = s \frac{\sin 2i}{2(n^2 - \sin^2 i)^{\frac{3}{2}}} n \cdot \Delta n. \quad (11b)$$

Der Fehler, der von (11b) angegeben ist, stört die mit grosser Mühe gelungenen optischen Korrekturen des Objektives und infolgedessen die Qualität des damit hergestellten Abbildes.

Beispiel. Setzt man $s = 21$ mm, $i = \pm 15^\circ$, $n_c = 1,51385$, $n_h = 1,52979$ und $\Delta_{ch} n = 0,01594$ voraus, so werden nach (11a) und (11b)

$$a = \pm 1,92 \text{ mm} \quad (12a)$$

$$\Delta a = 0,076 \text{ mm} \quad (12b)$$

Da das Innere der Glastrommel in Bezug auf die zweite Potenz der Umlaufgeschwindigkeit durch die Zentrifugalkraft beansprucht sein muss, so wird die Brechungszahl durch die dadurch hervorgerufene Verzerrung nach der Stelle des betrachteten Elementes verändert. Es nimmt viel Arbeit in Anspruch, die veränderte Brechungszahl nach der Stelle zu ermitteln und damit den dadurch herbeigeführten Fehler abzuschätzen. Es ist dem Konstrukteur des Apparates höherer Bildfrequenz vorzuschlagen, solche ungünstigen Fehler vor dem Aufbau zu erst durch Experimente zu bestimmen.

Die Zusammenwirkung dergleichen Fehler bei höheren Bildfrequenzen ist nicht so klein wie man ohne vorherige Rechnung annehmen könnte. Sie ist aber leider auf dem Film nach der Entwicklung mit blossen Auge nur schwer zu bemerken. Man muss sie also vor dem Aufbau sorgfältig veranschlagen.

Es muss zum Schluss besonders hervorheben dass die verwendeten Lichtmengen nicht so wirtschaftlich ausgenutzt sind und ausserdem das Verhältnis der Belichtungsdauer eines ganzen Bildchens zu der Reziproke der Bildfrequenz, d.h. der annähernden Aufnahmedauer eines ganzen Bildchens nicht so günstig ist. Hierbei gibt die Gleichung (15) den Wert dieses Verhältnisses an. Vergleiche Ziff. 15 darüber, in der die vollkommene Erklärung beschrieben ist.

Aus diesem Grund ist dieses Verfahren für die höhere Bildfrequenz nicht geeignet; es mag aber für Bildfrequenzen bis ca. $2\,000\text{ s}^{-1}$ verwendbar sein.

Heute sind die Verfahren (a)i und (a)ii schon sehr entwickelt derart dass Apparate von Bildfrequenzen über $1\,000\text{ s}^{-1}$ ¹⁾ sehr leicht aufgebaut werden können. Vergleiche Tafel 1, Ziff. 1. Deswegen ist man nicht auf dieses Verfahren angewiesen.

11. Optischer Ausgleich mit einem Hilfslinsenkranz. Das Prinzip dieses Verfahren besteht darin, dass ein Hilfsobjektiv hinter dem Hauptobjektiv mit einer bestimmten Geschwindigkeit bewegt wird, so dass das Bildchen, das von diesen Objektiven entworfen wird, auch mit einer bestimmten Geschwindigkeit läuft.

In der Praxis werden die Hilfsobjektive auf einer Scheibe in Bezug auf deren Achse symmetrisch angeordnet.

Heape und Grylls²⁾ haben die Kinoobjektive als Hilfslinsen auf dem Linsenkranz verwandt, und die AEG hat ihn bei dem Thunschen Zeitdehner, der in Abb 17³⁾ gezeigt ist, etwas leichter aufgebaut.

Doch hat dieses System leider noch einige grosse Nachteile. Es wird nicht nur eine grosse Antriebskraft für die grosse Linsenscheibe verbraucht, sondern auch die Linsen werden durch die dabei hervorgerufene Zentrifugalkraft sehr stark beansprucht. Die Verzerrungen der Linsen rufen beträchtliche Unschärfe und Abbildungsfehler hervor.

Durch diese Erläuterungen kann man vom Standpunkt der Geometrischen Optik sehr leicht begreifen, dass das betrachtete Verfahren viel nachteiliger als der optische Ausgleich mit einer Glastrommel ist, der in Ziff. 10 eben besprochen wurde. Deshalb hat es keinen Sinn auf diesem Wege weiter zu gehen, weil der optische Ausgleich mit einem Spiegelkranz in der Gegenwart ganz gut entwickelt ist und hinsichtlich der Sicherheit der mit der grossen Geschwindigkeit getriebenen Teile ebenso wie der Bildqualität unvergleichlich dem betrachteten Verfahren vorzuziehen ist.

Insbesondere wird hiermit behauptet, dass seine weitere Anwendung zur

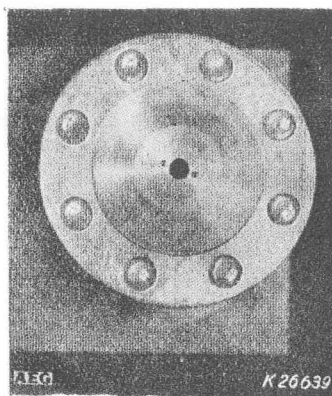


Abb. 17. Linsenscheibe des AEG-Zeitdehners.

1) Vgl. (2), Ziff. 8 u. 9.

2) Vgl. (5).

3) Wiedergabe von Abb. 2 in (5).

n -Streifen Aufnahme¹⁾ gar nicht bemerkenswert ist, weil die Bilder nur n -fach gleichzeitig aufgenommen werden können: die Aufnahme ist wertvoll und erfolgreich, wenn sie innerhalb des Stillstandsmomentes der Erscheinung aufeinander folgend ausgeführt wird.

Aus diesem Grund soll deshalb hervorgehoben²⁾ werden, dass die Aufnahmen bei der Bildfrequenz $100\,000\text{ s}^{-1}$ mit einer Belichtungsdauer von $1/300\,000\text{ s}$ und der Bildgrösse $4,5\text{ mm} \times 24\text{ mm}$ so wertvoller sind als die bei der Bildfrequenz $460\,000\text{ s}^{-1}$ mit einer Belichtungsdauer $1/360\,000\text{ s}$ und der Bildgrösse $4,5\text{ mm} \times 6\text{ mm}$.

Daher ist dieses Verfahren auch hier nicht weiter verfolgt.

12. Optischer Ausgleich mit Funkenbelichtung. Diese Idee ist zuerst hier vorgeschlagen worden, wie bereits in Tafel 1, Ziff. 1, durch das Zeichen 1(a) angedeutet ist.

Im allgemeinen kommt die Lichtmenge der Belichtung beim Zeitdehner zu allererst in Frage und sie bestimmt oft die höchste Fähigkeit des Apparates.

Beim Optischem Ausgleich kann die Beleuchtung durch Funken die Lösung dieses Problems bis zu einem gewissen Grade erleichtern. Durch den Funken kann nicht nur stärkere Beleuchtung sondern auch höhere Wirtschaftlichkeit beim Verbrauch der Elektrizität erzielt werden. Andererseits kann der Nachteil der Funkenkinematographie, d.h. die Kürze der Beleuchtungsdauer und infolgedessen die Kleinheit der Lichtmenge durch Verlängerung der Beleuchtungsdauer durch Zusammensetzung mit Optischem Ausgleich vollständig beseitigt werden, weil die Funkenbeleuchtung vielfach stärker als die ununterbrochene Beleuchtung ist. Es ist in Ziff. 5 schon sehr eingehend aufgeklärt worden.

In diesem Sinne könnte es gefolgert werden, dass die zukünftigen Zeitdehner höherer Bildfrequenz die mit Funken beleuchtetem Optischem Ausgleich sein sollen.

13. Übersicht über Zeitdehner. Nachdem die bisherigen Zeitdehner und auch die hiermit zuerst erfundenen in den vorliegenden Ziffern kurz doch sehr genau erörtert worden sind, möchten wir sie schliesslich kurz, zusammengefasst beurteilen.

Im Gegensatz zu der Bildgrösse des Normalfilmes und der des Schmalfilmes, d.h. $18\text{ mm} \times 24\text{ mm}$ bzw. $7,6\text{ mm} \times 10,5\text{ mm}$, sind $4,72\text{ mm} \times 10,5\text{ mm}$ und $3,8\text{ mm} \times 10,5\text{ mm}$ als Standardbildgrössen in der gegenwärtigen Erörterung angenommen. Wenn also nichts anderes gesagt ist, so ist Standardbildgrösse gemeint.

Der Zeitdehner mit Greifer und Bildschalter³⁾ ist zur Aufnahme bei Bildfrequenzen bis 240 s^{-1} verwendbar, und ein Vorteil ist, dass fertige Geräte auf dem Markt je nach Bedarf eingekauft werden können.

Der Zeitdehner mit Scheibbildschalterverschluss⁴⁾ ist für die Aufnahme über ca. 500 s^{-1} wegen der Unbequemlichkeit der Belichtung nicht geeignet, aber er kann auch wegen seiner einfachen Konstruktion sehr oft verwandt werden. Es muss

1) Vgl. (5) (18) und auch Ziff. 2.

2) Vgl. (18).

3) Vgl. Ziff. 3.

4) Vgl. Ziff. 4.

hierdurch insbesondere hervorgehoben werden, dass die Aufgabe der gleichmässigen Belichtung des ganzen Bildchens ebenso wie die der Maximalwirksamkeit der Belichtungsmenge vom Verfasser zuerst exakt aufgelöst worden ist. Vergleiche Kapitel 2.

Vom Standpunkt der geometrischen Optik ist optischer Ausgleich mit einem Hilfslinsenkranz¹⁾ gar nichts bemerkenswertes, weil die Hilfslinsen bei der Bildfrequenz über ca. $100\,000\text{ s}^{-1}$ zu stark beansprucht werden müssen, derart dass die Brechungszahl des Glases der Linse nach der Stelle sehr verändert und infolgedessen Bildfehler herbeigeführt werden.

Die n -Streifen Aufnahme²⁾ ist wesentlich wertlos, weil die n aufeinander folgenden Bildchen gerade gleichzeitig belichtet werden müssen.

Anstatt dessen werden Optischer Ausgleich mit einer Glastrommel³⁾ für niedrigere Bildfrequenzen und Optischer Ausgleich mit einem Spiegelkranz⁴⁾ für die höhere empfohlen.

Man kann Bildfrequenzen bis ca. $110\,000\text{ s}^{-1}$ durch die Funkenkinematographie mit einem Bildfenster⁵⁾ erzielen und einige aufeinander folgende Bildchen mit Bildfrequenzen bis $10\,000\,000\text{ s}^{-1}$ durch Funkenkinematographie mit mehreren Bildfenstern⁶⁾ aufnehmen, für welche Entwicklung man C. Cranz und H. Schardin danken muss: das wurde von N. Yamaga und T. Shimizu, 1937, durch Einstellung der Induktionsspule in die elektrische Anordnung verbessert, womit die Aufnahme in definierteren Zeitmomenten ausgeführt werden konnte. Diese Verfahren haben leider den grossen Nachteil, dass wegen der kurzen Funkendauer die Lichtmenge so gering ist.

Die Funkenkinematographie mit einem umlaufenden Spiegel⁷⁾ ist eine Abart der Zeitdehner, mit der nur verhältnismässig grosse Bildchen erzielt werden können. Bei diesem Verfahren treten vom Umlaufen des Spiegels herbeigeführte schädliche Bildfehler, teils Längenverzerrung durch Bewegung des Bildes, teils Umlaufungsverzerrung durch die Rotation des Bildes, auf. Wegen dieses Nachteiles ist dieses Verfahren auf Bildfrequenzen von ca. $50\,000\text{ s}^{-1}$ beschränkt, kann aber durch einen Kunstgriff, der später in Kapitel 6 theoretisch besprochen ist, erhöht werden.

Der optische Ausgleich mit einer Glastrommel⁸⁾ kann bei Bildfrequenzen bis ca. $2\,000\text{ s}^{-1}$ verwendet werden, die Bildgüte ist aber durch die Verzerrungen der Glastrommel, die von der Umdrehung verursacht werden, nicht so gut.

Für die Entwicklung des optischen Ausgleiches mit einem Spiegelkranz⁹⁾ muss man T. Suhara, N. Sato und S. Kamei¹⁰⁾ sehr dankbar sein, die zuerst elegante Apparate aufbauten, mit denen Bildfrequenzen bis $60\,000\text{ s}^{-1}$ endlich erfolgreich verwirklicht wurden. Doch kann dieses Verfahren noch wirksamer gestaltet werden, wenn es nach den in Kapitel 3 besprochenen Berechnungen entworfen wird: das verlangt nur ein Paar kleine Umänderungen der Einrichtung.

1) Vgl. Ziff. 11.

2) Vgl. Ziff. 11.

3) Vgl. Ziff. 10.

4) Vgl. Ziff. 8.

5) Vgl. Ziff. 5.

6) Vgl. Ziff. 6.

7) Vgl. Ziff. 7.

8) Vgl. Ziff. 10.

9) Vgl. Ziff. 8.

10) Vgl. (2) (19) u. (29).

Es hat auch den Nachteil, dass die Bildfehler ziemlich gross sind, so dass es für Apparate mittlerer und niedriger Bildfrequenz nicht verwendbar ist.

Um diese Schwierigkeiten zu besitigen, ist ein optischer Ausgleich mit einem Paar Zwillingspiegelkränzen¹⁾ zuerst in dieser Arbeit besprochen worden, durch den die optischen Fehler einwandfrei beseitigt werden. Das neuere Verfahren ist also sowohl für grosse Apparate höherer Bildfrequenz als auch für kleine tragbare niedriger Frequenz unvergleichlich geeignet. Es ist in Kapitel 5 aufs eingehendste erörtert.

Zum Schluss soll wiederum hervorgehoben werden, dass man den optischen Ausgleich mit Funkenbeleuchtung zusammenarbeiten lassen soll, damit die Nachteile von beiden, d.h. die Winzigkeit der Belichtungsmenge bzw. die der Beleuchtungsmenge, gleichzeitig beseitigt werden können und die Wirksamkeit des Optischen Ausgleiches unvergleichlich hinaufgebracht werden kann.

Nun sollen unsere Fragen in den nachfolgenden Kapiteln mit den vollkommenen Beweisen aufgelöst werden.

1) Vgl. Ziff. 9.

Kapitel 2.

ZEITDEHNER MIT SCHEIBBILDSCHALTER UND
ZAHNTROMMELN.

14. Vorbemerkung. Das Verfahren des Scheibbildschalters ist das einfachste unter allen Zeitdehnern und ist überall in verschiedenen Formen sehr oft aufgebaut worden. Leider ist seine Theorie bisher gänzlich vernachlässigt, vielleicht wegen der Einfachheit seiner Bauart. Es ist also mit wenig Mühe zu erreichen, die Lichtmenge der Belichtung um 30% ¹⁾ durch einfache Umänderungen des Apparates zu vermehren und dementsprechend die Wirksamkeit zu erhöhen, wie es durch die gegenwärtigen Forschungen bestätigt ist. Es muss der bisher vollständig missverständene Grundbegriff des Schlitzverschlusses berichtigt werden. Man muss vorher begreifen, dass der bisher benutzte Schlitzverschluss eine gleichmässige Belichtung auf der ganzen empfindlichen Schicht theoretisch nicht gewährleistet. Im allgemeinen steht die Umdrehungsachse des Scheibbildschalters senkrecht zur empfindlichen Schicht und die Ebene des Verschlusschlitzes parallel zu ihr; mithin schneidet der Verschlusschlitz die Lichtkegel, unabhängig vom Abstand von der Umdrehungsachse, mit Kreisen von demselben Halbmesser, und infolgedessen ist der Winkel, den die Tangenten, die vom Schnittpunkt an diese Kreise gelegt sind, miteinander bilden, je nach dem entsprechenden Abstand verschieden, z.B. $e_1 < e_2$, $\bar{\varphi}_1 > \bar{\varphi}_2$. Vergleiche Abb. 18.

Diese Tatsache zeigt, dass die Belichtungsdauer mit der Entfernung des Schnittkreises von der Umdrehungsachse des Bildschalters, d.h. mit e in Abb. 18, veränderlich ist. Je kürzer diese Entfernung ist, desto grösser ist dieser Winkel: je kleiner die Schlitzweite angenommen ist, um so mehr wird die Belichtungs-
menge vermindert.

Diese Beziehung pflegt bei den gewöhnlichen Kinoapparaten, solange sie mit dem Scheibbildschalter ausgerüstet sind, aufzutreten, kann aber wegen der verhältnismässig grossen Schlitzweite der Verschlüsse und der Unempfindlichkeit der empfindlichen Schicht gegen die Variationen der Belichtungsdauer kaum bemerkt werden. Dieses Phänomen ruft einen Verlust der Lichtmenge hervor, durch den die Wirksamkeit der Belichtung ziemlich herabgesenkt ist. Er ist besonders bemerkenswert bei den bisherigen optischen Ausgleichen mit einem Spiegelkranz, der zur Umdrehungsachse geneigte Spiegelflächen besitzt, die hier die Rolle des Verschlusschlitzes übernehmen, und der zahlreiche Aufnahmen je Sekunde ausführen muss. Vergleiche Ziff. 8 und Kapitel 3.

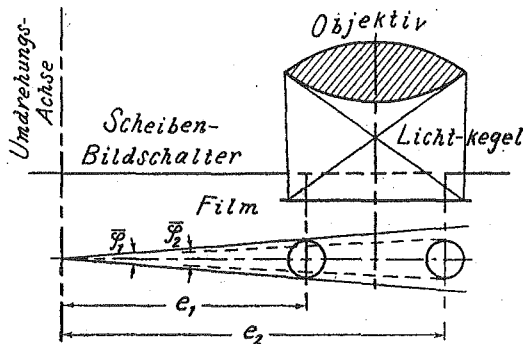


Abb. 18.

1) Vgl. (16).

Bei diesen Zeitdehnern sind zwei unentbehrliche Vorrichtungen im allgemeinen vorgesehen das Bildfenster, das meistens zum Zwecke der Bildpunktschärfung stark verengt¹⁾ ist, und der Bildschalterverschlusschlitz, der bisweilen zwecks Beseitigung der Bildverzerrung in der Bewegungsrichtung des Filmes auch verengt ist. Die empfindliche Schicht wird also bei der maximalen Öffnung des Objektivs durch den verengten Verschlusschlitz und zugleich das verengte Bildfenster belichtet, damit die Unschärfe des Bildpunktes und die durch die Bewegung des Filmes verursachte Verzerrung des Bildchens mit den Augen nicht bemerkbar sind.

Man hat bis heute ohne weitere Beweise die Zusammenwirkung dieser beiden überschätzt.

Diese Aufgaben müssen wesentlich vom Standpunkt der Blenden des optischen Systems erforscht werden. Das ist schon im voraus in Ziff. 4 aufklärt worden und soll hier theoretisch bewiesen werden.

Das Bildfenster ist kein Bildpunktschärfer sondern eine einfache Bildmaske, weil seine Stellung für die Bildrandmarkierung sehr geeignet ist aber gar nicht für die Regulation der Belichtungsdauer, durch die die Bildpunktschärfung und die Beseitigung der Bildverzerrungen erzielt werden können. Ausserdem verursacht die einfache Verengung des Bildfensters einen ungeheuren Verlust der nutzbaren Belichtungsmenge, weil sie zur Verengung direkt proportional ist. Dieses Verhältnis ist in Ziff. 19 ebensowie in Ziff. 29 theoretisch gezeigt. Beim betrachteten Beispiel beläuft sich der Belichtungsmengenverlust auf ca. 80%.

Der zwischen dem Objektiv und der Bildebene eingerichtete Bildschalterverschluss muss durch die Mitwirkung des neuerdings dicht hinter dem Objektiv ausgerüsteten Lichtfensters als Regulator der Belichtungsdauer wirken, weil seine Lage unter anderen dafür am geeignetesten ist. Nun kann die Wirksamkeit der Belichtung bis zum Maximum dadurch erhöht werden, dass man nach der Theorie, die in den folgenden Ziffern erörtert ist, die Ebene des Verschlusschlitzes in eine gewisse Richtung legt und eine neue durch zwei parallele Geraden begrenzte Blende dicht hinter dem Objektiv anstatt innerhalb des Objektivs einbaut und ihre Schlitzweiten so bestimmt, dass während einer bestimmten Belichtungsdauer die maximale Belichtungsmenge zugelassen werden kann. Diese neue Blende nennt man das „Lichtfenster“. Die Belichtungsdauer muss dabei natürlich so festgesetzt werden, dass sie keinen schädlichen Bildfehler herbeiführt.

Durch diese veränderten Anordnungen kann der oben besprochene Gedanke realisiert werden, nämlich, jeder Bildpunkt auf dem Film kann ganz gleichmässig während einer bestimmten Belichtungsdauer belichtet und ausreichend deutlich innerhalb der zulässigen Bildfehler abgebildet, die Ränder des Bildes können gut markiert werden und ausserdem kann die Maximal-Wirksamkeit der Belichtung realisiert werden.

Bei den Zeitdehnern, von denen eine höhere Aufnahmezahl je Sekunde ge-

1) Vgl. (6) u. (16).

fordert wird, werden grosse Mengen Elektrizität für die Beleuchtung verbraucht. Könnte man davon einige zehn Prozente, ohne Abänderungen des Objektivs, der Bildfehler und des gesammten Belichtungs-effektes, einsparen, so wäre das schon ein grosser Vorteil und es könnten mehr Bildchen mit derselben Lichtquelle aufgenommen werden, soweit der Mechanismus die Beanspruchung aushält.

Dies wird wirklich in der gegenwärtigen Arbeit mit exakten Beweisen bewerkstelligt. Die Theorie ist etwas mühevoll, ihre Gründe können aber in den folgenden Kapitel 3 und 4 leicht aufgefasst werden. Wie schon gesagt, ruft nämlich die Neigung der Spiegelflächen zur Umdrehungsachse eine ungleichmässige Belichtung der empfindlichen Schicht hervor und setzt infolgedessen die Wirksamkeit der Belichtung herab. Es folgt aus der in Ziff. 19 erörterten Theorie, dass der Belichtungsmengenverlust 23,5 % bei einem Apparat, der nach einer unexakten Theorie¹⁾ entworfen ist, und ca. 80 % bei einem weltbekannten Apparat beträgt.

Die Theorie des Bildschalter-schlitzverschlusses und die der Maximal-Wirksamkeit der Belichtungsmenge, die in Ziff. 16, 17, 18, 19, 28 und 29 erörtert sind, sind zwei Hauptthemen der gegenwärtigen Arbeit.

15. Über die Belichtungsdauer und die Bildfrequenz. Man muss zwischen der Belichtungsdauer eines Bildpunktes und der eines ganzen Bildchens genau unterscheiden, die oft miteinander verwechselt werden. Die letztere muss so bemessen sein, dass man während ihres Verlaufes eine Veränderung der zu beobachtenden Erscheinung bemerken kann. Deshalb muss die Bildfrequenz natürlich beträchtlich kleiner als die Reziproke der Belichtungsdauer festgesetzt werden. Die Pause zwischen zwei aufeinander folgenden Aufnahmen muss also viel grösser sein als die einzelne Belichtungsdauer. Um die gegenwärtige Aufgabe genau zu verstehen, muss man die vorhandenen Umstände eingehend theoretisch besprechen.

Setzt man voraus, dass der Verschlusschlitz und das Bildfenster dicht vor der empfindlichen Schicht angeordnet sind, und bezeichnet man die Lichtweite des Bildfensters, durch das die empfindliche Schicht beim Abrollen des Verschlusschlitzes belichtet wird, mit w , die Lichtweite des Verschlusschlitzes mit W , die Belichtungsdauer eines einzelnen Bildpunktes in Sekunden mit t , die eines ganzen Bildchens in Sekunden mit T , das Verhältnis T/t mit κ , die Ablaufgeschwindigkeit des Verschlusschlitzes mit V , die Bildfrequenz je Sekunde mit n , und das Produkt nT mit $\bar{n}$, so ergeben sich

$$t = \frac{W}{V} \quad (13a), \quad T = \frac{w+W}{V} \quad (13b)$$

$$\kappa = \frac{T}{t} = \frac{w+W}{W} \quad (13c), \quad n = \bar{n}T^{-1} \quad (13d)$$

1). Vgl: (16).

und hierin soll die Konstante $\bar{n}$ nach dem oben gesagten die Bedingung (15) erfüllen.

$$\kappa \leq 2 \quad (14), \quad \bar{n} \leq \frac{1^1)}{2} \quad (15)$$

Der in (14) angegebene Wert von κ beruht auf der Theorie der Maximal-Wirksamkeit der Belichtungsmenge, bewiesen später in Ziff. 19. Deswegen ist (74) mit (14) identisch. Vergleiche sie auch mit Gl. (71) bis (79) und Abb. 24a,b,c, woraus sie ursprünglich abgeleitet ist.

Die Bedingung (15) beruht darauf, dass die Belichtungsdauer eines ganzen Bildchens weder die Reziproke der Bildfrequenz noch die Pause zwischen zwei aufeinander folgenden Aufnahmen überschreiten darf, weil der Erscheinungszustand während der Belichtungsdauer des ganzen Bildchens sich nur unmerkbar ändern soll und genügend Zeit vergehen muss, in der der Erscheinungszustand sich für die nächste Aufnahme merklich ändern kann.

Die Deutlichkeit eines einzelnen Bildpunktes kann nur mit t kontrolliert werden und t darf zu nichts Anderem mehr verpflichtet sein. Deshalb muss die Belichtungsdauer eines Bildchens mit T bezeichnet werden. Man pflegt leider bisher t die Belichtungsdauer eines ganzen Bildchens zu nennen und T gänzlich ausser Betracht zu lassen. Es gibt einen grossen Unterschied zwischen t und T . Die beiden dürfen nicht vermischt werden, weil T eine für die Praxis wichtigere Bedeutung als das andere hat. Diesen Unterschied erklären die folgenden beiden Beispiele ausreichend:

Beispiel 1. Setzt man $w = 4,72$ mm, $W = 1,50$ mm und $V = 540\,000$ mm s⁻¹, so ergeben sich nach (13a,b,c,d).

$$t = \frac{1}{360\,000} \text{ s} \quad (16a), \quad T = \frac{1}{86\,820} \text{ s} \quad (16b),$$

$$\kappa = 4,147 \quad (16c), \quad n = 86\,820 \bar{n} \text{ s} \quad (16d)$$

Mithin wird nach (16d) und (15)

$$\bar{n} = \frac{1}{3}, \quad n = 28\,940 \text{ s}^{-1}. \quad (16e)$$

Dagegen war

$$n = 115\,000 \text{ s}^{-1}, \quad \bar{n} = 1,325 \quad (16f)$$

vom Entwerfer für die entsprechenden Elemente angegeben²⁾ und können aus unseren Gleichungen nicht abgeleitet werden. Es ist selbstverständlich ungültig dass (16e,f) den Bedingungen (14) und (15) widerstehen. Infolgedessen werden sechs Bildchen bei diesem Apparat gleichzeitig belichtet, die Bildfrequenz ist also irrtümlich so gross angegeben wie sie der Apparat nicht leisten kann.

1) Vgl. Ziff. 29 und Gl. (259).

2) Vgl. (2) (19) u. (29).

Beispiel 2. Setzt man $w = 4,72$ mm, $W = 1$ mm und $V = 270\,000$ mm s^{-1} , so folgen aus (13a,b, c,d) und (15)

$$t = \frac{1}{270\,000} s \quad (17a), \quad T = \frac{1}{47\,230} s \quad (17b),$$

$$\kappa = 5,72 \quad (17c), \quad n = 47\,230 \bar{n} s^{-1} \quad (17d),$$

$$\bar{n} = \frac{1}{3}, \quad n = 15\,740 s^{-1}. \quad (17e)$$

In den weltbekanntesten Apparaten ¹⁾ ist

$$n = 60\,000 s^{-1}, \quad \bar{n} = 1,271 \quad (17f)$$

anstatt des Wertes aus (15) angenommen. Es sind die beiden wichtigen Bedingungen (14) und (15) auch nicht erfüllt, infolgedessen werden zwei aufeinander folgende Bildchen an den Enden gleichzeitig belichtet werden müssen und es wurde von der Bildfrequenz auch zu viel erwartet.

Man sieht also aus diesen Beispielen, dass man bisher die Bildfrequenz, ohne Rücksicht auf die Bedingungen (14) und (15) bzw. die Fähigkeit des Apparates, zu überschätzen pflegt. Man muss daher T als die normale Belichtungsdauer des ganzen Bildchens anstatt t benennen.

Es ist wichtig zu beachten, dass κ und $\bar{n}$ die Leistungsfähigkeit des Apparates entscheidend beeinflussen. Nach den in Ziff. 19 gezogenen Folgerungen wird der Bereich

$$1, 2 \leq \kappa \leq 2 \quad (18)$$

für κ und

$$\frac{1}{100} \leq \bar{n} \leq \frac{1}{2} \quad (19)$$

für $\bar{n}$ empfohlen.

16. Schlitzverschluss 1. Hier soll der ideale Schlitzverschluss, der in Ziff. 14 schon erwähnt wurde, mit einer exakten Rechnung erörtert werden. In Abb. 19 bezeichnet man den Mittelpunkt des Filmes mit F_0 , einen beliebigen Bildpunkt auf dem Film mit F , die vom Strahlenbündel und von der letzteren Linsenfläche des Objektivs gebildete Durchschnittsebene mit $H_1 Z'_0 H_4$, das Zentrum von $H_1 Z'_0 H_4$ mit Z'_0 , die zwei Halbmesser von $H_1 Z'_0 H_4$ mit $H_1 Z'_0$ bzw. $H_4 Z'_0$, die von der Lichtfenstersebene und dem Lichtkegel $H_1 F H_4$ gebildete Durchschnittsebene mit $L' Z L$, das Zentrum von $L' Z L$ mit Z , die Umdrehungsachse des Bildschalters mit OK , den zur Achse OK senkrecht stehenden Bildschalter mit OS , die von der Bildschalterebene OS und dem Lichtkegel LFL' gebildete Durchschnittselipse mit $\bar{E}\bar{E}\bar{E}'$, das Zentrum der Ellipse $\bar{E}\bar{E}\bar{E}'$ mit E , den von der durch E zur Ebene LL' parallelen Ebene und dem Lichtkegel LFL' gebildeten Durch-

1) Vgl. (18).

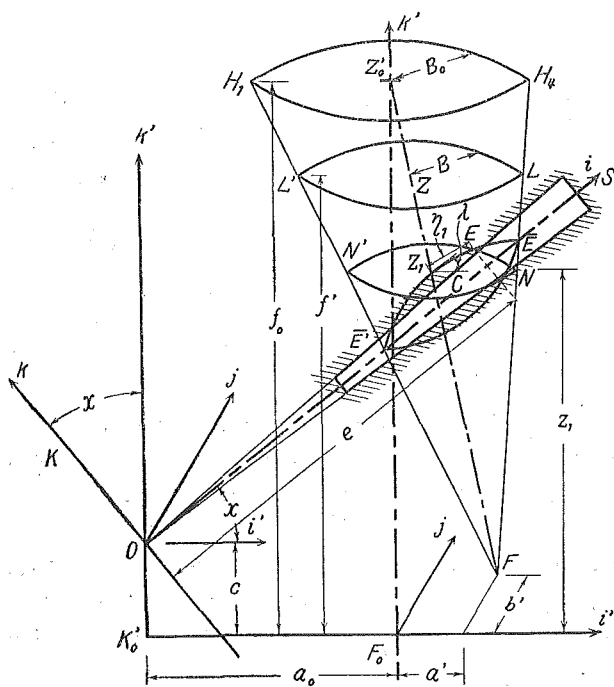


Abb. 19.

schnittskreis mit NE_0N' , das Zentrum von NE_0N' mit Z_1 , eine durch O zu F_0Z parallel gezeichnete Gerade mit $K'O$ und den Durchschnittspunkt von $K'O$ und der Ebene F_0F mit K'_0 . Man setzt voraus dass Z'_0 , Z und F auf derselben Geraden Z'_0 , Z , L , L' , F_0 , O , K , S , K' und K'_0 in derselben Ebene liegen und die Ebenen $H_1Z_0H_4$, $L'ZL$ und $K'F_0F$ miteinander parallel sind. Man nimmt die orthogonalen Dreibeine i, j, k und i', j, k' in den Richtungen $\overline{OS}$, $\overline{Oj}$, $\overline{OK}$ bzw. $\overline{K'_0F_0}$, $\overline{Oj}$, $\overline{K'_0O}$ nach einem Rechtssystem und O als der Koordinatenanfang an. Bezeichnet man die Masszahlen von Z in Bezug auf die Dreibeine i', j, k' mit a_0 , O , $f'-c$,

die von F mit a_0+a' , b' , $-c$, $\widehat{Z_1E}$ mit η_1 , den Abstand zwischen E und der Ebene F_0F mit z_1 , $\widehat{NZ_1E}$ mit λ , den zwischen $\overline{F_0Z_0}$ und $\overline{OK}$ gebildeten Winkel mit χ und den Vektor des Punktes E , d.h. $\overline{OE}$ mit e , wird

$$e = \left\{ a_0 + \frac{f'-z_1}{f'} a' + \eta_1 \cos \lambda \right\} i' + \left\{ \frac{f'-z_1}{f'} b_1 + \eta_1 \sin \lambda \right\} j + (z_1 - c) k'. \quad (20)$$

Da die Beziehungen :

$$i' = \cos \chi i - \sin \chi k \quad (21a)$$

$$j = j \quad (21b)$$

$$k' = \sin \chi i + \cos \chi k \quad (21c)$$

zwischen i, j, k und i', j, k' bestehen, so wird

$$\begin{aligned} e = & \left[\left\{ a_0 + \frac{f'-z_1}{f'} a' + \eta_1 \cos \lambda \right\} \cos \chi + (z_1 - c) \sin \chi \right] i \\ & + \left\{ \frac{f'-z_1}{f'} b_1 + \eta_1 \sin \lambda \right\} j \\ & + \left[- \left\{ a_0 + \frac{f'-z_1}{f'} a' + \eta_1 \cos \lambda \right\} \sin \chi + (z_1 - c) \cos \chi \right] k. \end{aligned} \quad (22)$$

Weil der Punkt E in der i, j -Ebene liegt, so entsteht nach (22)

$$-\left\{a_0 + \frac{f' - z_1}{f'} a' + \eta_1 \cos \lambda\right\} \sin \chi + (z_1 - c) \cos \chi = 0. \quad (23)$$

Bezeichnet man den Halbmesser des Durchschnittskreises $L'ZL$ mit B , so ergibt sich

$$\eta_1 = \frac{z_1}{f'} B. \quad (24)$$

Somit entsteht nach (23) und (24)

$$\frac{z_1}{f'} \left\{ f' + a' \tan \chi - B \tan \chi \cos \lambda \right\} = (a_0 - a') \tan \chi + c. \quad (25)$$

Mithin ist nach (22) (23) und (25)

$$\begin{aligned} e &= (z_1 - c) \operatorname{cosec} \chi i + \frac{(f' - z_1) b_1 + B z_1 \sin \lambda}{f'} j \\ &= \frac{a_0 f' + a' (f' - c) + B c \cos \lambda}{f' + a' \tan \chi - B \tan \chi \cos \lambda} \sec \chi i \\ &\quad - \frac{\{f' - a_0 \tan \chi - B \tan \chi \cos \lambda - c\} b_1 + \{(a_0 + a') \tan \chi + c\} B \sin \lambda}{f' + a' \tan \chi - B \tan \chi \cos \lambda} j. \quad (26) \end{aligned}$$

Nun betrachte man die Gerade $\overline{OE}$ als eine Kante des Verschlussschlitzes und überlege die Wirksamkeit der Belichtungsmenge. Die Belichtungsmenge, die durch den Verschlussschlitz auf die empfindlichen Schicht trifft, ist je nach der Lage des Bildpunktes F , sehr veränderlich. Will man sie unabhängig von der Lage konstant halten, so muss das Verhältnis $\frac{e \cdot j}{e \cdot i}$ von a' unabhängig und λ in allen Punkten möglichst konstant gehalten werden, während das Verhältnis, $\overline{F_0 F}$ / (der projizierte Abstand von $\overline{OF}$ in der i, j -Ebene) konstant ist.

Es müssen also die Bedingungen gleichzeitig erfüllt sein:

$$\frac{b_1}{(a_0 + a') \cos \chi - c \sin \chi} = \text{konst}, \quad (27a)$$

$$\frac{\partial}{\partial a} \left\{ \frac{e \cdot j}{e \cdot i} \right\} = 0, \quad (27b)$$

$$\frac{\partial}{\partial \lambda} \left\{ \frac{e \cdot j}{e \cdot i} \right\} = 0, \quad \psi = \text{konst}. \quad (27c)$$

Folglich ergibt sich in den Punkten, $b_1 = 0$, nach (26) und (27b)

$$\tan \chi \{a_0 f' + a' (f' - c) + B c \cos \lambda\} - \{(a_0 + a') \tan \chi + c\} (f' - c) = 0,$$

d.h.

$$c = 0, \quad (28)$$

Nimmt man einen Punkt r auf jeder Kante des Verschlussschlitzes an und bezeichnet man den Abstand $\overline{Or}$ mit r , den Vektor von $\overline{Or}$ mit $\mathbf{r}$, den in 0 gebildeten Zentriwinkel der Verschlussschlitzweite mit 2φ , die Mittellinie des Verschlussschlitzes mit $\overline{OM}$ und die Abweichung von $\overline{OM}$ in Bezug auf die i, k -Ebene oder die i -Achse mit ψ , so besteht

$$\mathbf{r} = r \cos(\psi \pm \varphi) \cos \chi \mathbf{i}' + r \sin(\psi \pm \varphi) \mathbf{j} + r \cos(\psi \pm \varphi) \sin \chi \mathbf{k}' . \quad (33)$$

Bezeichnet man die Projektion des Punktes r , die von den durch F gehenden Strahlen auf der Ebene LL' gebildet ist, mit R , den Vektor von $\overline{OR}$ mit $\mathbf{R}$ und den Vektor von $\overline{OF}$ mit $\mathbf{F}$, so ergibt sich

$$\mathbf{R} = \mathbf{r} - \frac{f' - r \cos(\psi \pm \varphi) \sin \chi}{r \cos(\psi \pm \varphi) \sin \chi} \langle \mathbf{F} - \mathbf{r} \rangle , \quad (34a)$$

d.h. nach (33)

$$\begin{aligned} \mathbf{R} = & \left\{ f' \cot \chi - \frac{f' - r \cos(\psi \pm \varphi) \sin \chi}{r \cos(\psi \pm \varphi) \sin \chi} (a_0 + a') \right\} \mathbf{i}' \\ & + \left\{ f' \frac{\tan(\psi \pm \varphi)}{\sin \chi} - \frac{f' - r \cos(\psi \pm \varphi) \sin \chi}{r \cos(\psi \pm \varphi) \sin \chi} b_1 \right\} \mathbf{j} \\ & + f' \mathbf{k}' . \end{aligned} \quad (34b)$$

Bezeichnet man die projizierte Verschlussschlitzweite mit W_0 , so ist nach (34b)

$$\begin{aligned} W_0 &= \Delta \mathbf{R} \cdot \mathbf{j} \\ &= \frac{4f' \sin \varphi}{\sin \chi (\cos 2\psi + \cos 2\varphi)} \left\{ \cos \varphi + \sin \psi \frac{b_1}{r} \right\} . \end{aligned} \quad (35)$$

Da im allgemeinen gilt

$$\chi \leq \frac{3}{8} \pi , \quad |\psi| \leq \frac{1}{10} , \quad \varphi \leq \frac{1}{10} , \quad (36)$$

so werden (34b) und (35) bei Vernachlässigung der Glieder hoher Ordnung

$$\begin{aligned} \mathbf{R} = & \left\{ f' \cot \chi - \frac{f' - r \sin \chi}{r \sin \chi} (a_0 + a') \right\} \mathbf{i}' \\ & + \left\{ f' \frac{\psi \pm \varphi}{\sin \chi} - \frac{f' - r \sin \chi}{r \sin \chi} b_1 \right\} \mathbf{j} + f' \mathbf{k}' \end{aligned} \quad (37)$$

$$W_0 = \Delta \mathbf{R} \cdot \mathbf{j} = f' \frac{2\varphi}{\sin \chi} . \quad (38)$$

Nach (37) sind die projizierten Kanten zur i' -Achse annähernd parallel, solange allgemein (36) und

$$\frac{f'}{2} < r , \quad \frac{|a'|}{r} < \frac{1}{10} \quad (39)$$

gebildet ist, mit R und den Vektor von $\overline{OR}$ mit R , so wird

$$R = r - \frac{f' - r \sin \chi}{r \sin \chi} (F - r), \quad (42a)$$

d.h. nach (41).

$$R = \left\{ f' \cot \chi \cos (\phi \pm \varphi') - \frac{f' - r \sin \chi}{r \sin \chi} (a_0 + a') \right\} i' \\ + \left\{ f' \cot \chi \sin (\phi \pm \varphi') - \frac{f' - r \sin \chi}{r \sin \chi} b' \right\} j + f' k', \quad \varphi' = \varphi \sec \chi. \quad (42b)$$

Mithin ist die projizierte Verschlusschlitzweite aus (42b)

$$W_0 = \Delta R \cdot j \\ = 2f' \cot \chi \sin \varphi' \cos \phi; \quad \varphi' = \varphi \sec \chi. \quad (43)$$

Da im allgemeinen

$$\chi \leq \frac{3}{8}\pi, \quad |\phi| \leq \frac{1}{10}, \quad \varphi \leq \frac{1}{10} \quad (44)$$

gilt, so werden (42b) und (43) bei Vernachlässigung der Glieder hoher Ordnung

$$R = \left\{ f' \cot \chi - \frac{f' - r \sin \chi}{r \sin \chi} (a_0 + a') \right\} i' \\ + \left\{ f' \frac{\phi \pm \varphi'}{\tan \chi} - \frac{f' - r \sin \chi}{r \sin \chi} b' \right\} j + f' k', \quad \varphi' = \varphi \sec \chi, \quad (45)$$

$$W_0 = \Delta R \cdot j = f' \frac{2\varphi}{\sin \chi}. \quad (46)$$

Bezeichnet man die Ablaufsgeschwindigkeit des Verschlusschlitzes mit V , die des in die Ebene LL' projizierten mit V_0 , die Umdrehungszahl der Verschlusscheibe mit $\tilde{\omega}$ und den Differentialquotient nach der Zeit mit $\frac{\partial}{\partial t}$, so entsteht nach (45).

$$V = r \cos \chi \frac{\partial \phi}{\partial t} = 2\pi \tilde{\omega} r \cos \chi \\ V_0 = \frac{\partial (R \cdot j)}{\partial t} = \frac{f'}{r \sin \chi} V = 2\pi \tilde{\omega} f' \cot \chi. \quad (47)$$

Die letztere Gleichung sagt ganz dasselbe aus, wie (37) (38) und (40) in Ziff. 16. In den Formeln sind kleine Abweichungen vorhanden, die aber die Leistungsfähigkeit des Schlitzverschlusses nicht stören.

Der Beweis bestätigt dass das betrachtete Verschlusssystem ganz gleich, wie das in Ziff. 16 erörterte, leistet.

$$V'_0 = V_0 \frac{r \sin \chi}{f' - r \sin \chi} . \quad (50)$$

Bezeichnet man die Bildhöhe mit $2b$, die Bildbreite mit $2Aa$, den Flächeninhalt der wirksamen Öffnung des dicht hinter dem Objektiv eingerichteten Lichtfensters mit A , die Konstante der Belichtungsintensität mit μ und die gesammte Belichtungsmenge eines ganzen Bildchens mit L_0 , so ist

$$\begin{aligned} L_0 &= \mu A \tau 2Aa \cdot 2b \\ &= \mu A \frac{W_0}{V_0} 2Aa \cdot 2b . \end{aligned} \quad (51)$$

Da die Fortschrittsbewegung des projizierten Verschlussschlitzes auf der empfindlichen Schicht während $T-t$ dauert, so ergibt sich die Beziehung nach (50):

$$\begin{aligned} 2b &= V'_0(T-t) \\ &= V_0 \frac{r \sin \chi}{f' - r \sin \chi} (T-t) . \end{aligned} \quad (52)$$

Hiermit könnte L_0 einen Maximalwert in Bezug auf W_0 erreichen, während Aa , μ , A und V'_0 konstant gehalten werden.

Nämlich, durch die Bedingung:

$$\frac{\partial L_0}{\partial W_0} = 0 \quad (54)$$

ergäben sich nach (49)

$$T = t + \frac{W_0}{V_0} = \frac{2W_0 + w_0}{V_0} = \frac{2W_0 + w_0}{W_0 + w_0} t . \quad (55)$$

Bezeichnet man die Zahl der Verschlussschlitze auf der Verschlusscheibe mit m und die Umdrehungszahl der Verschlusscheibe mit $\tilde{\omega}$, so wird

$$\tilde{\omega} = \frac{n}{m} . \quad (56)$$

Nach (38) und (40), beziehungsweise (46) und (47) würden

$$W_0 = V_0(T-t) = \frac{mV_0}{2\pi n} 2\varphi ; \quad (57)$$

$$T = t + \frac{m}{2\pi n} 2\varphi . \quad (58)$$

Bezeichnet man den zulässigen Längenbildfehler mit ϵ_v und die Ablaufgeschwindigkeit des Filmes mit v , so werden

$$v = 2bn \quad (59)$$

$$T = \frac{\epsilon_v}{v} = \frac{\epsilon_v}{2bn} \quad (60)$$

und nach (13d)

$$\bar{n} = nT = n \frac{\varepsilon_v}{v} . \quad (61)$$

Nach (58b) und (60) würde

$$t = \frac{\varepsilon_v}{v} - \frac{m}{2\pi n} 2\varphi . \quad (62)$$

Bezeichnet man den Mittelwert von r mit r_0 , d.h.

$$r_0 = a_0 \sec \chi , \quad (63)$$

so entsteht aus (59) und (63)

$$r_0 \sin \chi = a_0 \tan \chi , \quad (64)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{2bf'}{V_0(T-t)+2b} \\ &= \frac{vf'}{V_0(T-t)n+2bn} . \end{aligned} \quad (65)$$

Es ist nun deutlich aufgeklärt dass die gesammte Belichtungsdauer T aus zwei Teilen besteht, d.h. t und $T-t$. Die beiden spielen die eigentliche Rolle: die Belichtung eines einzelnen Bildpunktes dauert t während der auf der empfindlichen Schicht projizierte Verschlusschlitz über die Bild-Länge innerhalb $T-t$ abrollt.

Der Abstand des Verschlusschlitzes von der Bildebene darf weder die Hälfte der Brennweite des Objectives noch χ den Winkel 45° überschreiten, d.h.

$$a_0 \tan \chi \leq \frac{f'}{2} ; \quad \tan \chi \leq 1 , \quad (66)$$

weil eine übermässige Grösse von a_0 ebenso wie eine von χ aus theoretischen und praktischen Gründen unerwünscht ist.

Aus diesem Grund muss T nach (52) und (66) in dem Bereich :

$$\frac{2b}{V_0} \leq (T-t) \leq t \quad (67)$$

möglichst klein angenommen werden, weil die gesammte Belichtungs-menge von $T-t$ gar nicht abhängig ist, wie (51) es zeigt, sondern nur von t und $2b$.

19. Maximal-Wirksamkeit der Belichtung eines einzelnen Bildpunktes.

Nach dem die Beziehung zwischen T und t in der vorstehenden Ziffer erörtert ist, wird in dieser Ziffer die zwischen W_0 und w_0 ¹⁾ untersucht.

1) Vgl. die am Rand in Ziff. 18 befindliche Anmerkung.

Siehe Abb. 23: es ist das Abbild der Lichtfensterebene LL' , die von Abb. 20 bzw. 21 teilweise herausgenommen wiedergegeben ist. $L_1L_2L_3L_4$ kennzeichnet das „Lichtfenster“, das dicht hinter dem

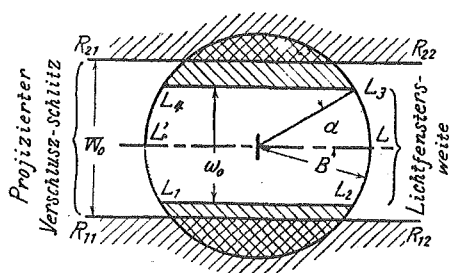


Abb. 23.

Objektiv als unentbehrliche Einrichtung eingebaut ist, mit der die während einer gewissen Belichtungsdauer durchgelassene Lichtmenge durch die Mitwirkung des Verschlusschlitzes maximale Werte annimmt. $R_{11}R_{12}R_{22}R_{21}$ stellt den von den durch einen beliebigen Bildpunkt hinaustretenden Lichtstrahlen auf die Lichtfensterebene projizierten Verschlusschlitz dar. Da im allgemeinen

das Lichtfenster zur optischen Achse des Objektivs senkrecht, d.h. zur Bildebene parallel, steht, so ist $L_1L_2L_3L_4$ in Bezug auf das Zentrum Z des Durchschnittskreises des Lichtkegels symmetrisch orientiert, derart dass die Lichtfensterkanten $\overline{L_1L_2}$ und $\overline{L_3L_4}$ miteinander parallel stehen. Die auf die Lichtfensterebene projizierten Verschlusschlitzkanten $\overline{R_{11}R_{12}}$ und $\overline{R_{21}R_{22}}$ sind auch miteinander parallel (vgl. Ziff. 16 und 17) und zu $\overline{L_1L_2}$ bzw. $\overline{L_3L_4}$ im Fall $b_1 = 0$ genau und im Fall $b_1 \neq 0$ annähernd parallel.

Bezeichnet man die Lichtfensterweite mit w_0 , die projizierte Verschlusschlitzweite mit W_0 , die Ablaufgeschwindigkeit des projizierten Verschlusschlitzes mit V_0 , die Belichtungsdauer eines einzelnen Bildpunktes mit $t = (w_0 + W_0)/V_0$ und die zugelassene wirksame Maximal-Belichtungsmenge mit L , so müssen w_0 und W_0 so ausgewählt werden, dass

$$\frac{\partial L}{\partial w_0} = 0, \quad t = \text{eine Konstante}$$

gilt.

Nimmt man das Zentrum des Durchschnittskreises des Lichtkegels in LL' als Z , seinen Halbmesser als B , die Abweichung von L_1, L_2, L_3 , und L_4 in Bezug auf die zwischen $\overline{L_1L_2}$ und $\overline{L_3L_4}$ stehende Zentrallinie als α , die Belichtungsdauer eines bestimmten Strahles als τ , den Flächeninhalt der Öffnung der dicht hinter dem Objektiv eingerichteten neuen Blende als A , die dadurch herausgekommene Belichtungsmenge eines einzelnen Bildpunktes als L und die Belichtungsintensität eines Bildpunktes als μ an, so entstehen

$$w_0 = 2B \sin \alpha, \quad (68)$$

$$\begin{aligned} L &= \mu A \tau = 2\mu \tau B^2 \int_0^\alpha 2 \cos \alpha d(\sin \alpha) \\ &= \mu B^2 \{2\alpha + \sin 2\alpha\} \tau \\ &= \mu B^2 \left\{ 2 \sin^{-1} \frac{w_0}{2B} + \sin \left(2 \sin^{-1} \frac{w_0}{2B} \right) \right\} \left(t - \frac{w_0}{V_0} \right) \\ &= 2\mu B^2 \{ \sin^{-1} x + x \sqrt{1-x^2} \} \left(t - \frac{2B}{V_0} x \right), \quad x = \frac{w_0}{2B}. \end{aligned} \quad (69)$$

Hier müssen die Lichtfenstersweite w_0 und die Verschlusschlitzweite W_0 so bestimmt werden, dass die ausnutzbare Belichtungsmenge einen Maximalwert bei einem konstanten Wert von t und V_0 erreicht.

Setzt man $\frac{\partial L}{\partial w_0} = 0$, so folgt aus (69)

$$\frac{\partial L}{\partial w_0} = 2\sqrt{1-x^2} \left(t - \frac{2B}{V_0} x \right) \{ \sin^{-1} x + x\sqrt{1-x^2} \} \frac{2B}{V_0} = 0, \quad (70)$$

so ergeben sich nach (49) (69) und (70)

$$\frac{W_0 + w_0}{2B} = \frac{V_0 t}{2B} = \frac{\sin^{-1} x + 3x\sqrt{1-x^2}}{2\sqrt{1-x^2}}, \quad (71)$$

$$\frac{w_0}{2B} = x, \quad (72)$$

$$\frac{W_0}{2B} = \frac{\sin^{-1} x + x\sqrt{1-x^2}}{2\sqrt{1-x^2}}, \quad (73)$$

$$\frac{w_0}{W_0 + w_0} = \frac{w_0}{V_0 t} = \frac{2x\sqrt{1-x^2}}{\sin^{-1} x + 3x\sqrt{1-x^2}}, \quad (74)$$

$$\begin{aligned} \frac{W_0}{W_0 + w_0} &= \frac{W_0}{V_0 t} = \frac{\tau}{t} \\ &= \frac{\sin^{-1} x + x\sqrt{1-x^2}}{\sin^{-1} x + 3x\sqrt{1-x^2}}, \end{aligned} \quad (75)$$

$$\frac{L}{\mu B^2 t} = 2 \frac{\{ \sin^{-1} x + x\sqrt{1-x^2} \}^2}{\sin^{-1} x + 3x\sqrt{1-x^2}}, \quad (76)$$

$$\frac{\frac{L}{\mu B^2 t}}{\frac{V_0 t}{2B}} = \frac{2L}{\mu B V_0 t^2} = 4\sqrt{1-x^2} \left\{ \frac{\sin^{-1} x + x\sqrt{1-x^2}}{\sin^{-1} x + 3x\sqrt{1-x^2}} \right\}^2, \quad (77)$$

$$\frac{\frac{L}{\mu B^2 t}}{\frac{w_0}{2B}} = \frac{2L}{\mu B w_0 t} = 2 \frac{\{ \sin^{-1} x + x\sqrt{1-x^2} \}^2}{x \{ \sin^{-1} x + 3x\sqrt{1-x^2} \}}, \quad (78)$$

$$\frac{W_0}{w_0} = \frac{\sin^{-1} x + x\sqrt{1-x^2}}{2x\sqrt{1-x^2}}. \quad (79)$$

Wenn ausser t und μ zwei Elemente unter B , w_0 , W_0 , V_0 , τ und L beim Entwurf eines Zeitdehners gegeben sind, so können die übrigen aus den obigen Gleichungen gefunden werden. Die Gleichung (77) stellt die relative Wirksam-

keit der benützbaeren Beleuchtungsmenge in Bezug auf die gesammte Öffnung $W_0 + w_0$, (78) die in Bezug auf w_0 und (79) das Verhältnis W_0/w_0 dar.

Zum Zweck des Entwurfs sind die numerischen Verhältnisse dieser Elemente durch die Kurven in Abb. 24a,b,c angegeben, worin $\sin^{-1} x$ als Abscisse und die anderen als Ordinaten gezeichnet sind.

Die Zahlen der Kurven beziehen sich auf die Gleichungen.

Um zu sehen, wie die nutzbare Belichtungsmenge abnimmt, wenn man von obigen Gleichungen abgeht, sollen zwei Beispiele vorgeführt werden.

Im ersten Beispiel soll

$$x = 1, \quad w_0 = 2B, \quad (80a)$$

genommen werden. Es folgt dann nach (69)

$$\frac{L}{\mu B^2 t} = \pi \left\{ 1 - \frac{2B}{W_0 + w_0} \right\} \quad (80b)$$

Im zweiten Beispiele gelte

$$w_0 = W_0 \quad (81a)$$

Wenn man t , V_0 und B nicht ändert, so entsteht nach (69)

$$\frac{L}{\mu B^2 t} = \sin^{-1} y + y \sqrt{1 - y^2}, \quad y = \frac{W_0 + w_0}{4B} = \frac{V_0 t}{4B}. \quad (81b)$$

In Abb. 24a,b,c sind die Verhältnisse von (80b) und (81b) zu (76) auch mit den Gleichungsnummern bezeichnet: sie müssen auf der rechten Skala abgelesen werden.

Beispiel. Sei $w_0/2B = 1$ und $W_0/2B = 0,5$ ¹⁾, so ist $(W_0 + w_0)/2B = 1,5$: folglich wird nach der Kurve (80b), Abb. 24b, $\frac{(80b)}{(76)} = 0,765$.

Das Resultat zeigt einen Lichtmengenverlust von 23,5%. Dies weist deutlich auf den Irrtum der in (16) erörterten Theorie über die Maximal-Wirksamkeit der Belichtungsmenge.

20. Zusammenfassung der Elemente. Hier sollen die Elemente mit Beispielen für die Zwecke des Entwurfs zusammengestellt werden:

Zuerst müssen:

$$v = 2bn \quad (59), \quad T = \frac{\varepsilon_v}{v} \quad (60),$$

$$\bar{n} = nT = n \frac{\varepsilon_v}{v}, \quad (61)$$

wo $\bar{n}$ die Ungleichung

$$\frac{1}{100} \leq \bar{n} \leq \frac{1}{2} \quad (19)$$

zu erfüllen hat.

Setzt man

$$x = \frac{w_0}{2B}, \quad (72)$$

so können aus Abb. 24a,b,c, Ziff. 19, die Beziehungen zwischen den Elementen:

$$B, W_0, w_0, V_0, t$$

1) Vgl. (16).

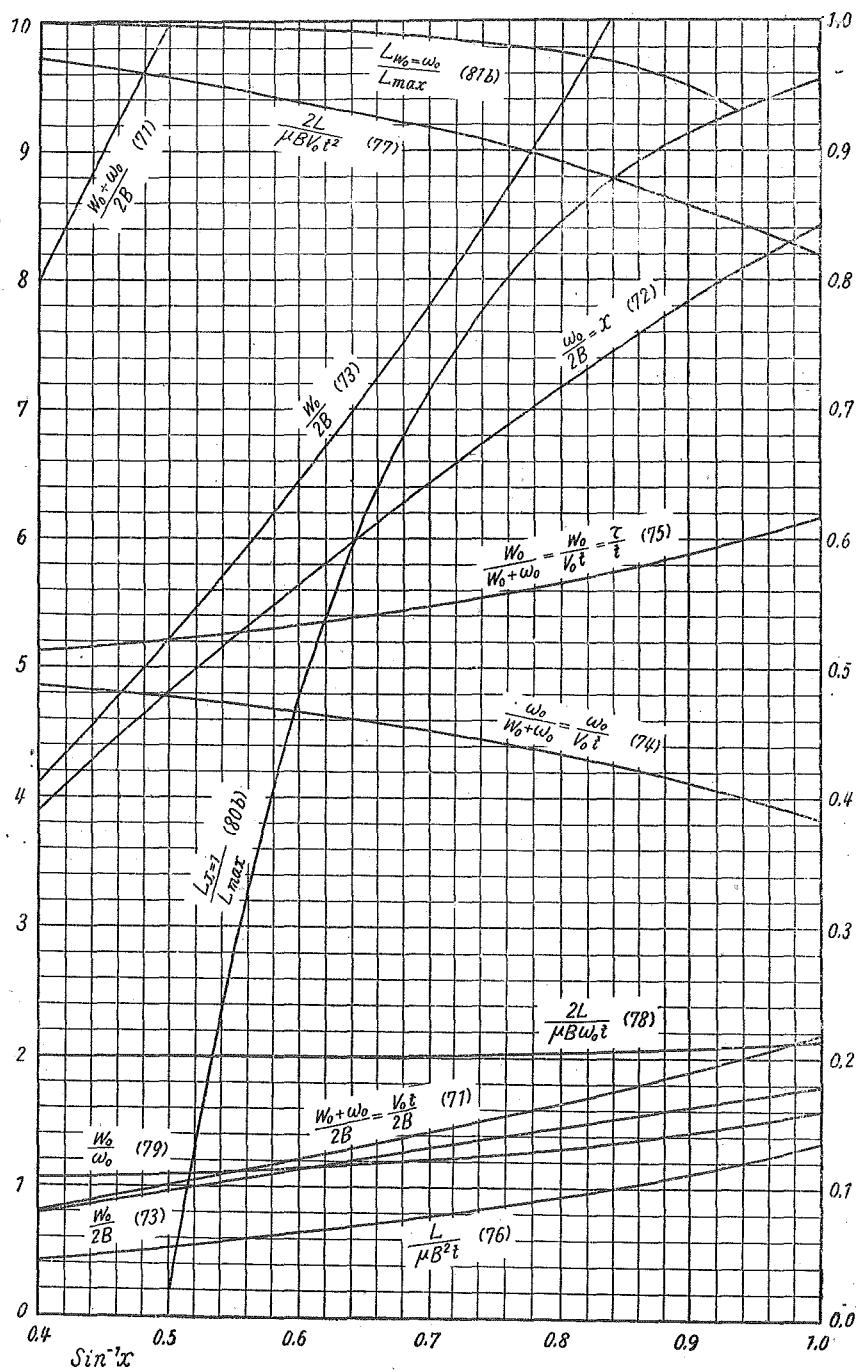


Abb. 24 b.

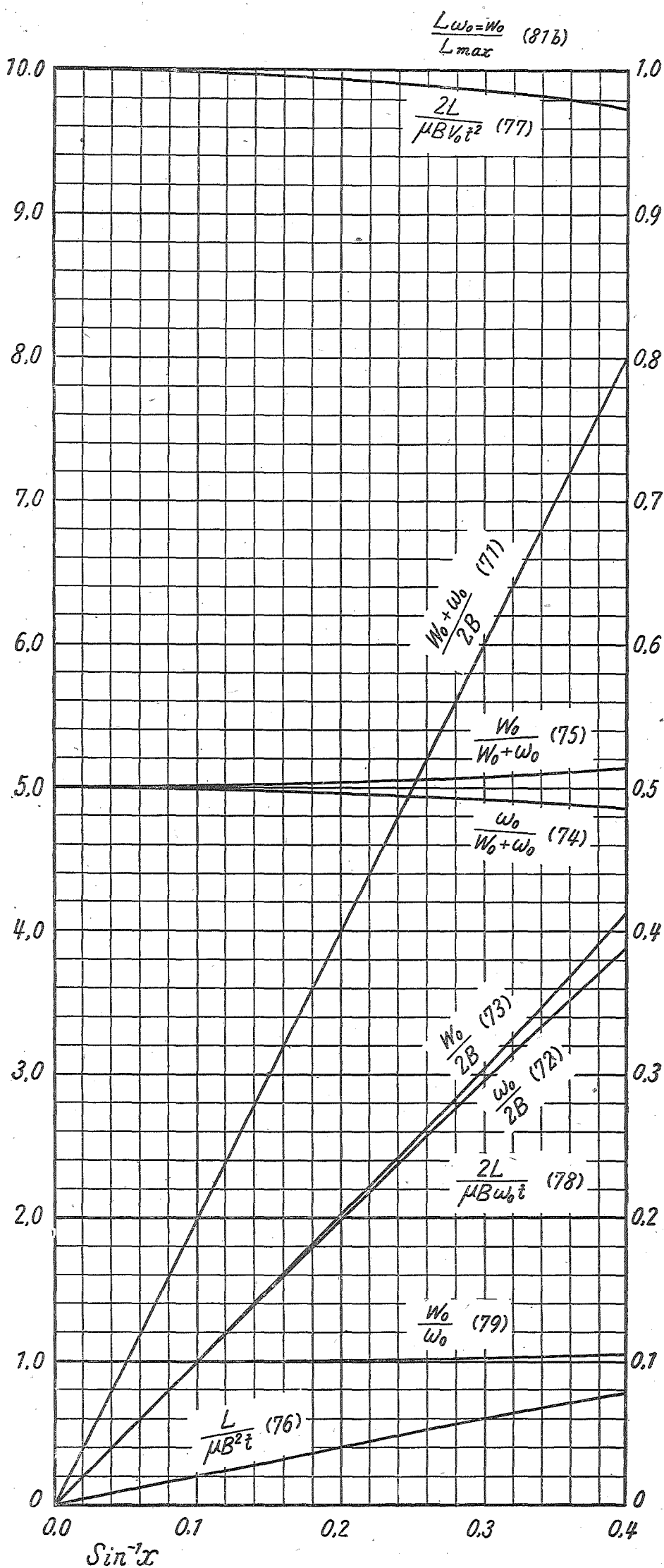


Abb. 24 a.

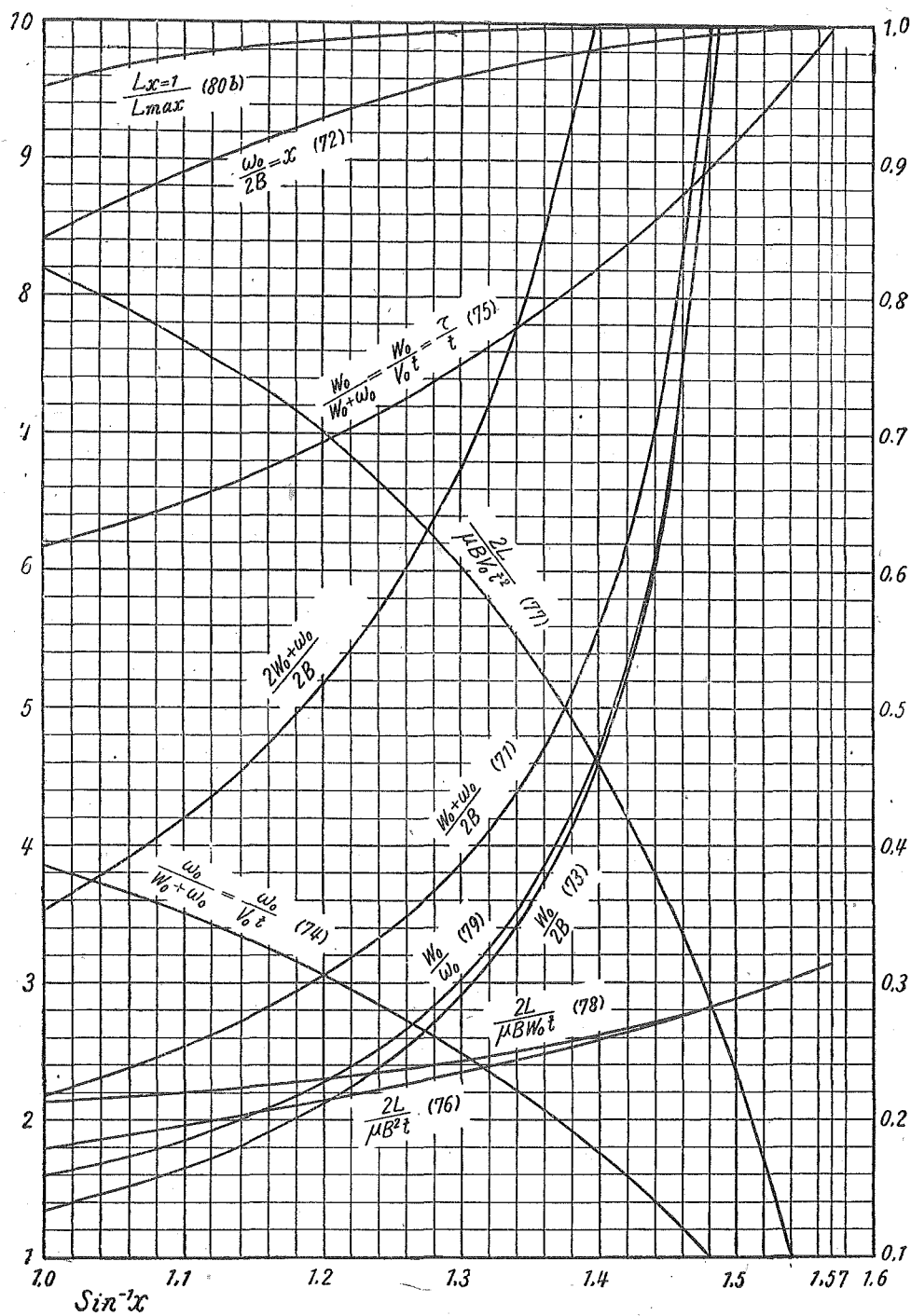


Abb. 24 c.

abgelesen werden, wo t im Bereich :

$$\frac{2b}{V_0} \leq (T-t) \leq t \quad (67)$$

möglichst gross angenommen werden muss.

Die Aufgaben dürfen nun in die vier folgenden eingeteilt werden :

Aufgabe 1. Ist $r_0 \sin \chi$ oder $a_0 \tan \chi$ ausser m und f' gegeben, so wird nach (52) (71) und (40) für den Verschluss 1

$$V_0 = \frac{W_0 + w_0}{2B} \frac{2B}{T} + \frac{f' - r_0 \sin \chi}{r_0 \sin \chi} \frac{2b}{T}, \quad (82, 1)$$

$$\sin \chi = \frac{2\pi n}{m} \frac{f'}{V_0}, \quad (83, 1)$$

$$r_0 = \frac{r_0 \sin \chi}{\sin \chi}, \quad (84, 1)$$

bzw. nach (52) (71) und (47) für den Verschluss 2

$$V_0 = \frac{W_0 + w_0}{2B} \frac{2B}{T} + \frac{f' - a_0 \tan \chi}{a_0 \tan \chi} \frac{2b}{T}, \quad (82, 2)$$

$$\tan \chi = \frac{2\pi n}{m} \frac{f'}{V_0}, \quad (83, 2)$$

$$a_0 = \frac{a_0 \tan \chi}{\tan \chi}. \quad (84, 2)$$

Aufgabe 2. Ist r_0 oder a_0 gegeben, so ergeben sich nach (65) (71) und (40) für den Verschluss 1

$$V_0 = \frac{\frac{W_0 + w_0}{2B} 2B - 2b}{T - \frac{m}{2\pi n} \frac{2b}{r_0}} \quad (85, 1)$$

$$\sin \chi = \frac{2\pi n}{m} \frac{f'}{V_0}, \quad (86, 1)$$

bzw. nach (65) (71) und (47) für den Verschluss 2

$$V_0 = \frac{\frac{W_0 + w_0}{2B} 2B - 2b}{T - \frac{m}{2\pi n} \frac{2b}{a_0}} \quad (85, 2)$$

$$\tan \chi = \frac{2\pi n}{m} \frac{f'}{V_0}. \quad (86, 2)$$

Mithin ist nach (71)

$$t = \frac{W_0 + w_0}{2B} \frac{2B}{V_0} \quad (87)$$

Aufgabe 3. Ist x gegeben, so wird nach (65) und (40) für den Verschluss 1

$$V_0 = \frac{2\pi n}{m} \frac{f'}{\sin \chi} \quad (88, 1)$$

$$r_0 = \frac{1}{\sin \chi} \frac{2bf'}{V_0 T - \frac{W_0 + w_0}{2B} 2B + 2b}, \quad (89, 1)$$

bzw. nach (65) und (47) für den Verschluss 2

$$V_0 = \frac{2\pi n}{m} \frac{f'}{\tan \chi} \quad (88, 2)$$

$$a_0 = \frac{1}{\tan \chi} \frac{2bf'}{V_0 T - \frac{W_0 + w_0}{2B} 2B + 2b} \quad (89, 2)$$

Mithin ist nach (71)

$$t = \frac{W_0 + w_0}{2B} \frac{2B}{V_0} \quad (87)$$

Aufgabe 4. Ist nun t gegeben, so wird nach (71) (65) und (40) für den Verschluss 1

$$V_0 = \frac{W_0 + w_0}{2B} \frac{2B}{t} \quad (90, 1)$$

$$\sin \chi = \frac{2\pi n}{m} \frac{f'}{V_0} \quad (91, 1)$$

$$r_0 = \frac{1}{\sin \chi} \frac{2bf'}{V_0 T - \frac{W_0 + w_0}{2B} 2B + 2b}, \quad (92, 1)$$

bzw. nach (71) (65) und (47) für den Verschluss 2

$$V_0 = \frac{W_0 + w_0}{2B} \frac{2B}{t} \quad (90, 2)$$

$$\tan \chi = \frac{2\pi n}{m} \frac{f'}{V_0} \quad (91, 2)$$

$$a_0 = \frac{1}{\tan \chi} \frac{2bf'}{V_0 T - \frac{W_0 + w_0}{2B} 2B + 2b} \quad (92, 2)$$

Aus Sicherheitsgründen muss im allgemeinen für die Verschlussscheibe die Bedingung

$$m > 1 \quad (93)$$

erfüllt sein. Für die Bequemlichkeit der Einrichtung muss die Bedingung:

$$\chi \leq \frac{\pi}{4} \quad (36) \quad (44)$$

befriedigt werden.

Nun werden nach (56) (38) und (46)

$$\tilde{\omega} = \frac{n}{m} \quad (56)$$

$$2\varphi = \frac{W_0}{f'} \sin \chi \quad (94)$$

$$W' = 2\varphi r_0, \quad (95, 1)$$

bzw.

$$W' = 2\varphi a_0 \sec \chi. \quad (95, 1)$$

Hier bedeutet die Decimalzahl der Gleichungsnummer die der Verschlüsse, die in Ziff. 16 oder 17 erörtert sind. Sie gibt also den Typus des Verschlusses.

Beispiel 1. Setzt man	Beispiel 2. Setzt man
$2b = 4,72 \text{ mm}$	$2b = 4,72 \text{ mm}$
$n = 200 \text{ s}^{-1}$	$n = 200 \text{ s}^{-1}$
$m = 2$	$m = 2$
$f' = 150 \text{ mm}$	$f' = 150 \text{ mm}$
$2B = 50 \text{ mm}$	$2B = 50 \text{ mm}$
$\varepsilon_v = \pm 0,05 \text{ mm}$	$\varepsilon_v = \pm 0,05 \text{ mm}$
$w_0 = 25 \text{ mm}$	$w_0 = 25 \text{ mm}$
$r_0 \sin \chi = 25 \text{ mm},$	$r_0 = 225 \text{ mm},$
so werden	so werden
$v = 944 \text{ mm}$	$v = 944 \text{ mm}$
$T = \frac{1}{18\,880} \text{ s}$	$T = \frac{1}{18\,880} \text{ s}$
$\bar{n} = \frac{1}{90}$	$\bar{n} = \frac{1}{90}$
$\frac{w_0}{2B} = x = 0,5$	$\frac{w_0}{2B} = x = 0,5$
$\frac{W_0}{2B} = 0,55$	$\frac{W_0}{2B} = 0,55$
$V_0 = 1\,437\,000 \text{ mm s}^{-1}$	$V_0 = 1\,792\,000 \text{ mm s}^{-1}$

Beispiel 1.

$$\sin \chi = \frac{1}{15,25}$$

$$r_0 = 381,2 \text{ mm}$$

$$t = \frac{1}{27\,370} \text{ s}$$

$$\tilde{\omega} = 100 \text{ s}^{-1}$$

$$2\varphi = \frac{1}{83,2}$$

$$= 28,6 \text{ min}$$

$$W' = 2,98 \text{ mm}$$

Beispiel 2.

$$\sin \chi = \frac{1}{19,01}$$

$$t = \frac{1}{34\,130} \text{ s}$$

$$\tilde{\omega} = 100 \text{ s}^{-1}$$

$$2\varphi = \frac{1}{96,44}$$

$$= 33,2 \text{ min}$$

$$W' = 2,17 \text{ mm}$$

Alle Elemente können hierdurch sehr genau bestimmt werden, wie man aus den Beispielen ansehen kann.

Dieses Verfahren hat aber zwei grosse Nachteile, die Winzigkeit der Belichtungsdauer und die übermässige Umdrehungszahl der Verschlusscheibe. Sie werden in den folgenden Kapiteln einwandfrei beseitigt.

Kapitel 3.

OPTISCHER AUSGLEICH MIT EINEM SPIEGELKRANZ.

21. Vorbemerkung. In diesem Kapitel werden die von der Spiegelung verursachten Bildfehler, der Verschluss, die Wirkung des optischen Ausgleiches und die Feststellung der Grösse der verschiedenen Elemente behandelt. Bevor die in Frage stehenden Aufgaben untersucht werden, wird der gewaltige Bildfehler gemeinverständlich erörtert.

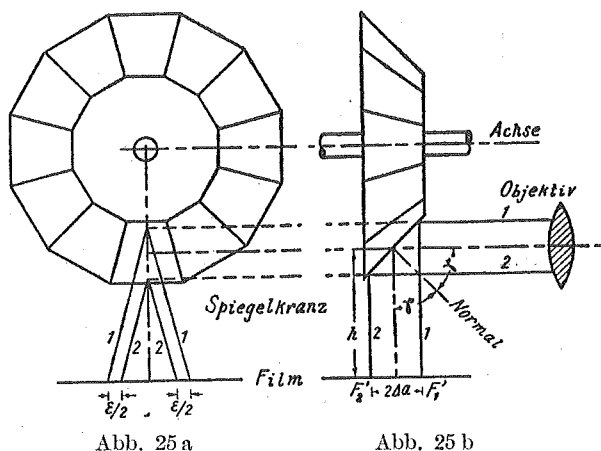


Abb. 25 a

Abb. 25 b

Siehe Abb. 25a,b. Der Spiegel bilde mit seiner Umdrehungsachse einen Winkel von 45° . Es werden ein Paar zur optischen Achse des Objektivs parallele Lichtstrahlen 1 und 2 betrachtet, die um die Bildbreite $2\Delta a$ voneinander entfernt sind und mit der Normalen der Spiegelebene einen Winkel γ bilden. Sie laufen durch den Bildpunkt F'_1 bzw. F'_2 auf dem Film. Die dicht vor dem Film angeordnete Schlitzblende habe die Lichtweite w .

Der Abstand des Filmes von der Mitte des Spiegels sei mit h , die Bildhöhe mit $2b$, die Bildbreite mit $2\Delta a$, die Bildfrequenz mit n , die Belichtungsdauer eines einzelnen Bildpunktes mit t und der Längen-Bildfehler mit ϵ bezeichnet. Dreht sich der Spiegelkranz $\Delta\varphi = w/h$ so wandert der Bildpunkt F'_1 um $(h + \Delta a \tan \gamma) \Delta\varphi$ und der Bildpunkt F'_2 um $(h - \Delta a \tan \gamma) \Delta\varphi$. Die halbe Differenz dieser Abstände ist dann der betrachtete Bildfehler.

Infolgedessen entstehen

$$t = \frac{w}{2bn} \quad (96)$$

$$\epsilon = \Delta a \tan \gamma \frac{w}{h} \quad (97)$$

Beispiel. Setzt man $2\Delta a = 10 \text{ mm}$, $2b = 4,5 \text{ mm}$, $h = 135 \text{ mm}$, $\gamma = \pi/4$, $n = 60\,000 \text{ s}^{-1}$ und

i. $w = 4,5 \text{ mm}$ und ii. $w = 1 \text{ mm}$

so können t und s aus Tafel 2 ersehen werden.

Tafel 2.

	i	ii
w	4,5 mm	1,0 mm
t	$\frac{1}{60\,000} \text{ s}$	$\frac{1}{270\,000} \text{ s}$
	0,167 mm	0,037 mm

Aus diesen Beispielen kann sofort eingesehen werden, dass dieses Verfahren einen sehr grossen Bildfehler längs der Länge des Filmes hat und man deswegen eine schmale Schlitzblende dicht vor dem Film einbauen muss.

Nun soll dieses Verfahren in den nächsten Ziffern aufs eingehendste untersucht werden.

22. Die optische Theorie. Eigentlich muss im allgemeinen zuerst überlegt werden, welche Konstruktion am leistungsfähigsten ist. Siehe Abb. 26. Bezeichne die optische Achse mit $Z_0 F_0$, die hintere Hauptebene des Objektives mit HH ,

den Spiegelkranz mit $KCDJ$, die Umdrehungsachse des Spiegelkranzes mit $\overline{OKJ}$, die einzelne Spiegelebene mit S , die von dem Objektiv direkt gebildete imaginäre Bildebene mit $F_0 F$, die nach Reflexion an der Spiegelebene gebildete wirkliche Bildebene mit $F'_0 F'$, die optische Achse des Objektives mit $\overline{Z_0 F_0}$, den durch den Achsenstrahl $Z_0 F_0$ von dem Objektiv direkt gebildeten imaginären Bildpunkt und den durch einen achsenparallelen Lichtstrahl PF mit F_0 bzw. F , und die dementsprechenden nach Reflexion an der Spiegelebene gebildeten wirklichen Bildpunkte mit F'_0 bzw. F' .

Setze voraus, dass $\overline{Z_0 F_0}$ und $\overline{OKJ}$ in einer Ebene liegen und die Spiegelebene $S_0 S$ die Umdrehungsachse des

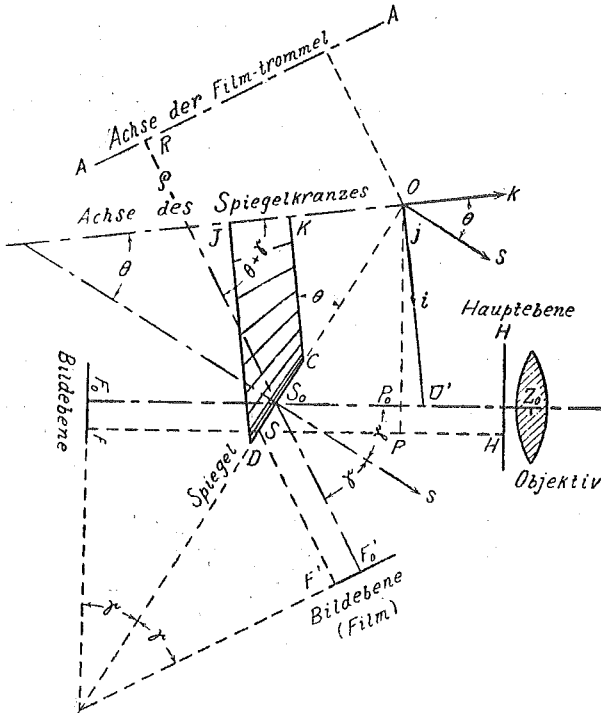


Abb. 26.

Spiegelkranzes in 0 schneidet. Nimm 0 als den Anfangspunkt der rechtwinkligen Koordinaten nach einem Rechtssystem und die dreieinigen Einheitsvektoren i, j, k längs der Koordinaten an, derart dass die Richtung von k mit der Achse des Spiegelkranzes übereinstimmt, die von i nach der optischen Achse des Objektives gerichtet ist und j auf k und i senkrecht steht.

Nun bezeichnet man den Normal-Einheitsvektor an der Spiegelebene $S_0 S$ mit s , der den Winkel θ mit der Umdrehungsachse des Spiegelkranzes, d.h. $\overline{OKJ}$, und den Winkel γ mit der optischen Achse des Objektives, d.h. $\overline{Z_0 F_0}$, bildet, und den Umdrehungswinkel des Spiegels in Bezug auf seine normale Lage, d.h. $s \cdot j = 0$, mit ϕ , so wird

$$s = \sin \theta (\cos \phi i + \sin \phi j) + \cos \theta k. \quad (98)$$

Fällt man eine Senkrechte vom Koordinatenanfang 0 auf den achsenparallelen Lichtstrahl HF , und bezeichnet man den dementsprechenden Treffpunkt mit P , den auf die k, i -Ebene projizierten Abstand von $\overline{OP}$ mit a , den auf die j -Achse projizierten mit b' , den Vektor von $\overline{OP}$ mit p , den von $\overline{OF}$ mit F und die Länge von $\overline{PF}$ mit c , so ist

$$\mathbf{p} = a \cos(\theta - \gamma) \mathbf{i} + b' \mathbf{j} - a \sin(\theta - \gamma) \mathbf{k}. \quad (99)$$

Mithin wird

$$\mathbf{F} = \{a \cos(\theta - \gamma) - c \sin(\theta - \gamma)\} \mathbf{i} + b' \mathbf{j} - \{a \sin(\theta - \gamma) + c \cos(\theta - \gamma)\} \mathbf{k}. \quad (100)$$

In Abb. 26 bezeichnet man die Umdrehungsachse der Filmtrommel mit $A-A$. Sie liegt in einer Ebene mit der Umdrehungsachse des Spiegelkranzes und der optischen Achse des Objektivs. Setzt man R , das auf $A-A$ liegt, als das Umdrehungs-zentrum des reflektierten Bildpunktes F'_0 voraus, und bezeichnet man den Vektor von $\overline{OF'}$ mit $\mathbf{F}'$, den Einheitsvektor längs der Achse $A-A$ mit $\mathbf{a}$ (positiv in derselben Richtung wie $\mathbf{k}$), den von R nach F'_0 angenommenen Einheitsvektor mit $\mathbf{c}$ und den auf $\mathbf{a}$ und $\mathbf{c}$ noch einem Rechtssystem senkrecht stehenden Einheitsvektor (also, positiv in derselben Richtung wie $\mathbf{j}$), so ergeben sich die folgenden Beziehungen:

$$\mathbf{a} = -\cos(\theta + \gamma) \mathbf{i} + \sin(\theta + \gamma) \mathbf{k} \quad (101a)$$

$$\mathbf{c} = \cos \beta \sin(\theta + \gamma) \mathbf{i} + \sin \beta \mathbf{j} + \cos \beta \cos(\theta + \gamma) \mathbf{k} \quad (101b)$$

$$\mathbf{b} = \mathbf{a} \times \mathbf{c}, \quad (101c)$$

wo β den Winkel zwischen der Linie RF'_0 und der Ebene, die durch die Achse $\overline{OKJ}$ und die optische Achse des Objektivs bestimmt ist, bedeutet.

Bezeichnet man die durch eine Umdrehung der Filmtrommel aufgenommene Bildzahl mit i so muss die Bedingung

$$\beta \leq \frac{2\pi}{i} \quad (102)$$

erfüllt werden.

Beispiel. Setzt man $i = 300$ voraus, so wird

$$\beta \leq \frac{1}{52,4}.$$

Infolgedessen lauten die Gleichungen (101a,b,c)

$$\mathbf{a} = -\cos(\theta + \gamma) \mathbf{i} + \sin(\theta + \gamma) \mathbf{k} \quad (103a)$$

$$\mathbf{c} = \sin(\theta + \gamma) \mathbf{i} + \beta \mathbf{j} + \cos(\theta + \gamma) \mathbf{k} \quad (103b)$$

$$= \mathbf{j} \times \mathbf{a} + \beta \mathbf{j}$$

$$\mathbf{b} = \mathbf{j} - \beta \mathbf{j} \times \mathbf{a} \quad (103c)$$

$$= \mathbf{j} - \beta \mathbf{c}$$

bei Vernachlässigung der Größenordnung β^2 .

Der durch Spiegelung gebildete Bildpunkt F' kann nach (100) mit Hilfe der „Perversion“,

$$\Phi = I - 2ss, \quad (104)$$

folgendermassen berechnet werden :

$$\begin{aligned} F' &= \Phi \cdot F \\ &= (I - 2ss) \cdot F, \end{aligned} \quad (105)$$

wo I „Dyade Eins“ bedeutet.

Die Masszahlen des Bildpunktes F' auf dem Film müssen nun auf die neuen Koordinaten mit den Einheitsvektoren $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}$ umgerechnet werden, um die Bildfehler besser übersehen zu können,

Die Bildfehler, die vollständig untersucht werden müssen, bestehen aus drei Komponenten: die Seitenverzerrung, die Bildhöhenverzerrung und die Bildfeldwölbung. Bei der gegenwärtigen Aufgabe sind sie nichts anders als die in drei senkrechte Richtungen weisenden, unregelmässigen Ortsverschiebungen des reflektierten Bildpunktes.

Nun werden die Koordinaten von F' in Bezug auf $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}$ nach (105):

$$\begin{aligned} F' \cdot \mathbf{a} &= F \cdot \mathbf{a} - 2F \cdot ss \cdot \mathbf{a} \\ F' \cdot \mathbf{c} &= F \cdot \mathbf{c} - 2F \cdot ss \cdot \mathbf{c} \\ F' \cdot \mathbf{b} &= F \cdot \mathbf{b} - 2F \cdot ss \cdot \mathbf{b}, \end{aligned} \quad (106)$$

Daher lauten (106) nach (98) (100) und (103a) durch Vernachlässigung der Grössenordnung ϕ^3 :

$$\begin{aligned} F' \cdot \mathbf{a} &= -a \cos 2\gamma - c \sin 2\gamma \\ &\quad - 2 \left\{ -\cos(\theta + \gamma) \sin \theta \cos \phi + \sin(\theta + \gamma) \cos \theta \right\} \\ &\quad \times \left[\left\{ a \cos(\theta - \gamma) - c \sin(\theta - \gamma) \right\} \sin \theta \cos \phi + b' \sin \theta \sin \phi \right] \\ &\quad - \left\{ a \sin(\theta - \gamma) + c \cos(\theta - \gamma) \right\} \cos \theta \right] \\ &= -a - 2b' \sin \theta \sin \gamma \cdot \phi \\ &\quad - \left\{ a \cos(\theta + \gamma) \sin \gamma - c \cos(\theta + \gamma) \cos \gamma \right. \\ &\quad \left. - a \cos(\theta - \gamma) \sin \gamma + c \sin(\theta - \gamma) \sin \gamma \right\} \sin \theta \cdot \phi^2 \\ &= -a - 2b' \sin \theta \sin \gamma \cdot \phi \\ &\quad + \left\{ 2a \sin^2 \theta \sin^2 \gamma + \frac{1}{2} c \sin 2\theta - c \sin^2 \theta \sin 2\gamma \right\} \phi^2; \\ F' \cdot \mathbf{c} &= a \cos(\theta - \gamma) \sin(\theta + \gamma) - c \sin(\theta - \gamma) \sin(\theta + \gamma) \\ &\quad - a \sin(\theta - \gamma) \cos(\theta + \gamma) - c \cos(\theta - \gamma) \cos(\theta + \gamma) \\ &\quad + \beta b' \\ &\quad - 2 \left\{ \sin(\theta + \gamma) \sin \theta \cos \phi + \beta \sin \theta \sin \phi + \cos(\theta + \gamma) \cos \theta \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \times \left\{ \begin{aligned} & a \sin \gamma - c \cos \gamma + b' \sin \theta \cdot \phi \\ & -\frac{1}{2} a \cos (\theta - \gamma) \sin \theta \cdot \phi^2 + \frac{1}{2} c \sin (\theta - \gamma) \sin \theta \cdot \phi^2 \end{aligned} \right\} \\
& = a \sin 2\gamma - c \cos 2\gamma + \beta b' \\
& \quad - 2 \cos \gamma \{a \sin \gamma - c \cos \gamma + b' \sin \theta \cdot \phi\} \\
& = c - b' (2 \sin \theta \cos \gamma \cdot \phi - \beta); \\
\mathbf{F}' \cdot \mathbf{b} &= \mathbf{F} \cdot \mathbf{j} - 2\mathbf{F} \cdot \mathbf{ss} \cdot \mathbf{j} - \beta \mathbf{F}' \cdot \mathbf{c} \\
&= b' - 2 \sin \theta \sin \phi \{a \sin \gamma - c \cos \gamma + b' \sin \theta \cdot \phi\} \\
& \quad - \beta \{c - b' (2 \sin \theta \cos \gamma \cdot \phi - \beta)\} \\
&= b' - c\beta - 2 \sin \theta \{a \sin \gamma - c \cos \gamma\} \phi \\
& \quad - b' \{2 \sin^2 \theta \cdot \phi^2 - 2 \sin \theta \cos \gamma \cdot \phi \cdot \beta\}.
\end{aligned}$$

Sie können folgendermassen umgeschrieben werden :

$$\begin{aligned}
\mathbf{F}' \cdot \mathbf{a} &= -a - 2b' \sin \theta \sin \gamma \cdot \phi \\
& \quad + \{2a \sin \theta \sin^2 \gamma + c \cos \theta - c \sin \theta \sin 2\gamma\} \sin \theta \cdot \phi^2; \quad (107a)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathbf{F}' \cdot \mathbf{b} &= b' - c\beta - 2 \sin \theta \{a \sin \gamma - c \cos \gamma\} \phi \\
& \quad - b' \{\sin \theta \cdot \phi - \cos \gamma \cdot \beta\} 2 \sin \theta \cdot \phi; \quad (107b)
\end{aligned}$$

$$\mathbf{F}' \cdot \mathbf{c} = c - b' \{2 \sin \theta \cos \gamma \cdot \phi - \beta\}. \quad (107c)$$

Während der Umdrehung der Filmtrommel und der gleichzeitigen des Spiegelkranzes müssen diese Masszahlen einen bestimmten unverzerrten Bildpunkt auf dem Film deutlich bestimmen, nämlich, jeder Bildpunkt muss mit dem entsprechenden der empfindlichen Schicht genau und unverschoben übereinstimmen.

Bezeichnet man die Koordinaten von R in Bezug auf (i, j, k) mit X, O, Z , den Krümmungshalbmesser der auf der Filmtrommel aufgewickelten empfindlichen Schicht mit ρ , und den Vektor des wirklichen Bildpunktes auf dem Film, der dem in der Brennebene gebildeten Punkt F' entspricht, mit $\bar{F}'$, so ist

$$\begin{aligned}
\bar{F}' &= X\mathbf{i} + Z\mathbf{k} + b'\mathbf{b} + \rho\mathbf{c} \\
&= \{\rho \sin (\theta + \gamma) + X - b' \sin (\theta + \gamma)\beta\}\mathbf{i} + \{\rho\beta + b'\}\mathbf{j} \\
& \quad + \{\rho \cos (\theta + \gamma) + Z - b' \cos (\theta + \gamma)\beta\}\mathbf{k}. \quad (108)
\end{aligned}$$

Mithin lauten die Koordinaten von $\bar{F}'$ in Bezug auf $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}$ nach (103a,b,c) :

$$\begin{aligned}
\bar{F}' \cdot \mathbf{a} &= -X \cos(\theta + \gamma) + Z \sin(\theta + \gamma) \\
\bar{F}' \cdot \mathbf{b} &= b' - \{X \sin(\theta + \gamma) + Z \cos(\theta + \gamma)\} \beta \\
\bar{F}' \cdot \mathbf{c} &= X \sin(\theta + \gamma) + Z \cos(\theta + \gamma) + \rho .
\end{aligned} \tag{109}$$

Aus dem oben erörterten Grund folgen

$$\begin{aligned}
\bar{F}' \cdot \mathbf{a} &= F' \cdot \mathbf{a} \\
\bar{F}' \cdot \mathbf{b} &= F' \cdot \mathbf{b} \\
\bar{F}' \cdot \mathbf{c} &= F' \cdot \mathbf{c} .
\end{aligned} \tag{110a}$$

Weil X , Z und ρ Konstanten sind, gelten die Beziehungen:

$$\begin{aligned}
-X \cos(\theta + \gamma) + Z \sin(\theta + \gamma) &= -a_0 , \\
b' - \{X \sin(\theta + \gamma) + Z \cos(\theta + \gamma)\} \beta & \\
&= b' - c\beta - 2 \sin \theta \{a_0 \sin \gamma - c \cos \gamma\} \phi ,
\end{aligned} \tag{110b}$$

$$X \sin(\theta + \gamma) + Z \cos(\theta + \gamma) + \rho = c ,$$

wo a_0 den Mittelwert von $\mathbf{a}$ bedeutet.

Ist $\overline{S_0 F'_0} = \overline{S_0 F_0} = h$ vorausgesetzt, so entsteht durch Vernachlässigung der Glieder höherer Ordnung

$$\begin{aligned}
\overline{EP} - \overline{FS} &= \overline{SP} \\
&= \overline{OP} \tan \gamma ,
\end{aligned}$$

d.h.

$$\begin{aligned}
c - h &= a_0 \tan \gamma \\
c \cos \gamma - a_0 \sin \gamma &= h \cos \gamma .
\end{aligned} \tag{111}$$

Folglich sind nach (110b) und (111)

$$\begin{aligned}
\beta &= 2 \sin \theta \frac{c \cos \gamma - a_0 \sin \gamma}{\rho} \phi \\
&= 2 \sin \theta \cos \gamma \frac{h}{\rho} \phi ;
\end{aligned} \tag{112}$$

$$\begin{aligned}
X &= -(\rho - c) \sin(\theta + \gamma) + a_0 \cos(\theta + \gamma) , \\
Z &= -(\rho - c) \cos(\theta + \gamma) - a_0 \sin(\theta + \gamma) .
\end{aligned} \tag{113}$$

Aus (107a,b,c) (111) und (112) folgen jetzt die drei Bildfehler, die bei Vernachlässigung höherer Glieder folgende Form annehmen.

$$\begin{aligned}
(\mathbf{F}' \cdot \mathbf{a}) &= -2b' \sin \theta \sin \gamma \cdot \phi + \{c \cos \theta - h \sin \theta \sin 2\gamma\} \sin \theta \cdot \phi^2 \\
(\mathbf{F}' \cdot \mathbf{b}) &= -2\Delta a \sin \theta \sin \gamma \cdot \phi - b' \left\{ 1 - (1 + \cos 2\theta) \frac{h}{\rho} \right\} (1 - \cos 2\theta) \phi^2 \\
(\mathbf{F}' \cdot \mathbf{c}) &= -2b' \sin \theta \cos \gamma \left\{ 1 - \frac{h}{\rho} \right\} \phi,
\end{aligned} \tag{114a}$$

wo

$$\Delta a = a - a_0 \tag{114b}$$

ist.

Bezeichnet man den Abstand irgendeines Bildpunktes in der Bildhöhenrichtung nach Ausführung einer Drehspiegelung des Spiegelkranzes vom Mittelpunkt der Bildebene mit $\mathfrak{F}$, die Geschwindigkeit von $\mathfrak{F}$ in der Bildhöhenrichtung mit v' , die Ablaufgeschwindigkeit des Filmes mit v , die Umdrehungszahl des Spiegelkranzes mit $\tilde{\omega}$ und die Bildhöhe mit $2b$, so ergeben sich nach (112) und (114a,b) bei Vernachlässigung der Glieder höherer Ordnungen

$$\begin{aligned}
\mathfrak{F} &= \rho\beta + b' + (\mathbf{F}' \cdot \mathbf{b}) \\
&= b' + 2 \sin \theta \cos \gamma \cdot h \cdot \phi + (\mathbf{F}' \cdot \mathbf{b}),
\end{aligned} \tag{118}$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = 2\pi \tilde{\omega} = 2\pi \frac{n}{m}, \tag{119}$$

$$v' = \frac{\partial \mathfrak{F}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t}(\rho\beta) \tag{120}$$

$$= 2 \sin \theta \cos \gamma \cdot h \frac{2\pi n}{m},$$

$$v = 2nb. \tag{121}$$

Da die Beziehung

$$v' = v$$

gelten soll, so werden nach (120) und (121)

$$b = 2 \sin \theta \cos \gamma \cdot h \frac{\pi}{m} \tag{122}$$

$$h = \frac{m}{\pi} \frac{b}{2 \sin \theta \cos \gamma}.$$

Bezeichnet man die Schlitzweite des Bildfensters mit $2b''$, so gilt nach (118) für den wirklichen Bildpunkt

$$2b'' \geq 2 | b' + 2 \sin \theta \cos \gamma \cdot h \phi |. \tag{123}$$

Es soll nun ein neues Dingfenster¹⁾ in der Dingebene zum praktischen und vergleichlichen Zweck eingeführt werden, das die projizierte Schlitzweite $2b$ in

1) Vgl. Ziff. 28.

der Bildebene hat und vollständig als Bildfenster wirkt, trotzdem ein wirkliches Bildfenster mit der Schlitzweite

$$2b'' = 2b \quad (124)$$

dicht vor dem Film im allgemeinen eingebaut zu werden pflegt.

Nach (114a) ergeben sich also die Maximal-Undeutlichkeiten des Bildpunktes:

$$\begin{aligned} [F' \cdot \mathbf{a}] &= -2b \sin \theta \sin \gamma \cdot \Delta\phi \\ &\quad + \{c \cos \theta - h \sin \theta \sin 2\gamma\} 2 \sin \theta \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta\phi \right) \Delta\phi \\ [F' \cdot \mathbf{b}] &= -2\Delta a \sin \theta \sin \gamma \cdot \Delta\phi \\ &\quad - 2b \left\{ 1 - \frac{h}{\rho} \right\} (1 - \cos 2\theta) \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta\phi \right) \Delta\phi \\ [F' \cdot \mathbf{c}] &= -2b \sin \theta \cos \gamma \left\{ 1 - \frac{h}{\rho} \right\} \Delta\phi, \end{aligned} \quad (125)$$

und die Maximal-seitenverzerrung, die Maximal-bildhöhenverzerrung und die Maximal-bildfeldwölbung:

$$\begin{aligned} \Delta(F' \cdot \mathbf{a}) &= -2b \sin \theta \sin \gamma \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta\phi \right) \\ &\quad + \{c \cos \theta - h \sin \theta \sin 2\gamma\} \sin \theta \left\{ \phi^2 - \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta\phi \right) \Delta\phi \right\} \\ \Delta(F' \cdot \mathbf{b}) &= -2\Delta a \sin \theta \sin \gamma \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta\phi \right) \\ &\quad - b \left\{ 1 - \frac{h}{\rho} \right\} (1 - \cos 2\theta) \left\{ \phi^2 - \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta\phi \right) \Delta\phi \right\} \\ \Delta(F' \cdot \mathbf{c}) &= -2b \sin \theta \cos \gamma \left\{ 1 - \frac{h}{\rho} \right\} \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta\phi \right), \end{aligned} \quad (126)$$

wobei die Beziehungen

$$\begin{aligned} b\phi &= -|b\phi| \\ \Delta a &= -|\Delta a| \\ \phi &= \pm \frac{\pi n}{m} T = \pm \frac{\pi \bar{n}}{m} \\ \Delta\phi &= \pm \frac{2\pi n}{m} t \end{aligned} \quad (127)$$

gelten. In den obigen Gleichungen bedeuten b die Hälfte der Bildhöhe, n die Bildfrequenz, m die Spiegelzahl des Spiegelkranzes, T die Belichtungsdauer eines ganzen Bildchens, t die eines einzelnen Bildpunktes, $\bar{n} = nT$, 2ϕ den

Umdrehungswinkel des betrachteten Spiegels während T und $\Delta\phi$ den während t . Es ist hierbei besonders bemerkenswert, dass $[F' \cdot \mathfrak{b}]$ und $\Delta(F' \cdot \mathfrak{b})$ verhältnismässig gross sind, was in Ziff. 22 vorher angemerkt ist.

Bezeichnet man die Schlitzweite der auf die empfindliche Schicht projizierten imaginären Blende mit $2b''$, so wird

$$h \cdot \Delta\phi = 2b'' . \quad (128)$$

Nimmt man das dicht vor der empfindlichen Schicht eingerichtete Bildfenster als den Regulator der Belichtungsdauer des Bildpunktes und seine Schlitzweite als $2b''$ an, so ist nach (128)

$$\Delta\phi = \frac{2b''}{h} : \quad (129)$$

folglich ist nach (127)

$$t = \frac{n}{2\pi n} \frac{2b''}{h} ; \quad 2b'' = \frac{2\pi n}{n} h t . \quad (130)$$

Wird nun das Bildfenster eingeengt, d.h. $2b''$ bzw. $\Delta\phi$ verkleinert, um die Undeutlichkeiten des Bildpunktes zu vermindern, so nimmt die Maximal-Bildverzerrung im Gegenteil zu, solange ϕ nicht vermindert wird.

Vergleiche (125) und (126) in Bezug auf ϕ und $\Delta\phi$. Diese Tatsache klärt deutlich auf, dass die einfache Einengung der Schlitzweite des Bildfensters gar nicht erfolgreich ist.

Alle Einrichtungen müssen derart entworfen werden, dass die Bildfehler (125) und (126) bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten.

Nach dieser Idee sind alle Elemente in den nachfolgenden Ziffern eingehend untersucht.

23. Die Bildfehler des Zeitdehners bei $\theta + \gamma = \frac{\pi}{2}$. In der vorhergehenden Ziffer sind alle möglichen Bildfehler allgemein theoretisch abgeleitet. Aus diesen Resultaten hat man aber keine Folgerungen gezogen, die die Bildfehler auf ihre Minimalwerte herabdrücken könnten, was jedoch jetzt geschehen soll.

Der Mechanismus der Einrichtung muss aber vom Standpunkt der Mechanik derart sein, dass alle Umdrehungsachsen zueinander parallel sind, weil der Betrieb im allgemeinen bei sehr hoher Umdrehungsgeschwindigkeit ausgeführt zu werden pflegt.

Diese Bedingung ist nichts anders als

$$\theta + \gamma = \frac{\pi}{2} . \quad (131)$$

Mithin werden nach von (98) bis (101a,b,c) und (112)

$$s = \cos \gamma (\cos \phi \mathbf{i} + \sin \phi \mathbf{j}) + \sin \gamma \mathbf{k} , \quad (132)$$

$$\mathbf{p} = a \sin 2\gamma \mathbf{i} + b \mathbf{j} - a \cos 2\gamma \mathbf{k}, \quad (133)$$

$$\mathbf{F} = \{a \sin 2\gamma - c \cos 2\gamma\} \mathbf{i} + b \mathbf{j} - \{a \cos 2\gamma + c \sin 2\gamma\} \mathbf{k}, \quad (134)$$

$$\mathbf{a} = \mathbf{k}, \quad \mathbf{c} = \mathbf{i} + \beta \mathbf{j}, \quad \mathbf{b} = \mathbf{j} - \beta \mathbf{c}, \quad (135)$$

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{c(1 + \cos 2\gamma) - a_0 \sin 2\gamma}{\rho} \phi \\ &= (1 + \cos 2\gamma) \frac{h}{\rho} \phi. \end{aligned} \quad (136)$$

Infolgedessen werden nach (114a,b) und (113)

$$\begin{aligned} (\mathbf{F}' \cdot \mathbf{a}) &= -b \sin 2\gamma \cdot \phi + \{c - h(1 + \cos 2\gamma)\} \sin \gamma \cos \gamma \cdot \phi^2 \\ (\mathbf{F}' \cdot \mathbf{b}) &= -\Delta a \sin 2\gamma \cdot \phi - b \left\{1 - \frac{h}{\rho}\right\} (1 + \cos 2\gamma) \phi^2 \\ (\mathbf{F}' \cdot \mathbf{c}) &= -b(1 + \cos 2\gamma) \left\{1 - \frac{h}{\rho}\right\} \phi, \\ X &= -(\rho - c) \\ Z &= -a_0. \end{aligned} \quad (137)$$

Daraus ergeben sich die Maximal-Undeutlichkeiten des Bildpunktes nach (125) und (126):

$$\begin{aligned} [\mathbf{F}' \cdot \mathbf{a}] &= -b \sin 2\gamma \cdot \Delta \phi \\ &\quad + \{c - h - h \cos 2\gamma\} \sin 2\gamma \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta \phi\right) \Delta \phi \\ [\mathbf{F}' \cdot \mathbf{b}] &= -\Delta a \sin 2\gamma \cdot \Delta \phi \\ &\quad - 2b \left\{1 - \frac{h}{\rho}\right\} (1 + \cos 2\gamma) \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta \phi\right) \Delta \phi \\ [\mathbf{F}' \cdot \mathbf{c}] &= -b(1 + \cos 2\gamma) \left\{1 - \frac{h}{\rho}\right\} \Delta \phi, \end{aligned} \quad (139)$$

und die Maximal-seitenverzerrung, die Maximal-bildhöhenverzerrung und die Maximal-bildfeldwölbung:

$$\begin{aligned} \Delta(\mathbf{F}' \cdot \mathbf{a}) &= -b \sin 2\gamma \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta \phi\right) \\ &\quad + (c - h - h \cos 2\gamma) \frac{1}{2} \sin 2\gamma \left\{\phi^2 - \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta \phi\right) \Delta \phi\right\} \\ \Delta(\mathbf{F}' \cdot \mathbf{b}) &= -\Delta a \sin 2\gamma \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta \phi\right) \end{aligned} \quad (140)$$

$$-b\left\{1-\frac{h}{\rho}\right\}(1+\cos 2\gamma)\left\{\phi^2-\left(\phi-\frac{1}{2}\Delta\phi\right)\Delta\phi\right\}$$

$$\Delta(\mathbf{F}' \cdot \mathbf{c}) = -b(1+\cos 2\gamma)\left\{1-\frac{h}{\rho}\right\}\left(\phi-\frac{1}{2}\Delta\phi\right),$$

wo nach (127) gilt,

$$b\phi = -|b\phi|, \quad \Delta a = -|\Delta a|, \quad (141)$$

$$\phi = \pm \frac{\pi n}{m} T = \pm \frac{\pi n}{m}, \quad \Delta\phi = \pm \frac{2\pi n}{m} t.$$

Nun wird der Fortschrittsabstand des Mittelpunktes durch Drehspiegelung des Spiegelkranzes, seine Fortschrittsgeschwindigkeit und die Umdrehungszahl des Spiegelkranzes nach von (118) bis (122) gegeben

$$\mathfrak{F} = (1+\cos 2\gamma)h\phi \quad (142)$$

$$\frac{\partial\phi}{\partial t} = 2\pi\tilde{\omega} = 2\pi\frac{n}{m} \quad (143)$$

$$v' = (1+\cos 2\gamma)h\frac{2\pi n}{m}$$

$$= v = 2bn. \quad (144)$$

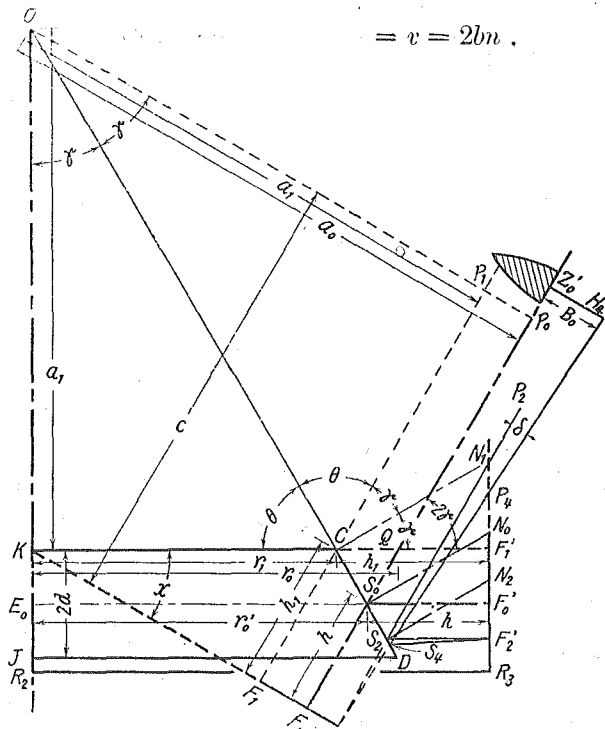


Abb. 27.

24. Bei $\theta + \gamma = \frac{\pi}{2}$ mit

Verschluss 1. Siehe Abb. 27, die teilweise von Abb. 25a herausgenommen ist.

Bezeichne die Filmtrommel mit $R_2 R_3 F'_0 F'_1$, den Spiegelkranz mit $CDJK$, die Umdrehungsachse des Spiegelkranzes mit $\overline{OKJ}$, die augenblicklich agierende Spiegelebene mit $CS_0 D$, den Mittelpunkt des Spiegels mit S_0 , die Verschlusscheibe mit KCF'_1 , die Umdrehungsachse der Verschlusscheibe mit $\overline{OKE_0 J}$, das Umdrehungszentrum der Verschlusscheibe mit K , den Mittelpunkt von $\overline{JK}$ mit E_0 , den Schnittpunkt von $CS_0 D$ und KCF'_1 mit C , die optische Achse des Objektivs

mit $\overline{Z_0 P_0 Q S_0 F_0}$, die Normalen der Spiegelebenen $C S_0$ und S_2 mit $\overline{CN_1}$ $\overline{S_0 N_0}$ bzw. $\overline{S_2 N_2}$, die durch $S_0 C$ und S_2 eintretenden achsenparallelen Strahlen mit $\overline{Z_0 P_0 S F_0}$ $\overline{P C F_1}$ bzw. $\overline{P_2 S_2 F_2}$, die von 0 auf $\overline{Z_0 P_0 F_0}$ und $\overline{P C F_1}$ gefällten Senkrechten mit $\overline{OP_0}$ bzw. $\overline{OP}$, die durch die Strahlen $\overline{Z_0 S_0 P_1 C}$ und $\overline{P_2 S_2}$ gebildeten Bildpunkte in der durch das Objektiv vor Reflexion direkt gebildeten imaginären Bildebene mit $\overline{F_0 F_1}$ bzw. $\overline{F_2}$ und die in der nach Reflexion an dem Spiegel gebildete wirkliche Bildebene mit $\overline{F'_0 F'_1}$ bzw. $\overline{F'_2}$, den von $\overline{Z_0 Q S_0 F_0}$ und $\overline{K C Q F'_1}$ gebildeten Schnittpunkt mit Q und nehme an, dass die durch das Objektiv direkt gebildete imaginäre Bildebene $\overline{F_1 F_0 F_2}$ K enthalte.

Es ist dann

$$\overline{P_0 F_0} // \overline{P_1 F_1} \perp \overline{F_1 F_0} : \quad \overline{S_0 F'_0} // \overline{C F'_1} \perp \overline{F'_0 F'_1}.$$

Setzt man

$$\begin{aligned} \widehat{P_0 S N} = \widehat{P_1 C N_1} = \widehat{P_2 S_2 N_2} = \widehat{N S_0 F'_0} = \widehat{N_1 C F'_1} = \widehat{N_2 S_2 F'_2} = \gamma, \quad \widehat{F_0 K C} = \chi, \\ \widehat{O C K} = \widehat{O D J} = \theta, \quad \overline{OP_0} = a_0, \quad \overline{OP_1} = a_1, \quad \overline{K C} = r_1, \quad \overline{K Q} = r_0, \quad \overline{S_0 E_0} = r'_0, \\ \overline{K E_0} = \overline{E_0 J} = d, \quad \overline{C F'_1} = h_1, \quad \overline{S_0 F'_0} = h, \quad \overline{P_0 F_0} = \overline{P_1 F_1} = c, \end{aligned}$$

so ergeben sich nach Abb. 26 und (131)

$$\chi = \frac{\pi}{2} - 2\gamma = 2\theta - \frac{\pi}{2}, \quad (145)$$

$$\left. \begin{aligned} 0 &\leq \chi \leq \frac{\pi}{2} \\ \frac{\pi}{4} &\leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \\ \frac{\pi}{4} &\geq \gamma \geq 0, \end{aligned} \right\} \quad \begin{array}{l} \\ \text{(Vgl. mit (36))} \\ \end{array} \quad (146)$$

$$a_1 = a_0 - d = r_1 \cot \gamma, \quad (147)$$

$$c = a_1 \sin 2\gamma = r_1 + h_1 = r'_0 + h, \quad (148)$$

$$h_1 = c - r_1 = r_1 \cos 2\gamma, \quad (149)$$

$$\begin{aligned} h &= c - r'_0 = r_1 \cos 2\gamma - d \tan \gamma \\ &= a_0 \tan \gamma \cos 2\gamma - d \sin 2\gamma, \end{aligned} \quad (150)$$

$$r_0 = r_1 + d \operatorname{cosec} 2\gamma, \quad (151)$$

weil

$$\overline{OK} = \overline{KC} \tan \widehat{OCK}, \quad \overline{P_1 F_1} = \overline{P_0 F_0} = \overline{OK} \sin \widehat{P_0 OK}, \quad \widehat{O C P_1} = \widehat{OCK} = \theta,$$

$$\widehat{OP_1C} = \widehat{OKC} = \frac{\pi}{2}, \quad \widehat{P_1OC} = \widehat{KOC} = \gamma, \quad \widehat{F_1KC} = \chi, \quad \overline{P_1P_0} = d,$$

$$\overline{KQ} = \overline{KC} + \overline{CQ}$$

sind.

Infolgedessen werden nach von (147) bis (151)

$$a_0 = (h + d \tan \gamma) \sec 2\gamma \cot \gamma + d \quad (152)$$

$$= (h \operatorname{cosec} 2\gamma + d)(1 + \sec 2\gamma),$$

$$c = (h + d \tan \gamma)(1 + \sec 2\gamma), \quad (153)$$

$$h_1 = h + d \tan \gamma, \quad (154)$$

$$r_1 = (h + d \tan \gamma) \sec 2\gamma, \quad (155)$$

$$r_0 = (h + d \tan \gamma) \sec 2\gamma + d \operatorname{cosec} 2\gamma \quad (156)$$

$$= h \sec 2\gamma + d \sec 2\gamma \operatorname{cosec} 2\gamma,$$

$$r'_0 = (h + d \tan \gamma)(1 + \sec 2\gamma) - h \quad (157)$$

$$= h \sec 2\gamma + d \tan 2\gamma.$$

Läuft F'_0 um die Bildhöhe mit der Umdrehungsgeschwindigkeit v' , so ergibt sich nach (122)

$$h = \frac{m}{\pi} \frac{b}{1 + \cos 2\gamma}. \quad (158)$$

Die Dicke des Spiegels muss nun so gewählt werden, dass die durch den

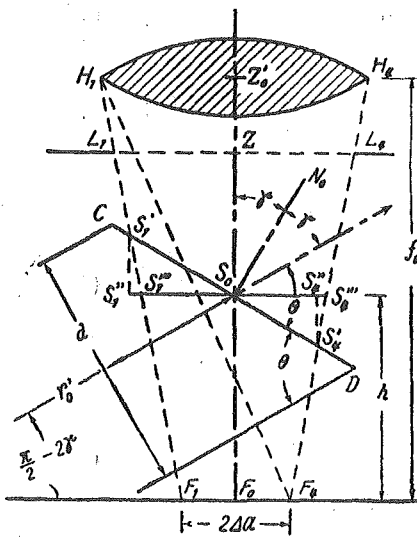


Abb. 28.

Schlitz austretenden Strahlen voll ausgenutzt werden. Siehe Abb. 28. Bezeichne den Durchmesser des durch die letzte Linsenfläche des Objektivs durchtretenden Strahlenbündels mit $H_1 Z'_0 H_4$, die optische Achse des Objektivs mit $F_0 S_0 Z Z'_0$, das vom Objektiv direkt gebildete Bildchen mit $F_1 F_0 F_4$, den Schlitz, der dicht hinter dem Objektiv eingebauten Blende mit $L_1 Z L_4$, die Spiegelweite in Richtung der Dicke mit $CS_0 D$, die Normale in S_0 an $CS_0 D$ mit $S_0 N_0$, die Schnittpunkte von $CS_0 D$ mit $H_1 F_1$ und $H_4 F_4$ mit S'_1 bzw. S'_4 , die durch S_0 zu $F_1 F_0 F_4$ parallele Ebene mit $S''_1 S''_1 S''_4 S''_4$, die von S'_1 und S'_4 auf $S''_1 S''_1 S''_4 S''_4$ gezogenen Senkrechten mit $S'''_1 S'''_1$ bzw. $S'''_4 S'''_4$ und die Schnittpunkte von $S''_1 S''_1 S''_4 S''_4$ mit $H_1 F_1$ und $H_4 F_4$ mit S'''_1 bzw. S'''_4 .

Setzt man

$$\begin{aligned}\overline{H_1 H_4} &= 2B, \quad \overline{F_0 Z'_0} = f_0, \quad \overline{F_0 S_0} = h, \quad \overline{CS_0 D} = 2d \operatorname{cosec} \theta, \\ \widehat{S'_1 S_0 S''_1} &= \widehat{N_0 S_0 Z'_0} = \gamma, \quad \widehat{Z'_0 S_0 C} = \theta, \quad \theta + \gamma = \frac{\pi}{2}, \quad \overline{F_1 F_0 F_4} = 2\Delta a, \\ \overline{S'_1 S_0} &= x_1, \quad \overline{S'_0 S'_4} = x, \end{aligned}$$

so gelten die Beziehungen

$$\begin{aligned}\overline{CS_0 D} &> 2\overline{S'_1 S_0} > \overline{S'_1 S_0} + \overline{S'_0 S'_4} = \overline{S'_1 S_0 S'_4}, \\ \overline{S'_1 S_0} \cos \widehat{S'_1 S_0 S''_1} &= \overline{S'_1 S_0} = \overline{F_1 F_0} + (\overline{F_0 S_0} + \overline{S'_1 S'_1}) \frac{\overline{H_1 Z'_0} - \overline{F_1 F_0}}{\overline{F_0 Z'_0}}, \\ \overline{S'_0 S'_4} \cos \widehat{S'_1 S_0 S''_1} &= \overline{S'_0 S'_4} = \overline{F_0 F_4} + (\overline{F_0 S_0} - \overline{S'_4 S'_4}) \frac{\overline{Z'_0 H_4} - \overline{F_0 F_4}}{\overline{F_0 Z'_0}}, \\ \overline{S'_1 S'_1} &= \overline{S'_1 S_0} \sin \widehat{S'_1 S_0 S''_1}, \quad \overline{S'_4 S'_4} = \overline{S'_0 S'_4} \sin \widehat{S'_1 S_0 S''_1}, \end{aligned}$$

d. h.

$$\begin{aligned}2d \operatorname{cosec} \theta &> 2x_1 > x_1 + x_4 \\ x_1 \cos \gamma &= \Delta a + (h + x_1 \sin \gamma) \frac{B_0 - \Delta a}{f_0}, \\ x_4 \cos \gamma &= \Delta a + (h - x_4 \sin \gamma) \frac{B_0 - \Delta a}{f_0}. \end{aligned}$$

Daraus folgen

$$x_1 \cos \gamma = \frac{\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} h}{1 - \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \tan \gamma}; \quad (159)$$

$$x_4 \cos \gamma = \frac{\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} h}{1 + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \tan \gamma}. \quad (160)$$

Bezeichnet man die wirklich benutzte Dicke des Spiegelkranzes mit $2d$, den notwendigen Abstand des weitesten Spiegelrandes vom Schnittpunkt, der durch die optische Achse und die betrachteten Spiegelebene in der Mittellage gebildet ist, mit d_s und die wirklich erforderliche Dicke des Spiegelkranzes mit $2d_e$, so ergeben sich nach (158) und (159)

$$\begin{aligned}2d_s &= 2x_1 \cos \gamma \\ &= 2 \frac{\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} h}{1 - \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \tan \gamma} \end{aligned}$$

$$= 2 \frac{\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \frac{m}{\pi} \frac{b}{1 + \cos 2\gamma}}{1 - \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \tan \gamma} \quad (161)$$

$$2d_e = (x_1 + x_4) \cos \gamma$$

$$= 2 \frac{\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} h}{1 - \left\{ \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \tan \gamma \right\}^2}$$

$$= 2 \frac{\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \frac{m}{\pi} \frac{b}{1 + \cos 2\gamma}}{1 - \left\{ \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \tan \gamma \right\}^2} \quad (162)$$

$$2d > 2d_s > 2d_e. \quad (163)$$

Aus (157) und (158) erhält man eine Beziehung zwischen γ und d , aus der man, da r'_0 , b , m und n im allgemeinen vorgegeben sind, nach Bestimmung von γ die Dicke $2d$ bestimmt.

Das normale Ermittlungsverfahren von γ ist aber sehr kompliziert und nimmt grosse Mühe in Anspruch. Deswegen wird nach einem Approximationsverfahren gesucht, durch das die Rechnung unvergleichlich abgekürzt werden kann. Für die üblichen Systeme ist der Wertebereich von γ begrenzt. Es ist

$$30^\circ < \gamma < 40^\circ \quad (164)$$

oder

$$\gamma = 0, \quad (165)$$

wie später in Ziff. 25 und 32 gezeigt wird.

Es wird nun d bei (164) in der jetzigen Ziffer und d bei (165) in der nächsten untersucht.

Die Tafeln 3a,b,c,d,e erläutern in einem Beispiel, das den Fällen der Praxis nahe kommen dürfte, die Ableitung von d . In diesem Beispiel wird angenommen:

$$2b = 3,8 \text{ mm}; \quad 2\Delta a = 10,5 \text{ mm}; \quad f_0 = 165 \text{ mm}; \quad \frac{2B_0}{f_0} = \frac{1}{2,8}.$$

In Tafel 3a sind die Werte von h nach (158) angegeben. In Tafel 3b sind die Werte von $2d_s$ nach (161) und in Tafel 3c ist die Hilfsgrösse

$$2d'' = \frac{(2x_1 \cos \gamma) \gamma}{1 + \cos 2\gamma} = 0$$

$$= 2 \frac{2\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \frac{m}{\pi} b}{1 + \cos 2\gamma} \quad (166)$$

tabellarisch zusammengestellt. In Tafel 3d sind die Werte von

Tafel 3a.

$$h = \frac{m}{\pi} \frac{b}{1 + \cos 2\gamma} \text{ mm} \quad (158)$$

γ Grad	$\cos 2\gamma$	m			
		60	90	120	180
0	1,0	18,14	27,23	36,29	54,46
40	0,1737	30,91	46,37	61,84	92,74
35	0,3420	27,04	40,58	54,08	81,16
30	0,5	24,20	36,30	48,40	72,60

$2b = 3,80 \text{ mm};$

$2A = 10,5 \text{ mm};$

$f_0 = 165,0 \text{ mm};$

$2B_0 = 58,9 \text{ mm}$

Tafel 3b.

$$2d_s \text{ mm} \quad (161)$$

γ Grad	$\cos 2\gamma$	m			
		60	90	120	180
0	1,0	15,83	18,49	21,15	26,48
40	0,1737	22,32	27,49	32,64	43,00
35	0,3420	20,53	24,96	29,37	38,24
30	0,5	19,23	23,10	26,97	34,73
h mm		18,14	30,92	27,04	24,20

Tafel 3c.

$$2d'' \text{ mm} \quad (166)$$

γ Grad	m			
	60	90	120	180
0	31,66	36,98	42,30	52,96
40	26,96	31,50	36,03	45,13
35	23,59	27,56	31,53	39,48
30	21,11	24,65	28,20	35,33

Tafel 3d.

2d' mm (167)						
γ Grad	α	$\frac{1 - \alpha \cos^2 2\gamma}{\sin 2\gamma}$	m			
			60	90	120	181
0		∞	∞	∞	∞	∞
40	0,5	1,000	26,96	31,50	36,03	45,13
35		1,002	23,63	27,61	31,57	39,54
30		1,009	21,33	24,90	28,49	35,69
40	0,4	1,002	27,04	31,59	36,13	45,25
35		1,013	23,92	27,94	31,96	40,04
30		1,039	21,93	25,62	29,30	36,70
40	0,3	1,006	27,13	31,70	36,24	45,40
35		1,026	24,22	28,29	32,36	40,53
30		1,068	22,55	26,33	30,13	37,74
40	0,2	1,009	27,21	31,78	36,35	45,54
35		1,038	24,51	28,64	32,74	41,02
30		1,097	23,16	27,04	30,94	38,75
40	0,1	1,012	27,29	31,88	36,46	45,67
35		1,065	25,05	29,27	33,48	41,93
30		1,111	23,45	27,39	31,34	39,26
40	0,0	1,016	27,37	31,98	36,57	45,83
35		1,063	25,10	29,33	33,54	42,00
30		1,155	24,38	28,46	32,57	40,80

$$\begin{aligned}
 2d' &= 2d'' \frac{1 - \alpha \cos^2 2\gamma}{\sin 2\gamma} \\
 &= 2 \left\{ 2Aa + \frac{B_0 - Aa}{f_0} \frac{m_b}{\pi} \right\} \frac{1}{1 + \cos 2\gamma} \frac{1 - \alpha \cos^2 2\gamma}{\sin 2\gamma} \quad (167)
 \end{aligned}$$

mit dem zwischen 0 und 0,5 veränderlichen Parameter α gezeigt, womit die zweckmässige Dicke des Spiegelkranzes festgestellt werden kann.

Nun vergleiche die entsprechenden Werte von Tafel 3b,c,d in Bezug auf dieselben Werte von γ und m .

Es zeigt sich, dass $d'' > d_s$ und $d' > d''$ ist. Da nun $d > d_s$ ist, so glauben wir, dass der Wert d' eine genügende Approximation an d darstellt vor allem

deshalb, weil die Ränder des Spiegels in Wirklichkeit nicht eben sind und daher eine genaue Berchnung von d unmöglich ist.

In Tafel 3e sind die wirklich notwendigen Spiegeldicken $2d_e$, d.h. die nach (162) berechneten Werte gegeben. Vergleiche sie auch mit den von Tafel 3b,d

Tafel 3e.

Grad	$2d_e$ mm (162)			
	m			
	60	90	120	180
0	15,83	18,49	21,15	26,48
40	19,87	24,48	29,10	37,27
35	18,66	22,66	26,66	34,73
30	17,73	21,30	24,86	32,04

Nun wird γ aus (157) und (158) bestimmt.

Von der obigen Schlussfolgerung kann man also

$$2d = 2 \left\{ 2\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \frac{m_b}{\pi} \right\} \frac{1}{1 + \cos 2\gamma} \frac{1 - a \cos^2 2\gamma}{\sin 2\gamma}, \quad 0 \leq a \leq 0,5 \quad (168)$$

als gültig voraussetzen.

Es ist nach (157) (158) und (168)

$$\begin{aligned} & \left[r'_0 + a \left\{ 2\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \frac{m_b}{\pi} \right\} \right] \cos^2 2\gamma + r'_0 \cos 2\gamma \\ & - \left\{ \frac{m_b}{\pi} + 2\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \frac{m_b}{\pi} \right\} = 0, \\ \cos 2\gamma = & \frac{-\frac{r'_0}{2} + \sqrt{\left(\frac{r'_0}{2}\right)^2 + \left[r'_0 + a \left\{ 2\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \frac{m_b}{\pi} \right\} \right] \left\{ \frac{m_b}{\pi} + 2\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \frac{m_b}{\pi} \right\}}}{r'_0 + a \left\{ 2\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \frac{m_b}{\pi} \right\}} \end{aligned} \quad (169)$$

Nimmt man

$$a = 0 \quad (170)$$

an, so werden nach (168) und (169)

$$2d = \frac{2}{\sin 2\gamma} \frac{2\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \frac{m_b}{\pi}}{1 + \cos 2\gamma}, \quad (171)$$

$$\cos 2\gamma = -\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{1}{r'_0} \left\{ \frac{m}{\pi} b + 2Aa + \frac{B_0 - Aa}{f_0} \frac{m}{\pi} b \right\}}. \quad (172)$$

Gibt man $2d$ vor anstatt es nach (168) oder (171) zu bestimmen, so gilt nach (157) und (158)

$$\cos 2\gamma = -\left\{ \frac{1}{2} - \frac{d}{2r'_0} \sin 2\gamma \right\} + \sqrt{\left\{ \frac{1}{2} + \frac{d}{2r'_0} \sin 2\gamma \right\}^2 + \frac{m}{\pi} \frac{b}{r'_0}}. \quad (173)$$

Nun wird nach (40) und (145)

$$V_0 = \frac{2\pi n}{m} \frac{f'}{\sin x} = \frac{2\pi n}{m} \frac{f'}{\cos 2\gamma}. \quad (174)$$

Folglich gilt nach (52) (174) (156) (158) und (171)

$$\begin{aligned} \frac{\pi n}{m} \frac{f'}{b} (T-t) &= \frac{f'}{r'_0} - \cos 2\gamma \\ &= \frac{(1 + \cos 2\gamma) \cos 2\gamma}{\frac{m}{\pi} b + \frac{1 + \cos 2\gamma}{\sin 2\gamma} d} f' - \cos 2\gamma : \end{aligned}$$

somit ist

$$\cos^2 2\gamma + (1-p) \cos 2\gamma - \frac{\pi n}{m} \frac{f'}{b} (T-t)p = 0,$$

$$p = \left\{ \frac{m}{\pi} b + \frac{1 + \cos 2\gamma}{\sin 2\gamma} d \right\} \frac{1}{f'}.$$

Daraus folgt nach (171)

$$\cos 2\gamma = -\frac{1-p}{2} + \sqrt{\left\{ \frac{1-p}{2} \right\}^2 + \frac{\pi n}{m} \frac{f'}{b} (T-t)p} \quad (175)$$

$$p = \left\{ \frac{m}{\pi} b + \frac{2Aa + \frac{B_0 - Aa}{f_0} \frac{m}{\pi} b}{\sin^2 2\gamma} \right\} \frac{1}{f'}.$$

Nach (157) (158) und (171) wird

$$r'_0 = \left\{ \frac{m}{\pi} \frac{b}{1 + \cos 2\gamma} + \frac{2Aa + \frac{B_0 - Aa}{f_0} \frac{m}{\pi} b}{1 + \cos 2\gamma} \right\} \sec 2\gamma. \quad (176)$$

Sind infolgedessen T und t gegeben, so kann die Aufgabe durch (175) und (176) in diejenige, in der T und r'_0 gegeben sind, zurückgeführt werden.

Ist h gegeben, so werden nach (158) und (157)

$$\cos 2\gamma = \frac{m}{\pi} \frac{b}{h} - 1 \quad (177)$$

$$r'_0 = h \sec 2\gamma + d \tan 2\gamma, \quad (157)$$

wo d durch (163) oder (171) bestimmt werden kann.

Folglich ist diese Aufgabe in diejenige, in der T' und r'_0 gegeben sind, übergeführt.

Ist γ oder χ gegeben, so kann h nach (158) und infolgedessen $\cos 2\gamma$ nach (177) festgesetzt werden. Deshalb kann diese Aufgabe wieder in die allererste zurückgeführt werden.

Weil nach (156) und (157)

$$r_0 = r'_0 + d \cot 2\gamma \quad (178)$$

und nach (52) und (40)

$$T - t = \frac{f' - r_0 \cos 2\gamma}{r_0} - \frac{2b}{f'} \frac{m}{2\pi n} \quad (179)$$

gilt, so werden die beiden Aufgaben identisch ebenbürtig, in denen T bzw. t vorgegeben sind.

Nun muss γ zweckmässig so festgesetzt werden, dass die durch das Objektiv nach dem Spiegel herankommenden Lichtstrahlen von der Kante der Filmtrommel und auch von den anderen Apparateilen unterwegs nicht gestört werden können.

Siehe Abb. 27 wieder und bezeichne den Durchmesser der von der letzten Linsenfläche des Objektivs und dem durch das Objektiv heraustretenden Strahlenbündel gebildeten Durchschnittsebene mit $H_1 Z'_0 H_4$ (vgl. mit Abb. 28), das Zentrum von $H_1 Z'_0 H_4$ mit Z'_0 , das Rand des Bildchens mit F_2 , den durch das Objektiv heraustretenden extremen Lichtstrahl mit $\overline{H_4 F_2}$, den Schnittpunkt von $\overline{H_4 F_2}$ und $\overline{F'_0 F'_2}$ mit P_4 , den von $\overline{H_4 F_2}$ und $\overline{CD}$ mit S_4 , den des achsenparallelen Lichtstrahls $\overline{F_2 S_2}$ mit $\overline{CD}$ mit S_2 , die Normalen an der Spiegelebene in den Punkten S_2 und S_4 mit $\overline{S_2 N_2}$ bzw. $\overline{S_4 N_4}$ und die Schnittpunkte von $\overline{F'_2 P_4}$ mit $\overline{S_2 N_2}$ und $\overline{S_4 N_4}$ mit N_2 bzw. N_4 . Sodann gilt

$$\frac{\overline{F'_2 P_4}}{\sin \widehat{S_4 P_4 F'_2}} = \frac{\overline{S_4 F'_2} \sin \widehat{F'_2 S_4 P_4}}{\sin \widehat{S_4 P_4 F'_2}}, \quad \frac{\overline{S_4 F'_2}}{\sin \widehat{S_2 S_4 F'_2}} = \frac{\overline{S_2 F'_2} \sin \widehat{S_4 S_2 F'_2}}{\sin \widehat{S_2 S_4 F'_2}}.$$

Bezeichnet man den zulässigen Spielraum für die Apparateile, der so gewählt ist, dass die extremen Lichtstrahlen ungehindert durchlaufen können, mit u und setzt man

$$\overline{Z'_0 F'} = f_0, \quad \overline{Z'_0 H_4} = B_0, \quad \overline{F_0 F_2} = \overline{F'_0 F'_2} = \Delta a \text{ (die Hälfte der Bildbreite),}$$

$$\widehat{S_2 F_2 S_4} = \widehat{S_2 F'_2 S_4} = \delta, \quad \widehat{N_2 S_2 F'_2} = \gamma, \quad \widehat{D S_2 F'_2} = \theta, \quad \overline{F'_2 P_4} \geq 2\Delta a + u$$

voraus, so ergeben sich die Beziehungen

$$\widehat{P_4 S_4 N_4} = \widehat{N_4 S_4 F'_2} = \gamma - \delta, \quad \widehat{P_4 S_4 F'_2} = 2(\gamma - \delta),$$

$$\widehat{S_4 P_4 F'_2} = \frac{\pi}{2} - (2\gamma - \delta), \quad \widehat{S_2 F'_2} = h - \Delta a \tan \gamma$$

und infolgedessen nach den vorstehenden beiden Beziehungen

$$\left\{ h - \Delta a \tan \gamma \right\} \frac{\sin \theta}{\sin(\theta + \delta)} \frac{\sin 2(\gamma - \delta)}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - 2\gamma + \delta\right)} \geq 2\Delta a + u. \quad (180)$$

Mithin wird nach (136) und (158)

$$\left\{ \frac{m}{\pi} b (1 + \tan^2 \gamma) - 2\Delta a \tan \gamma \right\} \frac{\tan(\gamma - \delta)}{1 - \tan \gamma \tan(\gamma - \delta)} \geq 2\Delta a + u. \quad (181)$$

Folglich ist

$$\tan \gamma \geq \frac{\frac{2\Delta a}{2\Delta a + 2u} + \frac{m}{\pi} \frac{2b}{2\Delta a + 2u} \tan \delta + \cos 2\gamma}{\frac{m}{\pi} \frac{2b}{2\Delta a + 2u} - \tan \delta - \tan \delta \cos 2\gamma}, \quad (182)$$

wo

$$\tan \delta = \frac{B_0 - \Delta a}{f_0}. \quad (183)$$

Beispiel 1. Sind

$$2b = 4,72 \text{ mm}; \quad 2\Delta a = 24 \text{ mm}; \quad m = 90; \quad u = 24 \text{ mm}; \quad \tan \delta = \frac{1}{7} \quad (184a)$$

gegeben, so werden nach (182) und (158)

$$\gamma \geq 31^\circ 51'; \quad h = 46,85 \text{ mm}. \quad (184b)$$

Beispiel 2. Sind

$$2b = 3,8 \text{ mm}; \quad 2\Delta a = 10,5 \text{ mm}; \quad m = 30; \quad u = 10,5 \text{ mm}; \quad \tan \delta = \frac{1}{5,6} \quad (185a)$$

vorausgesetzt, so ergeben sich nach (182) und (158)

$$\gamma \geq 38^\circ 52'; \quad h = 14,92 \text{ mm}. \quad (185b)$$

Nun gelten (52) (71) und (40)

$$W_0 + w_0 = V_0 t = V_0 T - \frac{f' - r_0 \cos 2\gamma}{r_0 \cos 2\gamma} 2b; \quad (186)$$

$$t = \frac{W_0 + w_0}{V_0}$$

$$= T - \frac{f' - r_0 \cos 2\gamma}{r_0 \cos 2\gamma} \frac{2b}{V_0} \quad (187)$$

$$\frac{W_0 + w_0}{2B} = \frac{V_0 t}{2B}. \quad (71)$$

Danach folgen aus Abb. 24a,b,c

$$\frac{w_0}{2B}; \quad (72)$$

$$\frac{W_0}{2B}; \quad (73)$$

$$\frac{L}{\mu B^2 t}; \quad (76)$$

u. a.

Endlich ergeben sich nach (38) (94) (105) und (95,1)

$$2\varphi = \frac{W_0}{f'} \cos 2\gamma; \quad (188)$$

$$W' = 2\varphi r_0. \quad (189)$$

25. Bei $\theta = \frac{\pi}{2}$, $r = 0$ mit Verschluss 4. Bei

$$\theta = \frac{\pi}{2}; \quad \gamma = 0; \quad \chi = \frac{\pi}{2} \quad (190)$$

ist es auch möglich eine Einrichtung aufzubauen. Dabei muss Verschluss 4, der in Ziff. 38 eingehend erörtert ist, notwendigerweise verwendet werden. Hier

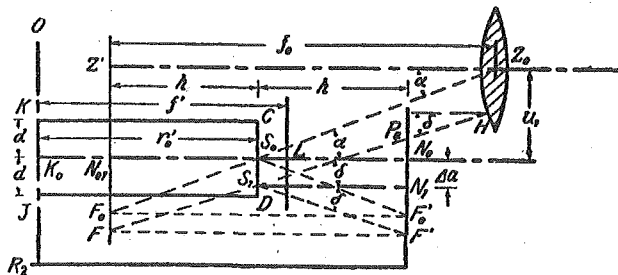


Abb. 29

steht also die optische Achse des Objektivs zur Umdrehungsachse des Spiegelkranzes senkrecht und sie ist parallel zur Normalen der Spiegelebene bei $\phi = 0$. Der Spiegelkranz ist zylinderförmig. Die Konstruktion ist in Abb. 29 schematisch dargestellt (vgl. auch mit Abb. 27).

Bezeichnet man die optische Achse des Objektivs mit $\overline{Z_0 Z'}$, das Zentrum des Objektivs mit Z_0 , den Spiegelkranz mit $JDCK$, die Umdrehungsachse des Spiegelkranzes mit $\overline{JKO}$, den betrachteten Spiegel mit $DS_1 S_0 C$, die Spiegelmitte mit S_0 , die durch das Objektiv direkt gebildete Bildebene mit $Z' F_0 F$, die nach Reflexion an DSC gebildete mit $P_4 F'_0 F'$, die entsprechenden Bildmitten mit F_0 bzw. F'_0 , die entsprechenden Bildrandpunkte mit F bzw. F' , den Schnittpunkt von $\overline{Z_0 S_0 F_0}$ und $\overline{DS_0 C}$ mit S_0 , die Normalen in S_0 und S_1 zur Spiegelebene mit $\overline{E_0 N_{01} S_0 N_0}$ und $\overline{S_1 N_1}$, die Schnittpunkte von $\overline{E_0 N_{01} S_0 N_0}$ mit $\overline{OKE_0 J}$, $\overline{Z' N_{01} F_0}$,

$\overline{LL'}$ und $\overline{P_4 N_0 F'_0 F'}$ mit $E_0 N_{01} L$ bzw. N_0 , die von $\overline{S_0 N_1}$ und $\overline{F'_0 N_1 N_0 P_4}$ mit N_1 , den extremen Lichtstrahl mit $\overline{HFS_1}$, den Schnittpunkt von $\overline{FS_1 P_4}$ und $\overline{F' F'_0 P_4}$ mit P_4 , die Filmtrommel mit $R_2 F' F'_0$ und die dicht hinter dem Objektiv eingetretete Lichtfensterebene mit $\overline{LL'}$, und setzt man nun

$$\overline{OKJ} \parallel \overline{Z' F_0} \parallel \overline{DC} \parallel \overline{F_0 F} \parallel \overline{F'_0 F'}; \quad \overline{OK} \perp \overline{Z_0 Z'} \perp \overline{Z' F_0}; \quad \overline{Z_0 Z'} = f_0;$$

$$\overline{JD} = \overline{KC} = r'_0; \quad \overline{DS_0} = \overline{S_0 C} = d; \quad \overline{F_0 F'_0} = \overline{FF'} = 2h; \quad \overline{Z' N_{01}} = u_1;$$

$$\overline{K_0 N_{01}} = c; \quad \overline{N_{01} L} = f'; \quad \overline{F' P_4} \geq 2\Delta a + u_1 (u_1: \text{der Spielraum der Apparateteile});$$

$$\widehat{Z' Z_0 S_0} = \widehat{S_0 F_0 F'_0} = \alpha; \quad \overline{N_{01} F_0} = h \tan \alpha; \quad \widehat{N_1 S_1 F'} = \widehat{S_1 F F'} = \delta,$$

so ergeben sich

$$h = \frac{m}{\pi} \frac{b}{2} \quad (\text{nach (144)}); \quad (191)$$

$$2d > \left\{ 2\Delta a + \frac{2B_0 - 2\Delta a}{f_0} h \right\} \quad (\text{nach (163)}); \quad (192)$$

$$\tan \delta = \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \quad (\text{zu (182) entsprechend})$$

$$= \frac{2\Delta a + u_1}{2h}; \quad (193)$$

$$\tan \alpha = \frac{a}{f_0 - h} \geq \frac{\Delta a + u_1}{h}; \quad (194)$$

$$h \tan \alpha = \frac{ah}{f_0 - h}; \quad (195)$$

$$c = r'_0 - h. \quad (196)$$

Bezeichnet man die mittlere Spiegelhöhe mit w , so ergibt sich

$$w = \frac{2\pi r'_0}{m}. \quad (197)$$

Hierbei muss der Verschlusschlitz in der Spiegelebene eingebaut werden, derart dass seine Kanten zur Umdrehungsachse des Spiegelkranzes parallel sind. Folglich muss die Spiegelebene mit irgendeinem Mittel oder Verfahren teilweise so behandelt, d.h. unpoliert, geschwärzt oder verhüllt, werden derart dass die Reflexion an den Teilen, an denen der Schlitzverschluss den Spiegel verdeckt, vollständig verhindert aber an dem übrigen Teil, der der Schlitzweite entspricht, gestattet wird. Dieses Verschlussystem ist als „Verschluss 4“ klassifiziert und in Ziff. 38 eingehend erörtert.

Bezeichnet man diese Verschlussschlitzweite mit W' , die auf LL' von $\overline{Z'F_0}$ projizierte mit W_0 und den von den beiden Verschlussschlitzkanten in $\overline{OKJ}$ gebildeten Zentriwinkel mit 2φ , so entstehen die Beziehungen

$$2\varphi = \frac{W_0}{f'} \frac{r'_0 - c}{r'_0} = \frac{W_0}{f'} \frac{h}{r'_0} \quad (198)$$

$$W' = 2\varphi r'_0 = \frac{W_0}{f'} (r'_0 - c) = \frac{W_0}{f'} h \quad (199)$$

$$V_0 = 2\pi \frac{n}{m} \frac{r'_0}{r'_0 - c} f' = 2\pi \frac{n}{m} \frac{r'_0}{h} f' \quad (200)$$

$$T - t = \frac{f' - h}{h} \frac{2b}{V_0} \quad (201)$$

Vergleiche Abb. 27 mit Abb. 29 und 36. Die Elemente werden wieder nach Ziff. 38 theoretisch abgeleitet.

Die Tatsache, dass die optische Achse den Spiegel nicht trifft, die von (194) gefordert wird, führt zu Unbequemlichkeiten, weil α innerhalb gewisser Grenzen bleiben muss, d.h.

$$\tan \alpha \leq \tan \Psi. \quad (202)$$

Trotz diesem Nachteil ist der grosse Vorteil vorhanden, dass die Bildfehler gut beseitigt werden können. Nämlich es gilt nach (158) und (141)

$$b\phi = -|b\phi|, \quad \phi = \pm \frac{\pi n}{m} T = \pm \frac{\pi \bar{n}}{m}, \quad (203a)$$

$$\Delta\phi = \pm \frac{2\pi n}{m} t, \quad h = \frac{m}{2\pi} b.$$

Die Undeutlichkeiten des Bildpunktes haben also nach (137) die Werte

$$\begin{aligned} [F' \cdot \mathbf{a}] &= 0 \\ [F' \cdot \mathbf{b}] &= -2b\phi^2 \\ [F' \cdot \mathbf{c}] &= -2b \left(1 - \frac{h}{\rho}\right) \Delta\phi, \end{aligned} \quad (203b)$$

bzw. die Seitenverzerrung, die Bildhöhenverzerrung und die Bildfeldwölbung nach (140).

$$\begin{aligned} \Delta(F' \cdot \mathbf{a}) &= 0 \\ \Delta(F' \cdot \mathbf{b}) &= -b\phi^2 \\ \Delta(F' \cdot \mathbf{c}) &= -2b \left(1 - \frac{h}{\rho}\right) \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta\phi\right). \end{aligned} \quad (203c)$$

Beispiel 1.) Setzt man

$$\begin{aligned} 2b &= 4,72 \text{ mm}, & \theta &= \frac{\pi}{2}, & \gamma &= 0, & n &= 60\,000 \text{ s}^{-1}, \\ m &= 180, & T &= \frac{1}{240\,000} \text{ s}, & t &= \frac{1}{270\,000} \text{ s}, \end{aligned} \quad (204a)$$

so entstehen nach (203a,b,c)

$$\phi = 0,004361, \quad \Delta\phi = 0,007752, \quad h = 67,64 \text{ mm}, \quad (204b)$$

$$[F' \cdot a] = 0, \quad [F' \cdot b] = 0, \quad [F' \cdot c] = +0,037 \text{ mm}, \quad (204c)$$

$$\Delta(F' \cdot a) = 0, \quad \Delta(F' \cdot b) = 0, \quad \Delta(F' \cdot c) = +0,002 \text{ mm}. \quad (204d)$$

Es ist bemerkenswert, dass die Bildfehler $[F' \cdot a]$, $[F' \cdot b]$, $\Delta(F' \cdot a)$ und $\Delta(F' \cdot b)$ sehr vermindert sind. Verleiche sie mit denen der anderen Einrichtungen nach anderen Verfahren.¹⁾ Aus diesem Grund ist dieses Verfahren sehr wertvoll.

26. Bei $\theta + \gamma = \frac{\pi}{2}$ mit Verschluss 3. Hier soll Verschluss 3 erklärt werden, der ebenso wie die anderen neu in dieser Arbeit vorgeschlagen ist.

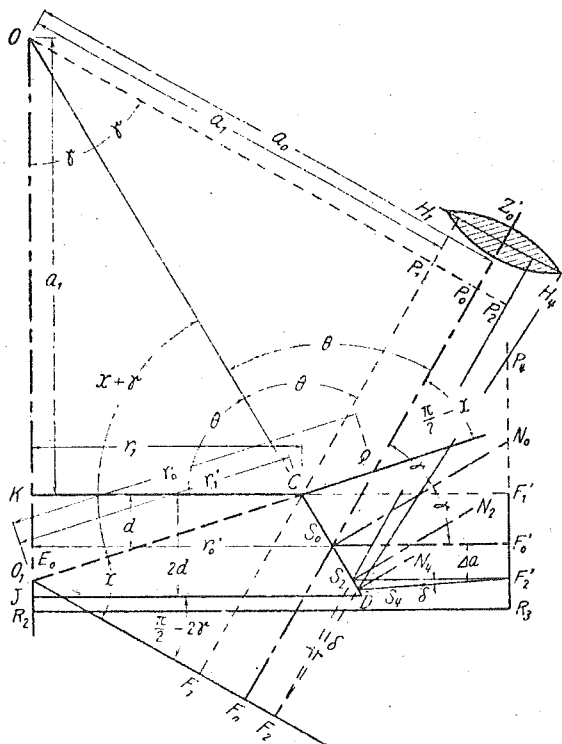


Abb. 30.

Er steht zwischen Verschluss 1 und 2 (Ziff. 16 bzw. 17): nämlich, seine Umdrehungsachse steht weder auf der Bildebene noch auf der Verschlusschlitzebene senkrecht, so dass sie zwischen die beiden Umdrehungsachsen von 1 und 2 zu liegen kommt. Siehe Abb. 30 und vergleiche sie mit Abb. 27. Nenne den Spiegelkranz $JDCK$, seine Umdrehungsachse $OKJO_1$, den Mittelpunkt von JK E_0 , die Filmtrommel $R_2R_3F'_0F'_1$, die in Frage kommende Spiegelebene CSD , den Schnittpunkt von CSD und $\overline{OO_1}$ O , die durch das Objektiv direkt gebildete imaginäre Bildebene $F_1F_0F_2$, die nach Reflexion an dem Spiegel gebildete wirkliche $F'_1F'_0F'_2$, den Durchmesser des durch die letzte Linsenfläche des Objektivs hindurchtretenden Strahlenbündels $H_1Z'_0H_4$, das Zentrum von $H_1Z'_0H_4$ Z'_0 ,

die durch Z'_0 , C und S_2 zur optischen Achse des Objektivs parallel laufenden Strahlen (P_1CF_1) $(Z_0S_0F_0)$ $(P_2S_2F_2)$ bzw. $(P_1CF'_1)$ $(Z_0S_0F'_0)$ $(P_2S_2F'_2)$, die

1) Vergleiche sie mit (246a,b,c,d) und Beispiel 14 und 16 in Tafel 8a,b, Ziff. 32.

Treffpunkte der von O zu $\overline{Z_0 S_0}$ und $\overline{P_1 C}$ gefällten Senkrechten P_0 bzw. P_1 , den extremen Strahl $(P_4 S_4 F_2)$ bzw. $(P_4 S_4 F'_2)$, den Schnittpunkt von $\overline{P_4 S_4}$ und $\overline{F'_1 F'_0 F'_2}$, die Normalen auf der Spiegelebene in den Punkten S_0 , S_2 und S_4 $\overline{S_0 N_0}$, $\overline{S_2 N_2}$ bzw. $\overline{S_4 N_4}$, die in Frage stehende Verschlusschlitzebene $\overline{O_1 C Q}$ die Umdrehungsachse des Verschlusses $\overline{O_1 O}$ und den Schnittpunkt von $\overline{O_1 C Q}$ und $\overline{Z'_0 S_0}$ Q .

Setzt man

$$\begin{aligned} \overline{OE_0} = \overline{OP_0} = a_0, \quad \overline{OP_1} = a_1, \quad \overline{KC} = r_1, \quad \overline{O_1 C} = r'_1, \quad \overline{O_1 Q} = r_0, \quad \overline{E_0 S_0} = r'_0, \\ \overline{S_0 F'_0} = h, \quad \overline{CF'_1} = h_1, \quad \overline{KE_0} = \overline{E_0 J} = d, \quad \overline{F'_2 F'_0} = \Delta a, \quad \overline{F'_2 P_4} = 2\Delta a + u, \\ \widehat{P_0 F_0} = \widehat{P_1 F_1} = c, \quad \widehat{Z'_0 F_0} = f_0, \quad \widehat{Z'_0 H_4} = B_0, \quad \widehat{N_0 S_0 Z'_0} = \widehat{N_0 S_0 F'_0} = \widehat{N_2 S_2 P_2} = \\ \widehat{N_2 S_2 F'_2} = \gamma, \quad \widehat{JDO} = \widehat{KCO} = \theta, \quad \widehat{S_2 F_2 S_4} = \widehat{S_2 F'_2 S_4} = \delta, \quad \widehat{QO_1 F_0} = \chi, \end{aligned}$$

so sind

$$a_1 = a_0 - d = r_1 \cot \gamma, \quad (205)$$

$$\begin{aligned} r_1 &= r'_1 \cos \left\{ \chi - \frac{\pi}{2} + 2\gamma \right\} \\ &= c - h_1, \end{aligned} \quad (206)$$

$$r_0 = r'_1 + d \sec \chi, \quad (207)$$

$$\begin{aligned} r'_0 &= a_0 \tan \gamma = c - h \\ &= r_1 + d \tan \gamma, \end{aligned} \quad (208)$$

$$\begin{aligned} h &= h_1 - d \tan \gamma \\ &= c - r_1 - d \tan \gamma, \end{aligned} \quad (209)$$

$$c = \left\{ a_1 + r_1 \tan \left(\chi - \frac{\pi}{2} + 2\gamma \right) \right\} \sin 2\gamma, \quad (210)$$

$$\{h - \Delta a \tan \gamma\} \frac{\sin \theta}{\sin(\theta + \delta)} \frac{\sin 2(\gamma - \delta)}{\sin \left(\frac{\pi}{2} - 2\gamma + \delta \right)} \geq 2\Delta a + u. \quad (211)$$

Mithin werden nach (209) (205) und (210)

$$\begin{aligned} r_1 &= c - h - d \tan \gamma \\ c &= r_1 \left\{ \cot \gamma + \tan \left(\chi - \frac{\pi}{2} + 2\gamma \right) \right\} \sin 2\gamma : \end{aligned}$$

folglich ist

$$c = \frac{\cot \gamma + \tan \left(\chi - \frac{\pi}{2} + 2\gamma \right)}{\left\{ \cot \gamma + \tan \left(\chi - \frac{\pi}{2} + 2\gamma \right) \right\} \sin 2\gamma - 1} \sin 2\gamma (h + d \tan \gamma). \quad (212)$$

Mithin werden nach (208) (207) und (212)

$$r'_0 = \frac{h + d \tan \gamma}{\left\{ \cot \gamma + \tan \left(\chi - \frac{\pi}{2} + 2\gamma \right) \right\} \sin 2\gamma - 1} + d \tan \gamma, \quad (213)$$

$$a_0 = r'_0 \cot \gamma, \quad (214)$$

$$r_1 = r'_0 - d \tan \gamma, \quad (215)$$

$$r_0 = r_1 \sec \left(\chi - \frac{\pi}{2} + 2\gamma \right) + d \sec \chi. \quad (216)$$

Aus der Beziehung zwischen d und γ wird unter Vorgabe von dem einen das andere bestimmt. Bei Vorgabe von γ wird d aus (171), bei Vorgabe von d wird γ aus (173) bestimmt.

Nun gilt nach (158)

$$h = \frac{m}{2\pi} \frac{2b}{1 + \cos 2\gamma}. \quad (217)$$

Mithin ergibt sich nach (211) die Bedingung:

$$\tan \gamma \geq \frac{\frac{2\Delta a}{2\Delta a + 2u} + \frac{m}{\pi} \frac{2b}{2\Delta a + 2u} \tan \delta + \cos 2\gamma}{\frac{m}{\pi} \frac{2b}{2\Delta a + 2u} - \tan \delta - \tan \delta \cos 2\gamma}, \quad (218)$$

wo

$$\tan \delta = \frac{B_0 - \Delta a}{f_0}. \quad (219)$$

Nach (40) und (47) ergibt sich

$$V_0 = \frac{2\pi n}{m} \frac{\cos \left(\chi - \frac{\pi}{2} + 2\gamma \right)}{\sin \chi} f' : \quad (220)$$

dagegen ist nach (52) und (71)

$$\begin{aligned} W_0 + w_0 &= V_0 t \\ &= V_0 T - \frac{f' - r_0 \sin \chi}{r_0 \sin \chi} 2b. \end{aligned} \quad (221)$$

Nach (221) gilt

$$T - t = \frac{f' - r_0 \sin \chi}{r_0 \sin \chi} \frac{2b}{V_0}. \quad (222)$$

Nun werden nach (38) und (46)

$$2\varphi = \frac{W_0}{f'} \sin \chi \quad (223)$$

$$W' = 2\varphi r_0, \quad (224)$$

wo 2φ der Winkel der Öffnung des Verschlussschlitzes und W' die Lichtweite des Verschlussschlitzes in Q ist.

Zur Probe setzt man die Bedingung:

$$\chi - \frac{\pi}{2} + 2\gamma = 0 \quad (225)$$

bzw.

$$2\gamma = 0 \quad (226)$$

in die eben ermittelten Formeln ein, so ergeben sich, die in Ziff. 16 bzw. 17 bewiesenen. Diese Tatsache bestätigt, dass Verschluss 3 Verschluss 1 und 2 als Spezialfälle enthält.

Bei diesem Verfahren ist die Berechnung der Elemente ziemlich umständlich, ausser wenn χ oder γ günstig angegeben werden. Ausserdem führt der Winkel zwischen Verschlussschlitzebene und Spiegelkranz bei hoher Umdrehungsgeschwindigkeit zu Schwierigkeiten. Es sollen die folgenden beiden Beispiele besprochen werden:

$$1. \quad \gamma = \frac{1}{4}\pi \quad (226)$$

$$2. \quad d = r_1 \tan\left(\chi - \frac{\pi}{2} + 2\gamma\right) \quad (227)$$

$$h = r'_0 \sin\left(\frac{\pi}{2} - 2\gamma\right). \quad (228)$$

Das erste ist die hierdurch verbesserte Einrichtung von T. Suhara.¹⁾ Sie ist in der nächsten Ziffer eingehend erörtert.

Das letztere ist der Fall, bei dem O_1 mit K (der Mittelpunkt des Spiegelkranzes), Abb. 30. übereinstimmt. Nach (217) und (227) gilt

$$\cos^2 2\gamma + \cos 2\gamma - \frac{m}{\pi} \frac{b}{r'_0} = 0 :$$

draus folgt

$$\cos 2\gamma = -\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{m}{\pi} \frac{b}{r'_0}}. \quad (229)$$

Damit kann d nach (163), (167) oder (171) bestimmt werden. Mithin ergibt sich nach (208) und (226)

1) Jedoch ist Verschluss 3 nicht benutzt. Vgl. Literatur (19) und (29).

$$\chi = \frac{\pi}{2} - 2\gamma + \tan^{-1} \frac{d}{r'_0 - d \tan \gamma} . \quad (230)$$

Nun müssen die übrigen Elemente aus (213) bis (224) berechnet werden.

27. Bei $\theta = \gamma = \frac{\pi^1)}{4}$ mit Verschluss 3. Der Gedanke des Zeitdehners von $\theta = \gamma = \frac{\pi^1)}{4}$ ist schon von früher angewandt. Es wird aber in dieser Arbeit zuerst vorgeschlagen, ihn aus Gründen der Wirksamkeit der Belichtung und der Verminderung der Belichtungsdauer eines ganzen Bildchens mit Verschluss 3 auszustatten. Infolgedessen ist das angegebene Verfahren nichts anders als ein Beispiel des in der vorstehenden Ziffer erörterten.

Die Elemente werden nach (226) (163) und von (212) bis (224)

$$h = \frac{m}{\pi} b , \quad (231)$$

$$2d > 2 \frac{\Delta a + \frac{2B_0 - 2\Delta a}{2f_0} h}{1 - \frac{2B_0 - 2\Delta a}{2f_0}} > 2 \frac{\Delta a + \frac{2B_0 - 2\Delta a}{2f_0} h}{1 - \left(\frac{2B_0 - 2\Delta a}{2f_0} \right)^2} , \quad (232)$$

$$a_0 = r'_0 = \frac{h+d}{\tan \chi} + d , \quad (233)$$

$$\tan \chi = \frac{h+d}{r'_0 - d} , \quad (234)$$

$$\begin{aligned} c &= r'_0 + h \\ &= \frac{1 + \tan \chi}{\tan \chi} (h + d) , \end{aligned} \quad (235)$$

$$r_1 = r'_0 - d = \frac{h+d}{\tan \chi} , \quad (236)$$

$$\begin{aligned} r_0 &= r'_0 \sec \chi \\ &= (h+d) \cot \chi + d \sec \chi , \end{aligned} \quad (237)$$

$$V_0 = \frac{2\pi n}{m} \frac{f'}{\tan \chi} , \quad (238)$$

$$\begin{aligned} W_0 + w_0 &= V_0 t \\ &= V_0 T - \frac{f' - r'_0 \tan \chi}{r'_0 \tan \chi} 2b , \end{aligned} \quad (239)$$

1) Vgl. (19) und (29).

$$T-t = \frac{f'-r'_0 \tan \chi}{r'_0 \tan \chi} \frac{2b}{V_0}, \quad (240)$$

$$2\varphi = \frac{W_0}{f'} \frac{r'_0}{r_0} \tan \chi, \quad (241)$$

$$W' = 2\varphi r_0. \quad (242)$$

Nach (139) bis (141) gilt dementsprechend für die Maximal-Undeutlichkeiten des Bildpunktes:

$$\begin{aligned} [F' \cdot \mathbf{a}] &= -b \cdot \Delta\phi + r'_0 \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta\phi \right) \\ [F' \cdot \mathbf{b}] &= -\Delta a \cdot \Delta\phi - 2b \left\{ 1 - \frac{h}{\rho} \right\} \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta\phi \right) \Delta\phi \\ [F' \cdot \mathbf{c}] &= -b \left\{ 1 - \frac{h}{\rho} \right\} \Delta\phi, \end{aligned} \quad (243)$$

die Maximal-Seitenverzerrung, die Maximal-Bildhöhenverzerrung und die Maximal-Bildfeldwölbung

$$\begin{aligned} \Delta(F' \cdot \mathbf{a}) &= -b \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta\phi \right) + \frac{1}{2} r'_0 \left\{ \phi^2 - \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta\phi \right) \right\} \\ \Delta(F' \cdot \mathbf{b}) &= -\Delta a \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta\phi \right) - b \left\{ 1 - \frac{h}{\rho} \right\} \left\{ \phi^2 - \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta\phi \right) \right\} \Delta\phi \\ \Delta(F' \cdot \mathbf{c}) &= -b \left\{ 1 - \frac{h}{\rho} \right\} \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta\phi \right), \end{aligned} \quad (244)$$

wo

$$\begin{aligned} b\phi &= -|b\phi| \\ \phi &= \pm \frac{\pi n}{m} T = \pm \frac{\pi \bar{n}}{m} \\ \Delta\phi &= -\frac{2\pi n}{m} t. \end{aligned} \quad (245)$$

Vergleicht man (243) (244) und (231) mit (139) (140) bzw. (217), so kann es sofort erkannt werden, dass das jetzige Verfahren im Vergleich zu den anderen von $\theta + \gamma = \frac{1}{2}\pi$ die grössten Bildfehler und den grössten optischen Hebelarm hat.

Je grösser h angenommen ist, desto grösser wird d nach (163), und um so kleiner wird t . Infolgedessen wird L vermindert, wenn T und V_0 festgehalten werden. Vergleiche (69) und (199). Deshalb kann dieses Verfahren nicht so empfohlen werden.

Beispiel.¹⁾ Setzt man

$$\begin{aligned} 2b &= 4,72 \text{ mm}, & 2\Delta a &= 10 \text{ mm}, & \theta &= \gamma = \frac{1}{2}\pi, & \bar{m} &= 180, \\ \rho &= 675 \text{ mm}, & r_0' &= 200 \text{ mm}, & T &= \frac{1}{48\,680} \text{ s},^{2)} & & \\ t &= \frac{1}{257\,400} \text{ s},^{2)} & n &= 60\,000 \text{ s}^{-1},^{2)} & & & & \end{aligned} \quad (246a)$$

so ergeben sich nach von (243) bis (245)

$$\phi = 0,02156, \quad \Delta\phi = 0,00814, \quad h = 135,2 \text{ mm};^{3)} \quad (246b)$$

$$[F' \cdot a] = +0,048 \text{ mm}, \quad [F' \cdot b] = \pm 0,041 \text{ mm}, \quad [F' \cdot c] = +0,015 \text{ mm}; \quad (246c)$$

$$\Delta(F' \cdot a) = +0,041 \text{ mm}, \quad \Delta(F' \cdot b) = \pm 0,088 \text{ mm}, \quad \Delta(F' \cdot c) = +0,033 \text{ mm}. \quad (246d)$$

28. Das Bildfenster und das Dingfenster. Hier ist ein Bildfenstersverfahren neu vorgeschlagen. Bisher ist vorausgesetzt, dass das Bildfenster immer dicht vor der Bildebene, d.h., dicht vor dem Film eingebaut werden soll. Es ist unmöglich, es sehr dicht vor die empfindliche Schicht zu stellen. Die hohe Rotationsgeschwindigkeit der Filmtrommel verursacht eine starke Luftströmung entlang ihres Umfanges, und dadurch erleidet es, ebenso wie die Filmtrommel, einen gewaltigen Luftwiderstand.

Stellt man es in einem gewissen Zwischenraum vor dem Film auf, um den Luftwiderstand abzumindern, so leistet es als Bildfenster weniger. Ausserdem ergibt sich der Nachteil, dass der Bildrand in Richtung der Bildhöhe nur während $\frac{1}{2}T - (b - b'')/v$ anstatt t belichtet wird. Der theoretische Grund ist folgendermassen.

Siehe Abb. 31. Bezeichnet man die Schlitzweite des Bildfensters mit $2b''$, die Bildhöhe mit $2b$ und die Belichtungsdauer des Bildendpunktes bei Benutzung des Bildfensters mit t' , so ergeben sich nach (13d) und (121)

$$\frac{T}{2}v = \frac{T}{2}2nb = \bar{n}b \quad (247)$$

$$\begin{aligned} t' &= T - \frac{b + \bar{n}b - b''}{v} \\ &= \frac{T}{2} - \frac{b - b''}{v}, \end{aligned} \quad (248)$$

$$\begin{aligned} b + \bar{n}b &= b'' \\ \bar{n}b &= \frac{T}{2}b \end{aligned}$$

Abb. 31.

weil der Film während T um $Tv = T2nb = 2b\bar{n}$ befördert wird.

Setzt man $2b'' = 2b$ voraus, so wird nach (248)

1) Bei diesem Beispiel ergeben sich angenähert die Bildfehler des typischen Apparates nach dem Bildfenstersverfahren. Vgl. (19) und (29).

2) In diesem Apparat ist das Doppel-Bildfenster als Verschlussschlitz benutzt.

3) Vgl. die Resultate mit denen von Beispiel 14 und 16 in Tafel 8a,b, Ziff. 32 und auch mit (204a,b,c,d), Ziff. 25.

$$t' = \frac{1}{2}T, \quad 2b'' = 2b. \quad (249)$$

Diese Annahme verkürzt also die Belichtungsdauer der Bildrandpunkte.

Übrigens, die Unvollkommenheit des gewöhnlichen Bildfensters veranlasst eine schlechte Belichtung der empfindlichen Schicht, weil der Bildrand doppelt belichtet wird.

Um dies zu vermeiden, muss

$$\frac{b + \bar{n}b - b''}{v} = T, \quad 2b'' = 2b(1 - \bar{n}) \quad (250a)$$

angenommen werden, d.h. nach (248)

$$t' = 0. \quad (250b)$$

Nimmt man stattdessen ein neues Dingfenster in der Dingebene, welches die aktuelle Lichtweitengrösse $2b''' \times 2\Delta a'''$ in der Dingebene und die projizierte $2b \times 2\Delta a$ in der Bildebene hat, so können die obigen Schwierigkeiten gänzlich beseitigt werden, was beim fest eingebauten Apparat im Laboratorium leicht zu verwirklichen ist.

Nennt man die Brennweite des Objektivs f und den Abstand der Dingebene vom vorderen Brennpunkt des Objektivs x , so gelten die Beziehungen

$$2b''' = \frac{x}{f} 2b', \quad 2\Delta a''' = \frac{x}{f} 2\Delta a. \quad (251)$$

Als Zubehör muss man hierbei auch ein Hilfsbildfenster dicht vor dem Film einrichten. Setzt man $t' = t$ in (248) ein, so wird

$$t = \frac{T}{2} - \frac{b - b''}{v}.$$

Folglich ist

$$2b'' = 2b(1 + 2nt - \bar{n}), \quad t' = t, \quad (252a)$$

d.h. bei Vernachlässigung der Glieder höherer Ordnung

$$2b'' = 2b(1 + \bar{n}), \quad t' = t. \quad (252b)$$

In dieser Arbeit sind alle Bildfehler bei diesem Ding- und Bildfenster beispielsweise berechnet. Nutzt man nach (249) ein Hilfsbildfenster, so wird die schädliche Belichtung der nächsten Bildchen auch verhindert, aber die Belichtungsdauer der Bildrandpunkte verkürzt.

29. Belichtungsdauer und Belichtungsmenge. Der Zentriwinkel der Öffnung des Verschlusschlitzes muss eigentlich kleiner sein als der eines Spiegels.

Setzt man also

$$2\varphi = a_1 \frac{2\pi}{m}, \quad (253)$$

so sind nach (38), (40), (71) und (52)

$$W_0 = a_1 \frac{2\pi}{m} \frac{f'}{\sin \chi} \quad (254)$$

$$\frac{W_0}{V_0} = \frac{a_1}{n} \quad (255)$$

$$t = \frac{a_1}{n} \left(1 + \frac{w_0}{W_0} \right) \quad (256)$$

$$\begin{aligned} T &= t + \frac{f' - r_0 \sin \chi}{r_0 \sin \chi} \frac{2b}{V_0} \\ &= \frac{a_1}{n} \left\{ 1 + \frac{w_0}{W_0} + \frac{f' - r_0 \sin \chi}{r_0 \sin \chi} \frac{2b}{W_0} \right\}. \end{aligned} \quad (257)$$

Hiermit darf die Belichtungsdauer eines ganzen Bildchens weder die Reziproke der Bildfrequenz, noch den Betrag des Gliedes: $\frac{f' - r_0 \sin \chi}{r_0 \sin \chi} \frac{2b}{V_0}$ oder $\frac{a_1}{n} \frac{f' - r_0 \sin \chi}{r_0 \sin \chi} \frac{2b}{W_0}$ in (257), überschreiten, muss aber um ausreichende Belichtung zu gewährleisten so gross sein, dass nach (79) und Abb. 24a,b,c

$$\frac{w_0}{W_0} \approx 1 \quad (258)$$

erfüllt werden kann. Mithin kann

$$2a_1 < \bar{n} < 1, \quad nT = \bar{n} \quad (259)$$

vorausgesetzt werden.

In Ziff. 15 ist erörtert, dass die Bedingung (19) anstatt (259) erfüllt werden muss. Wird T so angenommen, derart dass bei festem r_0 , $r_0 \sin \chi$, m und n das Zeitintervall zwischen zwei aufeinander folgenden Aufnahmen eine merkliche Veränderung des Erscheinungszustandes gestattet, so ergeben sich nach (52) und (71)

$$\begin{aligned} W_0 + w_0 &= V_0 T - \frac{f' - r_0 \sin \chi}{r_0 \sin \chi} 2b \\ W'_0 + w'_0 &= V_0 T' - \frac{f' - r_0 \sin \chi}{r_0 \sin \chi} 2b, \end{aligned} \quad (260)$$

wo $W'_0 + w'_0$ = die veränderte Öffnungssumme und $T' = \bar{n}T$ und $\bar{n} \leq 1$ angenommen ist.

Mithin ist nach (260)

$$\bar{n}(W_0 + w_0) - (W'_0 + w'_0) = \frac{f' - r_0 \sin \chi}{r_0 \sin \chi} 2b(1 - \bar{n}). \quad (261)$$

Es ist also die gesammte Öffnung $W'_0 + w'_0$ kleiner als $\bar{n}(W_0 + w_0)$ geworden weil $\frac{f' - r_0 \sin \chi}{r_0 \sin \chi} 2b(1 - \bar{n}) > 0$ ist. Nämlich, diese überflüssige Verminderung der gesammten Öffnung führt einen Belichtungsmengenverlust herbei. Vergleiche (69) (71) und (76): daraus folgen

$$\frac{w_0}{2B_0} = x \quad (262)$$

$$\frac{W_0 + w_0}{2B_0} = 2x \left\{ 1 + \frac{1}{6}x^2 + \frac{2}{15}x^4 + \dots \right\} \quad (263)$$

$$\frac{L}{\mu B_0^2 t} = 2x \left\{ 1 + \frac{19}{360}x^4 + \dots \right\} \quad (264)$$

$$\frac{2L}{\mu B_0(W_0 + w_0)} = 1 - \frac{1}{6}x^2 - \frac{19}{360}x^4 + \dots \quad (265)$$

Da im allgemeinen

$$x < 0,774, \quad \frac{1}{6}x^2 < 0,100, \quad \frac{19}{360}x^4 < 0,019 \quad (267)$$

besteht, so ergibt sich nach (265) bei Vernachlässigung der Glieder höherer Ordnung

$$L = 2\mu B_0(W_0 + w_0)t. \quad (267)$$

Setzt man

$$\vartheta T = T - t = \frac{f' - r_0 \sin \chi}{r_0 \sin \chi} \frac{2b}{V_0}, \quad \frac{t}{T} = 1 - \vartheta, \quad (268)$$

so gilt nach (267) (71) und (61)

$$\begin{aligned} L &= \left\{ 2\mu B_0 \frac{V_0}{n} \right\} n t^2 \\ &= \left\{ 2\mu B_0 \frac{V_0}{n} \right\} (1 - \vartheta)^2 n T^2 \\ &= \left\{ 2\mu B_0 \frac{V_0}{n} \right\} (1 - \vartheta)^2 \frac{\bar{n}^2}{n}. \end{aligned} \quad (269)$$

Hierdurch ist $2\mu B_0 V_0 / n$ von n ebenso wie $\bar{n}$ unabhängig. Vergleiche (40) (47) (198) und (220). Da ϑ nur von Wurzeln dritten oder vierten Grades

abhängt, so kann es als langsam veränderlich vorausgesetzt werden. Daraus folgt, dass L nur von nt^2 abhängig ist und nur von $\bar{n}^2/n$, oder nT^2 , solange die Veränderung von n klein ist.

Hat man bereits ein gewisses Beispiel beim Entwurf oder Aufbauen eines Apparates aufgelöst, und will man aufs neue ein zweites einrichten, so kann $\bar{n}_2$ oder n_2 nach (269) durch

$$\frac{\bar{n}_2^2}{n_2} = \frac{\bar{n}_1^2}{n_1} \frac{V_{01}}{n_1} \frac{n_2}{V_{02}} \left\{ \frac{1-\vartheta_1}{1-\vartheta_2} \right\}^2 \frac{L_2}{L_1} \frac{2B_{01}\mu_1}{2B_{02}\mu_2} \quad (270)$$

$$\vartheta_i = \frac{f'_i - r_{0i} \sin \chi_i}{r_{0i} \sin \chi_i} \frac{2b}{V_{0i} T_i} \quad i = 1, 2$$

ermittelt werden, wo die Indizes 1 und 2 das Element in Bezug auf das erste bzw. zweite Beispiel bedeuten.

Soll ein anderer Apparat mit demselben Objektiv, demselben Spiegelkranz und derselben Lichtquelle eingerichtet werden, d.h. ist

$$\mu_1 = \mu_2, \quad 2B_{01} = 2B_{02}, \quad \vartheta_1 = \vartheta_2, \quad \frac{V_{01}}{n_1} = \frac{V_{02}}{n_2},$$

so gilt nach (270)

$$\frac{\bar{n}_2^2}{n_2} = \frac{\bar{n}_1^2}{n_1} \frac{L_2}{L_1}. \quad (271)$$

Da V_0 von T umgekehrt proportional abhängig ist, so gilt nach (260)

$$\begin{aligned} W_0 + w_0 &= V_0 T' - \frac{f' - r_0 \sin \chi}{r_0 \sin \chi} 2b \\ V_0' &= \frac{V_0}{\bar{n}} = \frac{2\pi n}{m'} \frac{f'}{\sin \chi} \\ T' &= \bar{n} T \\ m' &= \bar{n} m. \end{aligned} \quad (272)$$

Diese Schlussfolgerung bedeutet, dass die Verschlusscheibe von dem Spiegelkranz getrennt eingerichtet werden muss, d.h. der Spiegelkranz mit m Spiegeln muss mit der Umdrehungszahl $2\pi n/m$ getrieben werden, während die Verschlusscheibe mit m' Schlitzen mit der Umdrehungszahl $2\pi n/m' = 2\pi n/m\bar{n}$: dabei müssen die Umdrehungsachsen natürlich individuell ausgestattet werden.

Es ist aber schwierig bei einer Einrichtung mit extrem hoher Bildfrequenz in solcher Weise vorzugehen, trotzdem die Entwurfs-elemente berechnet werden können. Der Verschluss muss nach Kapitel 3 entworfen werden.

Dennoch gibt es ein Hilfsverfahren, wodurch die Lichtmengenverluste herabgesetzt und gute Aufnahmen erzielt werden können, wenn auch die Bildfrequenz herabgemindert werden muss. Dieser Gedanke ist folgendermassen:

Ist n die erforderliche Bildfrequenz, so muss $2n$ als die aktuelle Bildfrequenz und $T = \frac{1}{4n}$ ($\bar{n} = \frac{1}{2}$) als die Belichtungsdauer eines ganzen Bildchens angenommen werden, m und χ aber nicht geändert, und wähle n Bildchen aus den $2n$ eines um das andere nach der Aufnahme aus. Das Verfahren ist also auch realisierbar.

Die Belichtungsintensität ist im Wesentlichen über den mittleren Teil der Bildebene, wie es durch $ABCD$ in Abb. 32 dargestellt ist, verteilt. Von A nach B auf der Abszissenachse ist die Belichtungszeit gezeichnet und von $\bar{AB}$ nach oben die dementsprechende Belichtungsintensität. Am Anfang und am Ende ist die Belichtung nicht so wirkungsvoll. Dürfte man diese Zeitdauer auf den beiden Seiten der Belichtungskurve jede für sich auf $\frac{1}{5}t$, d. h. auf $\frac{2}{5}t$ zusammengesetzt abschätzen, sodann würde die wirksame Belichtungsdauer für den

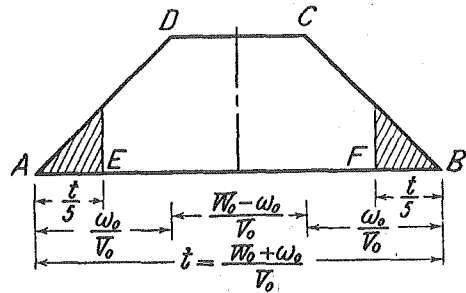


Abb. 32.

Mittelteil $\frac{3}{5}t$. In Abb. 32 sind die ersten beiden Teile schraffiert und ist der letztere ganz frei gezeichnet.

Nennt man das wirksame Belichtungsverhältnis $\bar{N}$, so entsteht die Beziehung:

$$\bar{N} = n \left(T - \frac{2}{5}t \right) = \bar{n} - \frac{2}{5}nt, \quad (273)$$

d. h. bei Vernachlässigung der Glieder höherer Ordnung

$$\bar{N} = \frac{3}{5}\bar{n}, \quad \bar{n} = \frac{5}{3}\bar{N}. \quad (274)$$

Setzt man $\bar{N} = \frac{1}{4}$, so entsteht nach (272)

$$\bar{n} = \frac{1}{2,4}, \quad \bar{N} = \frac{1}{4}. \quad (275)$$

Dieses Resultat bestätigt die Tatsache, dass bei gewöhnlichen Kino-apparaten

$$\bar{n} \approx \frac{1}{2} \quad (276)$$

angenommen ist.

Man darf also

$$\bar{n} \leq \frac{1}{2} \quad (277)$$

im allgemeinen gültig voraussetzen. Diese Schlussfolgerung ist schon als (19)

in Ziff. 15 und 20, gegeben.

Nun müssen f' und $r_0 \sin \chi$ zweckmässig so angenommen werden, dass t so gross wie möglich, d. h. $\frac{f' - r_0 \sin \chi}{r_0 \sin \chi}$ so klein wie möglich (vgl. Gl. (52)), festgesetzt werden darf, solange die Bedingung $T \geq t$ gilt. Vergleiche (264) und (265).

Daher muss f' und $r_0 \sin \chi$, möglichst klein gewählt werden, derart dass die oben erwähnte Beziehung erfüllt aber die anderen Ausrüstungen dadurch nicht gestört werden.

Ausserdem müssen die Beziehungen (127), d. h.

$$2\phi = \pm \frac{2\pi n}{m} T = \pm \frac{2\pi \bar{n}}{m} \quad (127)$$

$$\Delta\phi = \pm \frac{2\pi n}{m} t,$$

von T und t befriedigt werden derart, dass die Bildfehler (139) und (140) eine bestimmte Grenze nicht überschreiten.

Hierbei befindet sich auch die Bedingung

$$\frac{2b}{V_0} \leq (T-t) \leq t \quad (278)$$

nach (67).

Alle Einrichtungen, die an der Belichtung der empfindlichen Schicht teilnehmen, müssen nach der in Ziff. 19 erörterten Theorie der Wirksamkeit der Belichtung eines einzelnen Bildpunktes entworfen werden. Abb. 24a,b,c geben die zweckmässigen Beziehungen unter den Elementen: $2B$, W_0 , w_0 und L , durch die die Belichtung der empfindlichen Schicht erfolgreich ausgeführt werden kann.

Die erforderliche Belichtungsmenge kann nach den vorhandenen Beispielen durch Umrechnung festgesetzt werden.

Siehe Abb. 33. Es ist eine zu Abb. 28 analoge Abbildung. Nur eine kleine Abänderung ist bei Abb. 33 in Bezug auf Abb. 28 vorhanden, nämlich, es ist $2d_i$ dabei als die wirksame Dicke des Spiegelkranzes anstatt der erforderlichen $2d_e$ genommen, die nach (162) festgesetzt ist.

Man bezeichnet den Durchmesser des

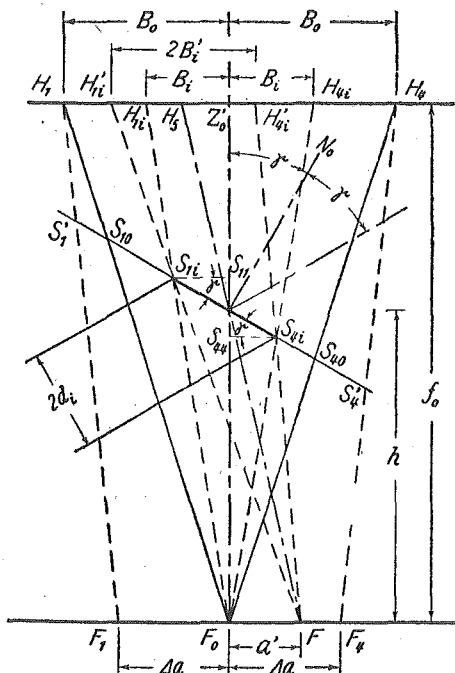


Abb. 33.

durch die letzte Linsenfläche des Objektivs durchtretenden Lichtbündels mit $\overline{H_1 Z'_0 H_4}$, die optische Achse des Objektivs mit $\overline{F_0 S_0 Z'_0}$, das vom Objektiv direkt gebildete Bildchen mit $\overline{F_1 F_0 F_4}$, einen beliebigen Bildpunkt mit F , die gegebene Spiegelweite in Richtung der Bildbreite mit $\overline{S_{1i} S_0 S_{4i}}$, die erforderliche Spiegelbreite mit $\overline{S'_1 S_0 S'_4}$, die Normale in S_0 an $\overline{S'_0 S_0 S'_4}$ bzw. $\overline{S_{1i} S_0 S_{4i}}$ mit $\overline{S_0 N_0}$, die Schnittpunkte von $\overline{F_0 S_{1i} H_{1i}}$ $\overline{F_0 S_{4i} H_{4i}}$ $\overline{F S_{1i} H_{1i}}$ $\overline{F S_{4i} H_{4i}}$ und $\overline{F S_0 H_s}$ mit $\overline{H_1 Z'_0 H_4}$ mit $\overline{H_{1i} H_{4i}}$ $\overline{H_{1i} H_{4i}}$ bzw. H_s , und die Schnittpunkte von $\overline{H_1 F_1}$ und $\overline{H_4 F_4}$ mit $\overline{S'_1 S_{1i} S_0 S_{4i} S'_4}$ mit S'_1 bzw. S'_4 . Fälle die Senkrechten von S_{1i} und S_{4i} auf $\overline{Z'_0 F_0}$ und bezeichne die Treffpunkte mit S_{11} bzw. S_{44} .

Setzt man

$$\begin{aligned}\overline{Z'_0 F_0} &= f_0, \quad \overline{S F_0} = h, \quad \overline{H_1 H_4} = 2B_0, \quad \overline{H_{1i} H_{4i}} = 2B_i, \quad \overline{H'_{1i} H'_{4i}} = 2B'_i, \\ \overline{S_{1i} S_0} &= \xi_1, \quad \overline{S_0 S_{4i}} = \xi_4, \quad \overline{F_0 F} = a', \quad \overline{F_1 F_4} = 2\Delta a, \\ \widehat{\overline{Z'_0 S_0 N_0}} &= \widehat{\overline{S_0 S_{1i} S_{11}}} = \widehat{\overline{S_0 S_{4i} S_{44}}} = \gamma, \quad 2d_i = (\xi_1 + \xi_4) \cos \gamma,\end{aligned}$$

so ergeben sich die Beziehungen:

$$\begin{aligned}\overline{H_{1i} Z'_0} &= \overline{S_{1i} S_{11}} \frac{\overline{F_0 Z'_0}}{\overline{F_0 S_0} + \overline{S_0 S_{11}}} \\ &= \overline{Z'_0 H_{4i}} = \overline{S_{4i} S_{44}} \frac{\overline{F_0 Z'_0}}{\overline{F_0 S_0} - \overline{S_0 S_{44}}} \\ \overline{H_{1i} H_s} &= \frac{\overline{F_0 Z'_0}}{\overline{F_0 S_0} + \overline{S_0 S_{11}}} \left\{ \overline{S_{1i} S_{11}} - \overline{S_0 S_{11}} \frac{\overline{F_0 F}}{\overline{F_0 S_0}} \right\} \\ \overline{H_s H_{4i}} &= \frac{\overline{F_0 Z'_0}}{\overline{F_0 S_0} - \overline{S_0 S_{44}}} \left\{ \overline{S_{4i} S_{44}} - \overline{S_{44} S_0} \frac{\overline{F_0 F}}{\overline{F_0 S_0}} \right\} \\ \overline{H'_{1i} H'_{4i}} &= \overline{H'_{1i} H_s} + \overline{H_s H'_{4i}},\end{aligned}$$

d.h.

$$\begin{aligned}B_i &= \xi_1 \cos \gamma \frac{f_0}{h + \xi_1 \sin \gamma} = \xi_4 \cos \gamma \frac{f_0}{h - \xi_4 \sin \gamma} \\ 2B'_i &= \frac{f_0}{h + \xi_1 \sin \gamma} \left\{ \xi_1 \cos \gamma - \xi_1 \sin \gamma \frac{a'}{h} \right\} \\ &\quad + \frac{f_0}{h - \xi_4 \sin \gamma} \left\{ \xi_4 \cos \gamma - \xi_4 \sin \gamma \frac{a'}{h} \right\}.\end{aligned}\tag{279}$$

Aus den letzten Gleichungen gilt nach (279)

$$2B'_i = 2B_i \left\{ 1 - \frac{a'}{h} \tan \gamma \right\}.\tag{280}$$

Ferner ergibt sich aus (279)

$$\begin{aligned}
 2d_i &= (\xi_1 + \xi_4) \cos \gamma \\
 &= \frac{2h}{1 - \left(\frac{2B_i}{2f_0} \tan \gamma \right)^2} \frac{2B_i}{2f_0} .
 \end{aligned}
 \tag{281}$$

Bezeichnet man die Schnittpunkte von $\overline{F_0 H_1}$ und $\overline{F_0 H_4}$ mit $\overline{S_0' S_0' S_4'}$ mit S_{10} bzw. S_{40} und die zur Spiegelbreite $\overline{S_{10} S_0' S_{40}}$ entsprechende Dicke des Spiegelkranzes mit Sd'_e , so entsteht nach (281), oder in (162) durch Ersetzung

$$2d_e \rightarrow 2d'_e$$

$$2a \rightarrow 0$$

$$\frac{m}{\pi} \frac{b}{1 + \cos 2\gamma} = h , \tag{158}$$

$$2d'_e = \frac{2h}{1 - \left(\frac{2B_0}{2f_0} \tan \gamma \right)^2} \frac{2B_0}{2f_0} . \tag{282}$$

Infolgedessen folgen aus (281) und (282) bei Vernachlässigung der Glieder höherer Ordnung

$$2B_i = \frac{2d_i}{2h} 2f_0 \left\{ 1 - \left(\frac{2d_i}{2h} \tan \gamma \right)^2 \right\} \tag{283}$$

$$2B_0 = \frac{2d'_e}{2h} 2f_0 \left\{ 1 - \left(\frac{2d'_e}{2h} \tan \gamma \right)^2 \right\} . \tag{284}$$

Bezeichnet man die Belichtungsintensität im Fall von (281) und (283) und im Fall von (282) und (284), im Hinblick auf (69), L_i bzw. L , so entsteht

$$L_i = L \frac{2B_i}{2B_0} . \tag{285}$$

Setzt man

$$2b = 4,72 \text{ mm} , \quad 2a = 10 \text{ mm} , \quad m = 180 , \quad n = 60\,000 \text{ s}^{-1} ,$$

$$2d_i = 30 \text{ mm} , \quad \gamma = \frac{1}{4} \pi , \quad h = 135,2 \text{ mm} , \quad f_0 = 250 \text{ mm} , \tag{286}^1$$

$$2B_0 = 71,43 \text{ mm} , \quad T = \frac{1}{48\,680} \text{ s} , \quad t = \frac{1}{257\,400} \text{ s} ,$$

$$v = 2bn = 283\,300 \text{ mm s}^{-1} , \quad \text{u.a.} ,$$

so entstehen mit Rücksicht auf die Doppel-Verschlussschlitze

1) Das Beispiel kennzeichnet die annähernden Werte der Elemente eines von den weltberühmtesten Apparaten.

$$x = \frac{w_0}{2B_0} = 0,066\,06 \quad \text{nach (69)} \quad (287)$$

$$2B_i = 54,76 \text{ mm} \quad \text{nach (283)} \quad (288)$$

$$\frac{2B_i}{2B_0} = \frac{1}{1,303}, \quad (289)$$

und in Hinsicht auf (69)

$$L_i = \left\{ 2B_0^2 (\sin^{-1} x + xv\sqrt{1-x^2}) \int_0^t \mu dt \right\} \frac{2B_i}{2B_0} \quad (290)$$

$$\begin{aligned} L_{im} &= 2B_0^2 \mu (\sin^{-1} x + xv\sqrt{1-x^2}) \frac{1,178}{v} \frac{1}{1,303} \\ &= \frac{\mu B_0^2}{1\,187\,000} \quad \text{in der Bildmitte, (291a)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{ir} &= 2B_0^2 \mu (\sin^{-1} x + xv\sqrt{1-x^2}) \frac{0,589}{v} \frac{1}{1,303} \\ &= \frac{1}{2} L_{im} \\ &= \frac{\mu B_0^2}{2\,374\,000} \quad \text{am Bildrand, (291b)} \end{aligned}$$

wo L_{im} und L_{ir} L_i in der Bildmitte bzw. am Bildrand bedeuten.

Siehe Abb. 34, wo die Belichtungsintensität eines beliebigen Bildpunktes in Bildhöhenrichtung und ihr durchschnittlicher Wert im Verhältnis zu der ursprünglichen als II_a gezeichnet ist. Daraus erhält man den flächenmässigen Durchschnittswert der Belichtungsintensität, der 83,6 % von (291a), d.h. 64,1 % von der ursprünglichen beträgt.

Bezeichnet man die Belichtungsintensität, die für gute Aufnahmen nötig ist, mit L , so ergibt sich nach (289) und (291a) in Hinsicht auf (286)

$$\frac{L}{\mu B_0^2} \geq \frac{0,836}{1\,187\,000} \frac{1}{1,303} \left(\frac{71,43}{250} \frac{f_0}{2B_0} \right)^{2.1},$$

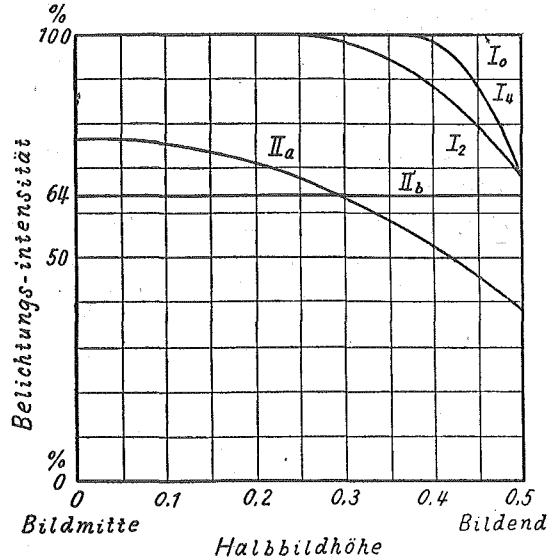


Abb. 34.

1) Die ganze Lichtmenge bis auf die durch Reflexion verursachten Verlust, die durch das Objektiv hereinkommt, kann mit irgendeinem Verfahren benutzt werden.

d.h.

$$\frac{L}{\mu B_0^2} \geq \frac{1}{22\,500\,000} \left(\frac{f_0}{2B_0} \right)^{2.1} \quad (292)$$

Eine gute Aufnahme ist mit dieser Lichtquelle gewährleistet, solange (292) entsteht.

In derselben Abbildung sind die Belichtungsintensitätskurven der Verschlüsse, die in der jetzigen Arbeit vorgeschlagen sind, gezeichnet. I_0 zeigt die bei der Benutzung des Dingfensters mit dem Hilfsbildfenster nach (252a), und I_4 und I_2 die von $\bar{n} = \frac{1}{4}$ bzw. $\bar{n} = \frac{1}{2}$ bei $T = 1,2t$ und $2b'' = 2b$ nach (249).

Siehe auch Abb. 28.

Man kann der Abb. 34 die Leistungsfähigkeit der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Verschlussysteme entnehmen.

Man kann mit den Werten von (286) aus (162) und (282)

$$2d_e = 49,32 \text{ mm} \quad (293a), \quad 2d'_e = 39,45 \text{ mm} \quad (293b)$$

berechnen: vergleiche sie mit $2d_i = 30 \text{ mm}$ in (286). (293a) bedeutet die erforderliche Dicke des Spiegelkranzes als die gültige Einrichtung zur gleichmässigen vollständigen Belichtung des ganzen Bildchens und (293b) die erforderliche zur wirksamen Belichtung des Mittelbildpunktes. Obendrein spricht (280) aus, dass die unausreichende Dicke des Spiegelkranzes ausser dem Belichtungsmengenverlust eine ungleichmässige Verteilung der Belichtungsintensität verursacht. Dieser Belichtungsmengenverlust beträgt ca. 30% bei dem angegebenen Beispiel: vergleiche (289).

Im allgemeinen muss $2d$ nach (163) festgesetzt werden, wie es in Ziff. 24 vorher erörtert ist. Im Gegenteil, falls $2d_i$ zuerst vorausgesetzt ist, muss γ nach (173) festgestellt werden. Bezeichnet man das letztere γ mit γ_i , das dementsprechende h mit h_i und die Belichtungsintensität des Mittelbildpunktes mit L_{im} , so ergeben sich nach (158) (283) und (285)

$$h_i = \frac{m}{\pi} \frac{1}{1 + \cos 2\gamma_i} \quad (294)$$

$$2B_i = \frac{2d_i}{2h_i} 2f_0 \left\{ 1 - \left(\frac{2d_i}{2h_i} \tan \gamma_i \right)^2 \right\} \quad (295)$$

$$L_{im} = L \frac{2B_i}{2B_0} \quad (296)$$

hierbei muss

$$2B_i = 2B_0 \quad (297a)$$

in (296) eingesetzt werden, falls

$$2d_i > 2d'_e \quad (297b)$$

Tafel 4.

Beispiel Nr.	1	2	3	4	5 ¹⁾	Anmerkungen
$2b$ mm			4,72			gegeben
$2Aa$ mm			10,0			gegeben
f_0 mm			250,0			gegeben
$2B_0$ mm			71,43			gegeben
r_0' mm			200,0			gegeben
m			180			gegeben
n s ⁻¹			60 000			gegeben
Γ_0 mm s ⁻¹			283 300			gegeben
u mm	35	35	35			gegeben
α	3,5					(168)
		0,0				(170)
γ	29° 18'					(169)
		29° 02'				(172)
			29° 37'			(173)
				$\frac{1}{4}\pi$	$\frac{1}{4}\pi$	gegeben
$\gamma \geq$	22° 57'	23° 04'	28° 48'	genügend	genügend	(182)
$2d$ mm	35,44			53,24		(168)
		41,04				(171)
			30,0 ³⁾		30,0 ³⁾	gegeben
$2d_s$ mm	34,24	34,06	34,39	49,32	49,32	(161)
$2d_e$ mm	32,04	31,90	32,15	43,90	43,90	(162)
$2d_e'$ mm	25,57	25,43	25,74	39,45	39,45	(282)
h mm	88,94	88,46	89,52	135,2	135,2	(158)
$2B_i$ mm	71,43	71,43	71,43	71,43		$2B_0$
					54,76	(283)
$\frac{Lim}{L}$ ²⁾	1,0	1,0	1,0 ³⁾	1,0	$\frac{1}{1,303}$ ³⁾	(296)

1) Sie sind die angenäherte Werte der Elemente eines von den weltberühmten Apparaten.

2) Das Verhältnis der Belichtungsintensität des Mittelbildpunktes in Bezug auf die Maximal-Belichtungsintensität.

3) Nicht gross genug, um die angegebene Belichtungsintensität auf dem ganzen Bildchen zu garantieren. Vgl. $2d$ mit $2d_e$ und $2d_s$.

Endlich sind die verhältnismässigen Abweichungen der Elemente :

$$\gamma, \quad 2d, \quad 2d_s, \quad 2d_e, \quad 2d'_e, \quad h, \quad 2B_0, \quad 2B_i,$$

die durch die ursprüngliche Annahme der Rechnung hervorgerufen sind, in Tafel 4 beispielweise gezeigt. Daraus kann man sofort erkennen, dass, falls $2d$ am Anfang vorausgesetzt ist, die Belichtungs-wirksamkeit des Bildchens im allgemeinen nicht zureichend ist. Vergleiche Beispiel 3 und 5 mit 1, 2 und 4. Es ist besonders merkwürdig, dass ein Belichtungsmengenverlust von ca. 30% bei Beispiel 5 gegenüber Beispiel 1, 2 und 3 auftritt.

Zum Schluss ergeben sich nach (52) (61) (71) (173) und (220)

$$\bar{n} = \left\{ \frac{W_0 + w_0}{f'} + \frac{f' - r_0 \sin \chi}{r_0 \sin \chi} \frac{2b}{f'} \right\} \frac{m}{2\pi} \sin \chi \quad \text{für Verschluss 1}$$

$$\bar{n} = \left\{ \frac{W_0 + w_0}{f'} + \frac{f' - r_0 \sin \chi}{r_0 \sin \chi} \frac{2b}{f'} \right\} \frac{m}{2\pi} \sin \chi \sec \left(\chi - \frac{1}{2}\pi + 2\gamma \right) \quad \text{für Verschluss 3.} \quad (298)$$

Folglich, setzt man $\left\{ \frac{W_0 + w_0}{f'} + \frac{f' - r_0 \sin \chi}{r_0 \sin \chi} \frac{2b}{f'} \right\}$ als eine Konstante annähernd fest, so wird $\bar{n}$ zu m umgekehrt proportional. Im Gegensatz, je kleiner m angenommen ist, desto grösser werden die Bildfehler, und je kleiner n vorausgesetzt ist, um so kleiner werden die Bildfehler. Deshalb muss die Lichtquelle möglichst gross angenommen werden derart, dass die Bildfehler immerhin unter bestimmten Grenzen beibehalten werden können. Vergleiche (240) (241) und (242).

30. Das gleichwertige Lichtfenster als Belichtungsdauer-regler. Bisher wurde das dicht hinter dem Objektiv eingerichtete neue Lichtfenster, das mit dem Verschluss-schlitz als Belichtungsdauer-regler wirkt, als senkrecht zur optischen Achse angenommen.

Dies ist aber nicht immer notwendig. Anstatt dessen genügt es, dass diejenigen Kanten dieser Blende, welche mit den des Verschlusschlitzes als Belichtungsregulator wirkt, auf der Mittellinie der Bildebene sich schneiden muss.

Siehe Abb. 35. Man bezeichnet die optische Achse des Objektivs mit $Z_0 F_0$, die Zentrallinie der Bildebene mit $O'O_1 F_0$, den Verschlusschlitz mit $Q_1 Q_2 Q_3 Q_4$, den Mittelpunkt des Verschlusschlitzes mit Q , das

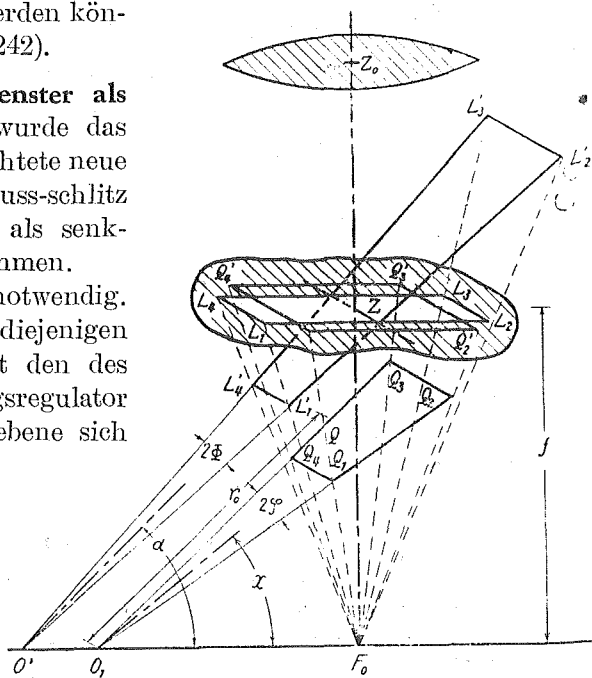


Abb. 35.

dicht hinter dem Objektiv eingerichtete gleichwertige Lichtfenster mit $L_1' L_2' L_3' L_4'$, den Schnittpunkt von $\overline{Z_0 F_0}$ und $L_1' L_2' L_3' L_4'$ mit Z , den Schnittpunkt von $\overline{Q_1 Q_2 Q_3 Q_4}$ mit O_1 und den von $\overline{L_1' L_2'}$ und $\overline{L_3' L_4'}$ mit O' . Nun projiziert man $L_1' L_2' L_3' L_4'$ und $Q_1 Q_2 Q_3 Q_4$ in die Lichtfensterebene, die durch Z zur optischen Achse des Objektivs senkrecht steht, von der Zentrallinie $\overline{F_0 O'}$, d.h. mit den Strahlen, die durch die in $\overline{F_0 O'}$ liegenden Punkte hinausstrahlen, und bezeichnet sie mit $L_1 L_2 L_3 L_4$ bzw. $Q_1' Q_2' Q_3' Q_4'$. Setzt man $\overline{ZF_0} = f'$, $\overline{O_1 Q} = r_0$, $\widehat{QO_1 F_0} = \chi$, $\widehat{ZO' F_0} = \chi'$, $\widehat{Q_1 O_1 Q_3} = 2\varphi$, $\widehat{L_1 O' L_3} = 2\phi$, die Schlitzweite von $L_1' L_2' L_3' L_4'$ in $Z = w_0$ und die von $Q' Q' Q' Q'$ in $Z = W_0$ voraus, so ergeben sich die Beziehungen:

$$\phi = \frac{w_0}{f'} \sin \chi' \quad (299)$$

$$2\varphi = \frac{W_0}{f'} \sin \chi. \quad (300)$$

Ist

$$\chi' = \chi, \quad (301a)$$

so gilt

$$2\phi = \frac{w_0}{f'} \sin \chi = \frac{w_0}{W_0} 2\varphi. \quad (301b)$$

Die Umriss-kanntenlinien $\overline{L_1 L_2}$ und $\overline{L_3 L_4}$, ebenso $\overline{Q_1' Q_2'}$ und $\overline{Q_3' Q_4'}$ schneiden sich in dem unendlich fernen Punkt der Zentrallinie $\overline{F_0 O'}$, d.h. sie sind einander parallel.

Die Projektion $L_1 L_2 L_3 L_4$ des Lichtfensters ist dann nichts anders als dasjenige, welches in dieser Arbeit schon vorgeschlagen wurde. Vergleiche Ziff. von 17 bis 19 und von 24 bis 27. Dementsprechend orientiert sich das Lichtfenster in der Lage $L_1' L_2' L_3' L_4'$.

Die Umänderung von $L_1 L_2 L_3 L_4$ nach $L_1' L_2' L_3' L_4'$ führt fast keinen bemerkenswerten Einfluss auf die Wirksamkeit als Belichtungsdauer-regler herbei sogar für die Bildpunkte, die nicht in der Zentrallinie liegen.

Deshalb nennt man $L_1' L_2' L_3' L_4'$ das gleichwertige Lichtfenster.

Es wird nicht mehr ausdrücklich erwähnt werden, kann aber immer statt des Normalen benutzt werden,

31. Antriebsmaschinen. Es ist nicht so einfach die Filmtrommel und den Spiegelkranz bei hoher Umdrehungszahl mit einem Motor gleichzeitig in Bewegung zu setzen. Im allgemeinen wendet man das Zahnradverfahren zur Übertragung der Umdrehungskraft an.

Die Idee zu Apparaten besonders hoher Umdrehungszahl, den Spiegelkranz und die Filmtrommel mit zwei Motoren getrennt antreiben zu lassen, ist neu. Die Zahnradzahl kann dann vermindert werden weil im allgemeinen der Spiegelkranz vielfach schneller als die Filmtrommel umlaufen muss und infolgedessen viele Zahnräder erforderlich sind. Die Umdrehungsgeschwindigkeit

kann hierbei durch Umschaltung der Polverbindung bei Asynchron-motoren und durch Regulierung der Feld-erregung bei Gleichstormmaschinen zweckmässig abgeändert werden.

32. Zusammenfassung der Elemente. Für die Zwecke des Entwurfs sind hier die Elemente noch einmal zusammengefasst:

I. Verschluss 1.

Aufgabe 1. sind

$$T, r'_0, \text{ neben } 2b, 2Aa, f_0, 2B_0, f', 2B, m, n,$$

gegeben, so ergeben sich

$$v = 2bn, \quad (59)$$

$$\bar{n} = nT, \quad (61)$$

$$2a_1 \leq \bar{n} \leq 1, \quad (259)$$

$$\cos 2\gamma = \frac{-\frac{r'_0}{2} + \sqrt{\left(\frac{r'_0}{2}\right)^2 + (r'_0 + a\zeta)\left(\frac{m}{\pi}b + \zeta\right)}}{r'_0 + a\zeta},$$

$$\zeta = 2Aa + \frac{B_0 - Aa}{f_0} \frac{m}{\pi} b, \quad (169)$$

$$2d = \frac{2\zeta}{1 + \cos 2\gamma} \frac{1 - \alpha \cos^2 2\gamma}{\sin 2\gamma}, \quad 0 \leq \alpha \leq 0,5, \quad (168)$$

$$\cos 2\gamma = -\left(\frac{1}{2} - \frac{d_i}{2r'_0} \sin 2\gamma\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{2} + \frac{d_i}{2r'_0} \sin 2\gamma\right)^2 + \frac{m}{\pi} \frac{b}{r'_0}}, \quad (173)$$

$$\tan \gamma \geq \frac{\frac{2Aa}{2Aa+2u} + \frac{m}{\pi} \frac{2b}{2Aa+2u} \frac{B_0-Aa}{f_0} + \cos 2\gamma}{\frac{m}{\pi} \frac{2b}{2Aa+2u} - \frac{B_0-Aa}{f_0} - \frac{B_0-Aa}{f_0} \cos 2\gamma}, \quad (182) \quad (183)$$

$$\chi = \frac{1}{2}\pi - 2\gamma = 2\theta - \frac{1}{2}\pi, \quad (145)$$

$$0 \leq \chi \leq \frac{1}{2}\pi, \quad \frac{1}{4}\pi \leq \theta \leq \frac{1}{2}\pi, \quad \frac{1}{4}\pi \geq \gamma \geq 0, \quad (146)$$

$$h = \frac{m}{\pi} \frac{b}{1 + \cos 2\gamma}, \quad (158)$$

$$c = r'_0 + h, \quad (157)$$

$$h_1 = h + d \tan \gamma, \quad (154)$$

$$r_1 = c - h_1, \quad (153)$$

$$r_0 \cos 2\gamma = h + d \operatorname{cosec} 2\gamma, \quad (156)$$

$$r_0 = (h + d \operatorname{cosec} 2\gamma) \sec 2\gamma, \quad (156)$$

$$a_0 = h_1 \sec 2\gamma \cot \gamma + d. \quad (152)$$

Nun ergeben sich

$$V_0 = \frac{2\pi n}{m} \frac{f'}{\cos 2\gamma}, \quad (174)$$

$$W_0 + w_0 = V_0 t \quad (186)$$

$$= V_0 T - \frac{f' - r_0 \cos 2\gamma}{r_0 \cos 2\gamma} 2b,$$

$$t = \frac{W_0 + w_0}{V_0}, \quad (187)$$

$$\frac{W_0 + w_0}{2B} = \frac{V_0 t}{2B}, \quad (71)$$

$$\frac{w_0}{2B} \quad (\text{Abb. 24a, b, c}), \quad (72)$$

$$\frac{W_0}{2B} \quad (\text{Abb. 24a, b, c}), \quad (73)$$

$$\frac{L}{\mu B_0^2 t} \quad (\text{Abb. 24a, b, c}), \quad (76)$$

$$\frac{L}{\mu B_0^2} \geq \frac{1}{2 \cdot 250 \, 000} \left(\frac{f_0}{2B_0} \right)^2, \quad (292)$$

$$\frac{\bar{n}_2^2}{n_2} = \frac{\bar{n}_1^2}{n_1} \frac{L_2}{L_1}. \quad (271)$$

Aufgabe 2. Sind

T, t , neben $2b, 2Aa, f_0, 2B_0, f', 2B, m, n$,

gegeben, so entstehen

$$\cos 2\gamma = -\frac{1-\xi}{2} + \sqrt{\left(\frac{1-\xi}{2}\right)^2 + \frac{\pi n}{m} \frac{f'}{b} (T-t)\xi} \quad (175)$$

$$\xi = \left\{ \frac{m}{\pi} b + \frac{2Aa + \frac{B_0 - Aa}{f_0}}{\sin^2 2\gamma} \right\} \frac{1}{f'},$$

$$r'_0 = \left\{ \frac{m}{\pi} \frac{b}{1 + \cos 2\gamma} + \frac{2Aa + \frac{B_0 - Aa}{f_0} \frac{m}{\pi} b}{1 + \cos 2\gamma} \right\} \sec 2\gamma. \quad (176)$$

Mithin ist die Aufgabe bereits auf Aufgabe 1 zurückgeführt,

Aufgabe 3. Sind

T , h , neben $2b$, $2\Delta a$, f_0 , $2B_0$, f' , $2B$, m , n
bekannt vorausgesetzt, so entstehen

$$\cos 2\gamma = \frac{m}{\pi} \frac{b}{h} - 1, \quad (177)$$

$$2d > 2 \frac{\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \frac{m}{\pi} \frac{b}{1 + \cos 2\gamma}}{1 - \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \tan \gamma} > 2 \frac{\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \frac{m}{\pi} \frac{b}{1 + \cos 2\gamma}}{1 - \left(\frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \tan \gamma \right)^2}, \quad (163)$$

oder

$$2d = 2 \left\{ 2\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \frac{m}{\pi} b \right\} \frac{1}{1 + \cos 2\gamma} \frac{1 - a \cos^2 2\gamma}{\sin 2\gamma}, \quad 0 \leq a \leq 0,5, \quad (168)$$

$$r'_0 = h \sec 2\gamma + d \tan 2\gamma. \quad (157)$$

Folglich ist diese Aufgabe wieder auf Aufgabe 1 reduziert.

Aufgabe 4. Sind

T , γ , neben $2b$, $2\Delta a$, f_0 , $2B_0$, f' , $2B$, m , n
bekannt, so wird

$$h = \frac{m}{\pi} \frac{1}{1 + \cos 2\gamma}. \quad (153)$$

Infolgedessen erhält man Aufgabe 3.

Aufgabe 5. Sind

t und ein gewisses Element ausschliesslich T , neben $2b$, $2\Delta a$, f_0 ,
 $2B_0$, f' , $2B$, m , n

gegeben, so gilt

$$T = t + \frac{f' - r_0 \cos 2\gamma}{r_0 \cos 2\gamma} \frac{2b}{V_0}. \quad (179)$$

Deswegen geht die gegenwärtige Aufgabe in Aufgabe 1, 2, 3 oder 4 über.
Nun ergeben sich die übrigen Elemente

$$2\varphi = \frac{W_0}{f'} \cos 2\gamma, \quad (188)$$

$$W' = 2\varphi r_0, \quad (189)$$

$$2\varphi = \frac{w_0}{f'} \cos 2\gamma = \frac{w_0}{W_0} 2\varphi, \quad \chi' = \chi, \quad (301a,b)$$

$$2b''' = \frac{x}{f} 2b, \quad 2\Delta a''' = \frac{x}{f} 2\Delta a, \quad (251)$$

$$2b'' = 2b(1 + 2nt - \bar{n}), \quad t' = t. \quad (252a)$$

Nach den vorstehenden Rechnungen muss geprüft werden, ob die Bildfehler auch nicht die bestimmten Grenzen überschreiten. Nach (157) (139) (140) und (141) gilt für die Maximal-undeutlichkeiten des Bildpunktes:

$$\begin{aligned} [F' \cdot \mathbf{a}] &= -b \sin 2\gamma \cdot \Delta\phi + \{r'_0 - h \cos 2\gamma\} \sin 2\gamma \left(\phi - \frac{1}{2} \phi \Delta \right) \\ [F' \cdot \mathbf{b}] &= -\Delta a \sin 2\gamma \cdot \Delta\phi - 2b \left\{ 1 - \frac{h}{\rho} \right\} (1 + \cos 2\gamma) \left(\phi - \frac{1}{2} \phi \Delta \right) \\ [F' \cdot \mathbf{c}] &= -b(1 + \cos 2\gamma) \left\{ 1 - \frac{h}{\rho} \right\} \Delta\phi, \end{aligned} \quad (302)$$

die Maximal-Seitenverzerrung, die Maximal-Bildhöhenverzerrung und die Maximal-Bildfeldwölbung:

$$\begin{aligned} \Delta(F' \cdot \mathbf{a}) &= -b \sin 2\gamma \left(\phi - \frac{1}{2} \phi \Delta \right) + \{r'_0 - h \cos 2\gamma\} \frac{1}{2} \sin 2\gamma \left\{ \phi^2 - \left(\phi - \frac{1}{2} \phi \Delta \right) \Delta\phi \right\} \\ \Delta(F' \cdot \mathbf{b}) &= -\Delta a \sin 2\gamma \left(\phi - \frac{1}{2} \phi \Delta \right) - b \left\{ 1 - \frac{h}{\rho} \right\} (1 + \cos 2\gamma) \left\{ \phi^2 - \left(\phi - \frac{1}{2} \phi \Delta \right) \Delta\phi \right\} \\ \Delta(F' \cdot \mathbf{c}) &= -b(1 + \cos 2\gamma) \left\{ 1 - \frac{h}{\rho} \right\} \left(\phi - \frac{1}{2} \phi \Delta \right) \end{aligned} \quad (303)$$

und

$$\begin{aligned} b\phi &= -|b\phi|, \quad \Delta a = -|\Delta a|, \\ \phi &= \pm \frac{\pi \bar{n}}{m} T = \pm \frac{\pi \bar{n}}{m}, \\ \Delta\phi &= \pm \frac{2\pi n}{m} t. \end{aligned} \quad (304)$$

II. Verschluss 3.

Aufgabe 1. Sind

$$d = r_1 \tan \left(\chi - \frac{1}{2} \pi + 2\gamma \right) \quad (227)$$

$$h = r'_0 \sin \left(\frac{1}{2} \pi - 2\gamma \right), \quad (228)$$

T , r'_0 , neben $2b$, $2Aa$, f_0 , $2B_0$, f' , $2B$, m , n
 anfangs bekannt vorausgesetzt, so ergeben sich

$$v = 2bn, \quad (59)$$

$$\bar{n} = nT, \quad (61)$$

$$2\alpha_1 \leq n \leq 1, \quad (259)$$

$$\cos 2\gamma = -\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{m}{\pi} \frac{b}{r'}}, \quad (229)$$

$$\tan \gamma \geq \frac{\frac{2Aa}{2Aa+2u} + \frac{m}{\pi} \frac{2b}{2Aa+2u} \frac{B_0-Aa}{f_0} + \cos 2\gamma}{\frac{m}{\pi} \frac{2b}{2Aa+2u} - \frac{B_0-Aa}{f_0} - \frac{B_0-Aa}{f_0} \cos 2\gamma}, \quad (218) \quad (219)$$

$$h = r'_0 \cos 2\gamma \quad (228)$$

$$= \frac{m}{\pi} \frac{b}{1 + \cos 2\gamma}, \quad (217)$$

$$c = r'_0 + h, \quad (208)$$

$$2d > 2 \frac{Aa + \frac{B_0-Aa}{f_0} \frac{m}{\pi} h}{1 - \frac{B_0-Aa}{f_0} \tan \gamma} > 2 \frac{Aa + \frac{B_0-Aa}{f_0} \frac{m}{\pi} h}{1 - \left(\frac{B_0-Aa}{f_0} \tan \gamma \right)^2}, \quad (163)$$

$$\chi = \frac{1}{2} \pi - 2\gamma + \tan^{-1} \frac{d}{r'_0 - d \tan \gamma}, \quad (230)$$

$$a_0 = r'_0 \cot \gamma, \quad (214)$$

$$r_1 = r'_0 - d \tan \gamma, \quad (215)$$

$$r_0 = r_1 \sec \left(\chi - \frac{1}{2} \pi + 2\gamma \right) + d \sec \chi. \quad (216)$$

Nun werden

$$V_0 = \frac{2\pi n}{m} \frac{\cos \left(\chi - \frac{1}{2} \pi + 2\gamma \right)}{\sin \chi} f' \quad (220)$$

$$W_0 + w_0 = V_0 t \quad (221)$$

$$= V_0 T - \frac{f' - r_0 \sin \chi}{r_0 \sin \chi} 2b,$$

$$t = \frac{W_0 + w_0}{V_0}, \quad (71)$$

$$W_0 + w_0 = V_0 t, \quad (187)$$

$$\frac{W_0 + w_0}{2B} = \frac{V_0 t}{2B}, \quad (71)$$

$$\frac{w_0}{2B} \quad (\text{Abb. 24a,b,c}), \quad (72)$$

$$\frac{W_0}{2B} \quad (\text{Abb. 24a,b,c}), \quad (73)$$

$$\frac{L}{\mu B_0^2 t} \quad (\text{Abb. 24a,b,c}), \quad (76)$$

$$\frac{L}{\mu B_0^2} \geq \frac{1}{22\,500\,000} \left(\frac{f_0}{2B_0} \right)^2, \quad (292)$$

$$\frac{\bar{n}_2^2}{n_2} = \frac{\bar{n}_1^2}{n_1} \frac{L_2}{L_1}, \quad (271)$$

$$2\varphi = \frac{W_0}{f'} \sin \chi, \quad (223)$$

$$W' = 2\varphi r_0, \quad (224)$$

$$2\varphi = \frac{w_0}{f'} \sin \chi = \frac{w_0}{W_0} 2\varphi, \quad (301a,b)$$

$$2b''' = \frac{x}{f} 2b, \quad 2Aa''' = \frac{x}{f} 2Aa, \quad (251)$$

$$2b'' = 2b(1 + 2nt - \bar{n}), \quad t' = t. \quad (252a)$$

Die Bildfehler sind hier durch (302) bis (304) gegeben.

Aufgabe 2. Sind

$$\gamma = \theta = \frac{1}{4}\pi, \quad (226)$$

T, r'_0 , neben $2b, 2Aa, f_0, 2B_0, f', 2B, m, n$

gegeben, so ergeben sich

$$h = \frac{m}{\pi} b, \quad (231)$$

$$2d > 2 \frac{Aa + \frac{B_0 - Aa}{f_0} h}{1 - \frac{B_0 - Aa}{f}} > 2 \frac{Aa + \frac{B_0 - Aa}{f_0} h}{1 - \left(\frac{B_0 - Aa}{f_0} \right)^2}, \quad (232)$$

$$2d = 2Aa + \frac{2B_0 - 2Aa}{f_0} \frac{m}{\pi} b, \quad (168)$$

$$a_0 = r'_0, \quad (233)$$

$$c = r'_0 + h, \quad (235)$$

$$r_1 = r'_0 - d, \quad (236)$$

$$\tan \chi = \frac{h + d}{r_1}, \quad (234)$$

$$r_0 = r'_0 \sec \chi, \quad (237)$$

$$V_0 = \frac{2\pi n}{m} \frac{f'}{\tan \chi}, \quad (238)$$

$$W_0 + w_0 = V_0 t \quad (239)$$

$$= V_0 T - \frac{f' - r'_0 \tan \chi}{r'_0 \tan \chi} 2b,$$

$$\frac{W_0 + w_0}{2B} = \frac{V_0 T}{2B}, \quad (71)$$

$$\frac{w_0}{2B} \quad (\text{Abb. 24a,b,c}), \quad (72)$$

$$\frac{W_0}{2B} \quad (\text{Abb. 24a,b,c}), \quad (73)$$

$$\frac{L}{\mu B_0^2 t} \quad (\text{Abb. 24a,b,c}), \quad (76)$$

$$\frac{L}{\mu B_0^2} \geq \frac{1}{22\,500\,000} \left(\frac{f_0}{2B_0} \right)^2, \quad (292)$$

$$\frac{\bar{n}_2^2}{n_2} = \frac{\bar{n}_1^2}{n_1} \frac{L_2}{L_1}, \quad (271)$$

$$2\varphi = \frac{W_0}{f'} \frac{r'_0}{r_0} \tan \chi, \quad (241)$$

$$W' = 2\varphi r_0, \quad (242)$$

$$2\varphi = \frac{w_0}{f'} \frac{r'_0}{r_0} \tan \chi = \frac{w_0}{W_0} 2\varphi, \quad (301a,b)$$

$$2b''' = \frac{x}{f} 2b, \quad 2Aa''' = \frac{x}{f} 2Aa, \quad (251)$$

$$2b'' = 2b(1 + 2nt - \bar{n}), \quad t' = t. \quad (252a)$$

Nun werden die Bildfehler nach den folgenden Gleichungen gefunden :

$$b\phi = -|b\phi|$$

$$\phi = \pm \frac{\pi n}{m} T = \pm \frac{\pi \bar{n}}{m} \quad (245)$$

$$\Delta\phi = \pm \frac{2\pi n}{m} t,$$

$$[F' \cdot \mathbf{a}] = -b\Delta\phi + r'_0 \left(\phi - \frac{1}{2} \phi \Delta \right) \Delta\phi$$

$$[F' \cdot \mathbf{b}] = -\Delta a \Delta\phi - 2b \left\{ 1 - \frac{h}{\rho} \right\} \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta\phi \right) \Delta\phi \quad (243)$$

$$[F' \cdot \mathbf{c}] = -b \left\{ 1 - \frac{h}{\rho} \right\} \Delta\phi,$$

$$\Delta(F' \cdot \mathbf{a}) = -b \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta\phi \right) + \frac{1}{2} r'_0 \left\{ \phi^2 - \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta\phi \right) \Delta\phi \right\}$$

$$\Delta(F' \cdot \mathbf{b}) = -\Delta a \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta\phi \right) - b \left\{ 1 - \frac{h}{\rho} \right\} \left\{ \phi^2 - \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta\phi \right) \Delta\phi \right\}, \quad (244)$$

$$\Delta(F' \cdot \mathbf{c}) = -b \left\{ 1 - \frac{h}{\rho} \right\} \left(\phi - \frac{1}{2} \Delta\phi \right).$$

III. Verschluss 4.

Aufgabe. Sind

$$\theta = \frac{1}{2}\pi, \quad \gamma = 0, \quad \chi = \frac{1}{2}\pi, \quad (190)$$

$$T, r'_0, \text{ neben } 2b, 2\Delta a, f_0, 2B_0, f', 2B, m, n$$

gegeben, so entstehen

$$v = 2bn, \quad (59)$$

$$\bar{n} = nT, \quad (61)$$

$$2\alpha_1 \leq \bar{n} \leq 1, \quad (259)$$

$$m \geq \frac{2\pi}{\tan \delta} \frac{2\Delta a + u}{2b} = \frac{4\pi f_0}{2B_0 - 2\Delta a} \frac{2\Delta a + u}{2b} \quad \text{aus (191) und (193), (305)}$$

$$\frac{4\pi}{2b} \frac{\Delta a + u}{\tan \psi} \leq m \leq \frac{4\pi}{2b} \left(f_0 - \frac{\Delta a + u}{\tan \psi} \right) \quad \text{aus (191) (194) und (202), (306)}$$

$$h = \frac{m}{\pi} \frac{b}{2}, \quad (191)$$

$$h \tan \alpha = \frac{ah}{f_0 - h}, \quad (195)$$

$$c = r'_0 - h, \quad (196)$$

$$w = \frac{2\pi r'_0}{m}. \quad (197)$$

Nun ergeben sich

$$V_0 = \frac{2\pi n}{m} \frac{r'_0}{h} f', \quad (200)$$

$$W_0 + w_0 = V_0 t \quad (307)$$

$$= V_0 T - \frac{f' - h}{h} 2b,$$

$$\frac{W_0 + w_0}{V_0} = t = T - \frac{f' - h}{h} 2b, \quad (201)$$

$$\frac{W_0 + w_0}{2B} = \frac{V_0 t}{2B}, \quad (71)$$

$$\frac{w_0}{2B} \quad (\text{Abb. 24a,b,c}), \quad (72)$$

$$\frac{W_0}{2B} \quad (\text{Abb. 24a,b,c}), \quad (73)$$

$$\frac{L}{\mu B_0^2 t} \quad (\text{Abb. 24a,b,c}), \quad (76)$$

$$\frac{L}{\mu B_0^2} \geq \frac{1}{22\,500\,000} \left(\frac{f_0}{2B_0} \right)^2, \quad (292)$$

$$W' = 2\varphi r'_0 = \frac{h}{f'} W_0, \quad (199)$$

$$2\varphi = \frac{W_0}{f'} \frac{h}{r'_0}, \quad (198)$$

$$2b''' = \frac{x}{f} 2b, \quad 2\Delta a''' = \frac{x}{f} 2\Delta a, \quad (251)$$

$$2b'' = 2b(1 + 2nt - \bar{n}), \quad t' = t, \quad (252a)$$

Setzt man

$$b\phi = -|b\phi|$$

$$\phi = \pm \frac{\pi n}{m} T = -\frac{\pi \bar{n}}{m} \quad (203a)$$

$$\Delta\phi = \pm \frac{2\pi n}{m} t$$

voraus, so werden die Bildfehler:

$$[F' \cdot \mathbf{a}] = 0$$

$$[F' \cdot \mathbf{b}] = -2b\phi^2 \quad (203b)$$

$$[F' \cdot \mathbf{c}] = -2b\left(1 - \frac{h}{\rho}\right)\Delta\phi,$$

$$\Delta(F' \cdot \mathbf{a}) = 0$$

$$\Delta(F' \cdot \mathbf{b}) = -b\phi^2 \quad (203c)$$

$$\Delta(F' \cdot \mathbf{c}) = -2b\left(1 - \frac{h}{\rho}\right)\left(\phi - \frac{1}{2}\Delta\phi\right).$$

Zum Schluss sind Beispiele in Tafel 5, 6a,b, 7a,b und 8a,b angegeben, damit die wirklichen Beziehungen unter den Elementen genau aufgefasst werden können.

Tafel 5.

Beispiel	1	2	Gl. Nr.	Beispiel	1	2	Gl. Nr.
Verschluss	1		(308a) ¹⁾	Verschluss	1		(308c)
2 <i>b</i> mm	3,8			<i>f'</i> mm	75,0		
2 <i>da</i> mm	10,0			2 <i>B</i> mm	26,78		
<i>f</i> ₀ mm	165,0			$\bar{n}$	1/4		
2 <i>B</i> ₀ mm	58,93			<i>n</i> s ⁻¹	60 000	90 000	
<i>r</i> ₀ ' mm	200,0			<i>V</i> ₀ mm s ⁻¹	1 185 000	1 777 000	
<i>m</i>	90			<i>T</i> s	1/240 000	1/360 000	
$\bar{n}$	1/4			<i>W</i> ₀ + <i>w</i> ₀ mm	3,797	3,797	
<i>n</i> s ⁻¹	60 000	90 000		<i>t</i> s	1/311 800	1/467 700	
<i>v</i> mm s ⁻¹	228 000	342 000		(<i>W</i> ₀ + <i>w</i> ₀)/2 <i>B</i>	0,1417		
<i>u</i> mm	35,0			<i>w</i> ₀ mm	1,9		
α	0			<i>W</i> ₀ mm	1,9		
γ	36° 47'		$\bar{n}$	1/4			
$\gamma \geq$	27° 31'		<i>L</i> / $\nu B_0^2 t$	0,142			
γ	16° 26'		<i>L</i> / νB_0^2	1/2 201 000	1/3 370 000		
θ	53° 13'		$\bar{n}_1$ ²⁾	1/4,57	1/3,69		
2 <i>d</i> mm	29,34		<i>L</i> / νB_0^2	1/2 870 000	1/2 870 000		
<i>h</i> mm	42,44		2 <i>z</i> min	24,6			
<i>r</i> ₀ ' mm	200,00		2 <i>ø</i> min	24,6			
<i>c</i> mm	242,44		<i>W'</i> mm	1,46			
<i>h</i> ₁ min	53,41		2 <i>b''</i> mm	4,31			
<i>r</i> ₁	189,03		ϕ	0,008 73			
<i>r</i> ₀ cos γ mm	57,71		$\Delta\phi$	0,013 43			
<i>r</i> ₀ mm	204,0		[<i>F'</i> · <i>a</i>] mm	+0,029			
<i>a</i> ₀ mm	267,4		[<i>F'</i> · <i>b</i>] mm	±0,065			
			[<i>F'</i> · <i>c</i>] mm	+0,033			
			Δ (<i>F'</i> · <i>a</i>) mm	+0,008			
			Δ (<i>F'</i> · <i>b</i>) mm	±0,010			
			Δ (<i>F'</i> · <i>c</i>) mm	+0,005			

1) Gegebene Elemente.
2) Sie sind nach (271) in Bezug auf die ausgenutzte Belichtungs-menge des weltberühmten Apparates zum Vergleich beispielweise berechnet.

Tafel 6a.

Beispiel	3	4	5	6	7	8	Gl. Nr.
Verschluss	1						(309a) 1)
2 <i>b</i> mm	3,8						
2 <i>Aa</i> mm	10,0						
<i>f</i> ₀ mm	165,0						
2 <i>B</i> ₀ mm	58,93						
<i>r</i> ₀ ' mm	200,0						
<i>m</i>	90						
$\bar{n}$	1/3						
<i>u</i> s ⁻¹	60 000	90 000	120 000	150 000	180 000	300 000	
<i>v</i> mm s ⁻¹	228 000	342 000	456 000	570 000	684 000	1 140 000	
<i>u</i> mm	35,0						(309b)
α	0						
γ	36° 47'						
$\gamma >$	27° 31''						
χ	16° 26'						
θ	53° 18'						
2 <i>d</i> mm	29,34						
<i>h</i> mm	42,44						
<i>r</i> ₀ ' mm	200,0						
<i>c</i> mm	242,44						
<i>h</i> ₁ mm	53,41						
<i>r</i> ₁ mm	189,03						
<i>r</i> ₀ cos 2 <i>γ</i> mm	57,71						
<i>r</i> ₀ mm	204,0						
<i>a</i> ₀ mm	267,4						

1) Gegebene Elemente.

Tafel 6b.

Beispiel	3	4	5	6	7	8	Gl. Nr.
Verschluss	1						(309c)
f' mm	77,0						
$2B$ mm	27,5						
$\bar{n}$	1/3						
n s ⁻¹	60 000	90 000	120 000	150 000	180 000	300 000	
V_0 mm s ⁻¹	1 185 000	1 777 000	2 370 000	2 962 000	3 554 000	5 924 000	
T s	1/180 000	1/270 000	1/360 000	1/450 000	1/540 000	1/900 000	
$W_0 + w_0$ mm	5,307	5,307	5,307	5,307	5,307	5,307	
t s	1/233 300	1/335 000	1/446 600	1/558 500	1/670 000	1/1 117 000	
$(W_0 + w_0)/2B$	0,193						
w_0 mm	2,65						
W_0 mm	2,65						
$\bar{n}$	1/3						
$L/\nu B_0^2 t$	0,193						
$L/\nu B_0^2$	1/1 157 000	1/1 736 000	1/2 314 000	1/2 893 000	1/3 472 000	1/5 786 000	
$\bar{n}_1$ 1)	1/4,72	1/3,86	1/3,34	1/2,73	1/2,73	1/2,11	
$L/\nu B_0^2$	1/2 870 000	1/2 870 000	1/2 870 000	1/2 870 000	1/2 870 000	1/2 870 000	
$2p$ min	33,6						(309d)
$2\varnothing$ min	33,6						
W' mm	1,99						
$2b''$ mm	4,58						
ϕ	0,011 63						
$\Delta\phi$	0,018 76						
$[F' \cdot a]$ mm	+0,041						
$[F' \cdot b]$ mm	$\pm 0,090$						
$[F' \cdot c]$ mm	+0,046						
$\Delta(F' \cdot a)$ mm	+0,013						
$\Delta(F' \cdot b)$ mm	$\pm 0,011$						
$\Delta(F' \cdot c)$ mm	+0,005						

1) Sie sind nach (271) in Bezug auf die ausgenutzte Belichtungs-menge des weltberühmten Apparates zum Vergleich beispielweise berechnet.

Tafel 7a.

Beispiel	9	10	11	12	13	Gl. Nr.
Verschluss	1					(310a) ¹⁾
2 <i>b</i> mm	3,8					
2 <i>Aa</i> mm	10,0					
<i>f</i> ₀ mm	165,0					
2 <i>B</i> ₀ mm	58,93					
<i>r</i> ₀ ' mm	200,0					
<i>m</i>	120	120	180	180	180	
$\bar{n}$	1/2,5	1/2,5	1/2,5	1/2,5	1/2,5	
<i>n</i> s ⁻¹	120 000	240 000	60 000	150 000	300 000	
<i>v</i> mm s ⁻¹	456 000	912 000	228 000	570 000	1 140 000	
<i>u</i> mm	35,0		35,0			(310b)
α	0		0			
γ	34° 52'		31° 15'			
$\gamma >$	24° 40'		21° 33'			
χ	20° 17'		27° 29'			
θ	55° 08'		58° 45'			
2 <i>d</i> mm	32,88		40,32			
<i>h</i> mm	53,90		74,50			
<i>r</i> ₀ ' mm	200,0		200,0			
<i>c</i> mm	253,90		274,50			
<i>h</i> ₁ mm	65,36		86,73			
<i>r</i> ₁ mm	188,54		187,77			
<i>r</i> ₀ cos 2 <i>γ</i> mm	71,43		97,22			
<i>r</i> ₀ mm	206,0		210,6			
α_0 mm	110,31		330,1			

1) Diese Elemente sind als gegeben angenommen.

Tafel 7b.

Beispiel	9	10	11	12	13	Gl. Nr.
Verschluss	1		1			(310c)
f' mm	90,0		120,0			
$2B$ mm	32,14		42,85			
$\bar{n}$	1/2,5		1/2,5			
n s ⁻¹	120 000	240 000	60 000	150 000	300 000	
V_0 mm s ⁻¹	1 632 000	3 263 000	544 400	1 361 000	2 722 000	
T s	1/300 000	1/600 000	1/150 000	1/375 000	1/750 000	
$W_0 + w_0$ mm	4,452	4,452	2,740	2,740	2,740	
t s	1/366 500	1/733 000	1/198 600	1/496 500	1/993 000	
$(W_0 + w_0)/2B$	0,1384		0,06392			
w_0 mm	1,45		1,37			
W_0 mm	1,45		1,37			
$\bar{n}$	1/2,5		1/2,5			
$L/\nu \cdot B_0^2 t$	0,138		0,0639			
$L/\nu \cdot B_0^2$	1/2 647 000	1/5 294 000	1/3 107 000	1/7 768 000	1/15 536 000	
$\bar{n}_1$	1/2,60	1/1,84	1/2,40	1/1,52	1/1,08	
$L/\nu \cdot B_0^2$ 1)	1/2 870 000	1/2 870 000	1/2 870 000	1/2 870 000	1/2 870 000	
2φ min	19,2		18,1			(310d)
2θ min	19,2		18,1			
W' mm	1,15		1,11			
$2b''$ mm	4,77		4,58			
ϕ	0,010 47		0,006 98			
$\Delta\phi$	0,017 18		0,010 54			
$[F' \cdot a]$ mm	0,036		0,021			
$[F' \cdot b]$ mm	0,081		0,047			
$[F' \cdot c]$ mm	0,044		0,029			
$\Delta(F' \cdot a)$ mm	0,010		0,006			
$\Delta(F' \cdot b)$ mm	0,009		0,008			
$\Delta(F' \cdot c)$ mm	0,005		0,005			

1) Sie sind nach (271) in Bezug auf die ausgenutzte Belichtungs-menge des weltberühmten Apparates zum Vergleich beispielweise berechnet.

Tafel 8a.

Beispiel	14 ¹⁾	15	16 ¹⁾	17	18	Gl. Nr.
Verschluss	1		3	4		(311a) ²⁾
2 <i>b</i> mm	4,72		4,72	3,8		
2 <i>Aa</i> mm	10,0		10,0	10,0		
<i>f</i> ₀ mm	250,0		250,0	165,0		
2 <i>B</i> ₀ mm	71,43		71,43	58,93		
<i>r</i> ₀ ' mm	200,0		200,0	200,0		
<i>m</i>	180		180	180		
$\bar{n}$	1/2,5		1/2,5	1/2,5		
<i>n</i> s ⁻¹	60 000	120 000	60 000	60 000	120 000	
<i>v</i> mm s ⁻¹	283 200	566 400	283 200	283 200	566 400	
<i>u</i> mm	35,0		—	5,0		
α	0		—	—		(311b)
γ	29° 02'		45° 00'	0° 00'		
$\gamma >$	23° 04'		—	—		
χ	31° 56'		42° 28'	0° 00'		
θ	50° 58'		45 00'	90°		
<i>m</i>				> 167,3 < 245,0		
2 <i>d</i> _s mm			49,32	26,13		
2 <i>d</i> mm	41,04		50,0	30,0		
<i>h</i> mm	88,46		153,2	153,2		
<i>r</i> ₀ ' mm	200,0		200,0	200,0		
<i>c</i> mm	288,46		235,2	145,6		
<i>h</i> ₁ mm	99,84		160,2	54,4		
<i>r</i> ₁ mm	188,62		175,0	200,0		
<i>r</i> ₀ cos 2 <i>f</i> mm	112,64		200,0	—		
<i>r</i> ₀ mm	212,8		271,1	—		
<i>a</i> ₀ mm	360,5		200,0	—		

1) Vgl. sie mit (204a,b,c,d) und (246a,b,c,d).

2) Diese Elemente sind anfangs vorausgesetzt.

Tafel 8b.

Beispiel	14 ¹⁾	15	16 ¹⁾	17	18	Gl. Nr.
Verschluss	1		3	4		(311c)
f' mm	135,0		205,0	77,0		
$2B$ mm	38,56		58,56	27,85		
$\bar{n}$	1/2,5		1/2,5	1/2,5		
n s ⁻¹	60 000	120 000	60 000	60 000	120 000	
V_0 mm s ⁻¹	534 400	1 069 000	648 600	577 400	1 154 800	
T s	1/150 000	1 300 000	1/150 000	1/150 000	1/300 000	
$W_0 + w_0$ mm	2,624	2,624	2,569	2,412	2,412	
t s	1/203 600	1/407 300	1/182 300	1/239 500	1/479 000	
$(W_0 + w_0)/2B$	0,068 05		0,043 86	0,090		
w_0 mm	1,31		1,29	1,21		
W_0 mm	1,31		1,29	1,21		
$\bar{n}$	1/2,5		1/2,5	1/2,5		
$L/\nu B_0^2 t$	0,068		0,044	0,090		
$L/\nu B_0^2$	1/2 994 000	1/5 998 000	1/4 756 000	1/2 661 000	1/5 322 000	
$\bar{n}$	1/2,17	1/1,53	1/1,72	1/2,60	1/1,84	
$L/\nu B_0^2$ ²⁾	1/2 250 000	1/2 250 000	1/2 250 000	1/2 870 000	1/2 870 000	
2φ min	17,7		14,6	30,2		(311d)
$2\emptyset$ min	17,7		14,6	30,2		
W' mm	1,09		1,15	0,88		
$2b''$ mm	5,61		5,94	4,23		
ϕ	0,006 98		0,006 98	0,006 98		
$\Delta\phi$	0,010 28		0,011 48	0,008 75		
$[F' \cdot a]$ mm	+0,023		+0,030	$\pm 0,000$		
$[F' \cdot b]$ mm	$\pm 0,044$		$\pm 0,057$	$\pm 0,000$		
$[F' \cdot c]$ mm	+0,037		+0,027	+0,033		
$\Delta(F' \cdot a)$ mm	+0,005		+0,006	$\pm 0,000$		
$\Delta(F' \cdot b)$ mm	$\pm 0,008$		$\pm 0,006$	$\pm 0,000$		
$\Delta(F' \cdot c)$ mm	+0,007		+0,003	+0,010		

1) Vgl. sie mit (204b,c,d) und (246a,b,c,d).

2) Sie sind nach (271) in Bezug auf die ausgenutzte Belichtungs-menge des weltberühmten Apparates zum Vergleich beispielweise berechnet.

Kapitel 4.

OPTISCHER AUSGLEICH MIT EINEM ZYLINDERFÖRMIGEN SPIEGELKRANZ.

33. Vorbemerkung. Er wurde bereits in Ziff. 8 vorgestellt. Bei diesem Verfahren gibt es zwei Formen von Spiegelkränzen, den Aussen- und Innentyp: bei hoher Bildfrequenz ist der erstere geeigneter als der letztere. Der erstere ist in Abb. 7 schematisch dargestellt.

Bei im Handel erhältlichen Apparaten überschreitet seine Leistungsfähigkeit die der im vorigen Kapitel erwähnten Optischen Ausgleiche nicht. Er hat den grossen Nachteil, dass der Film, der auf der Filmtrommel aufgewickelt ist, durch die Zentrifugalkraft bei der hohen Umdrehungszahl um seine Achse nach Aussen hinausgeschoben wird und unter Umständen zerrissen werden kann. Hier werden daher seine Bildfehler nur zum Zwecke der Vergleichung theoretisch gegeben.

34. Die optischen Bildfehler. Siehe Abb. 36. Man bezeichnet das Zentrum des Objectives mit Z_0 , die Umdrehungsachse des Spiegelkranzes mit O , die dicht hinter dem Objectiv eingerichtete Lichtfensterebene mit L_0L , den Achsenstrahl mit $Z_0L_0F_0$, einen beliebigen achsenparallelen mit $\overline{LF}$, die direkt durch das Objectiv gebildete imaginäre Bildebene mit F_0F , die nach Reflexion an dem Spiegel gebildete wirkliche Bildebene mit F'_0F' , den Mittelbildpunkt und einen beliebigen Bildpunkt in F_0F mit F_0 bzw. F , die zu F_0 und F entsprechenden Bildpunkte in F'_0F' mit F'_0 bzw. F' , den betrachteten Spiegel mit CS_0D , und die Spiegelmitte mit S_0 . Nimmt man rechtwinklige Koordinaten nach einem Rechtssystem und die Einheitsvektoren i, j, k längs der Koordinaten, derart dass die i -Achse zur Umdrehungsachse der Filmtrommel parallel, die j -Achse zu F_0F parallel und die k -Achse zu $\overline{F_0L_0}$ parallel stehen, an und bezeichnet man den Koordinatenanfang mit O , den Abstand zwischen $\overline{L_0L}$ und $\overline{F_0F}$ mit f' , den zwischen der i -Achse und $\overline{F_0F}$ mit c , den zwischen der j -Achse und $\overline{F_0Z_0}$ und $\overline{FL}$ mit b_0 bzw. b_0+b , den von $\overline{OS_0}$ mit r_0 , den zwischen der i -Achse und $\overline{OS_0}$ gebildeten Winkel mit φ , den Einheitsvektor der Normale der Spiegelebene mit s und die Vektoren der Punkte $F_0 F F'_0$ und F' mit $F_0 F F'_0$ bzw. F' , so ergeben sich die Beziehungen:

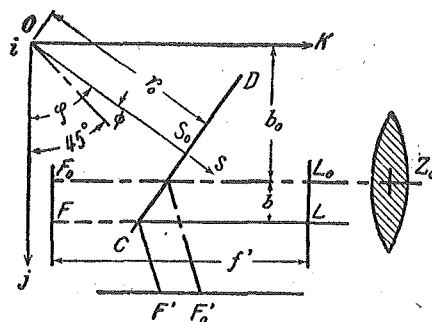


Abb. 36.

$$s = \cos \varphi j + \sin \varphi k \quad (312)$$

$$F_0 = b_0 j + c k \quad (313)$$

$$F_1 = (b_0 + b) j + c k \quad (314)$$

$$\begin{aligned}
F'_1 &= (I - 2ss) \cdot \{F_1 - r_0 s\} + r_0 s \\
&= j \{2r_0 \cos \varphi - (b_0 + b) \cos 2\varphi - c \sin 2\varphi\} \\
&\quad + k \{2r \sin \varphi - (b_0 + b) \sin 2\varphi + c \cos 2\varphi\} .
\end{aligned} \tag{315}$$

Setzt man

$$\varphi = \frac{1}{4}\pi + \phi \tag{316}$$

in (315) ein, so entsteht

$$\begin{aligned}
F' &= j \{ \sqrt{2}r_0 (\cos \phi - \sin \phi) + (b_0 + b) \sin 2\phi - c \cos 2\phi \} \\
&\quad + k \{ \sqrt{2}r_0 (\cos \phi + \sin \phi) - (b_0 + b) \cos 2\phi - c \sin 2\phi \} ,
\end{aligned} \tag{317}$$

d.h. bei Vernachlässigung der Glieder höherer Ordnung

$$\begin{aligned}
F' &= j \left\{ \sqrt{2}r_0 - c - (\sqrt{2}r_0 - 2b_0 - 2b)\phi - (\sqrt{2}r_0 - 4c)\frac{1}{2}\phi^2 + (\sqrt{2}r_0 - 8b_0 - 8b)\frac{1}{6}\phi^3 + \dots \right\} \\
&\quad + k \left\{ \sqrt{2}r_0 - b_0 - b + (\sqrt{2}r_0 - 2c)\phi - (\sqrt{2}r_0 - 4b_0 - 4b)\frac{1}{2}\phi^2 + (\sqrt{2}r_0 - 8c)\frac{1}{6}\phi^3 + \dots \right\} .
\end{aligned} \tag{318}$$

Nimmt man hierbei

$$\sqrt{2}r_0 - 2b_0 = 0, \quad \sqrt{2}r_0 - 4c = 0,$$

d.h.

$$r_0 = \sqrt{2}b_0, \quad c = \frac{1}{2}b_0 \tag{319a}$$

an, so wird bei Vernachlässigung der Glieder höherer Ordnung

$$F' = (1, 5b_0 + 2b\phi)j + \{b_0 - b + b_0\phi + (b_0 + 2b)\phi^2\}k . \tag{319b}$$

Setzt man also

$$i = -a, \quad j = c, \quad k = b \tag{320}$$

voraus, so werden die Maximal-Undeutlichkeiten des Bildpunktes:

$$\begin{aligned}
[F' \cdot a] &= 0 \\
[F' \cdot b] &= (b_0 + 2b)\phi^2 \\
[F' \cdot c] &= 2b\Delta\phi ,
\end{aligned} \tag{321}$$

die Maximal-Seitenverzerrung, die Maximal-Bildhöhenverzerrung und die Maximal-Bildfeldwölbung:

$$\Delta(F' \cdot \mathbf{a}) = 0$$

$$\Delta(F' \cdot \mathbf{b}) = \frac{1}{2}(b_0 + 2b)\phi^2 \quad (322)$$

$$\Delta(F' \cdot \mathbf{c}) = 2b\left(\phi - \frac{1}{2}\Delta\phi\right),$$

und

$$b\phi = -|b\phi|, \quad \Delta a = -|\Delta a|,$$

$$\phi = \pm \frac{\pi n}{m} T = \pm \frac{\pi \bar{n}}{m}, \quad (323)$$

$$\Delta\phi = \pm \frac{2\pi n}{m} t.$$

Hierbei bedeutet n die Bildfrequenz, m die Spiegelzahl des Spiegelkranzes, T die Belichtungsdauer eines ganzen Bildchens und t die eines einzelnen Bildpunktes.

Beispiel. Sind

$$r_0 = 200 \text{ mm}, \quad b_0 = 141,4 \text{ mm}, \quad 2b = 4,72 \text{ mm}, \quad m = 120, \quad (324a)$$

$$n = 30\,000 \text{ s}^{-1}, \quad T = \frac{1}{30\,000} \text{ s}, \quad t = \frac{1}{120\,000} \text{ s}$$

vorausgesetzt, so ergeben sich nach (321) (322) und (323)

$$\phi = \frac{\pi}{120} = 0,02617, \quad \Delta\phi = \frac{\pi}{240} = 0,01309, \quad (324b)$$

$$[F' \cdot \mathbf{b}] = +0,100 \text{ mm}, \quad [F' \cdot \mathbf{c}] = \pm 0,124 \text{ mm}. \quad (324c)$$

$$\Delta(F' \cdot \mathbf{b}) = +0,050 \text{ mm}, \quad \Delta(F' \cdot \mathbf{c}) = 0 \text{ mm}. \quad (324d)$$

Das Beispiel spricht aus, dass die Bildfehler nicht zufriedenstellend sind.

35. Zusammensetzung. Hier soll dieses Verfahren mit exakten Kenntnissen beurteilt werden. Er hat die folgenden Nachteile:

1. Die Bildfehler sind ziemlich gross: unter ihnen nehmen $[F' \cdot \mathbf{b}]$ und $\Delta(F' \cdot \mathbf{b})$ überall auf dem Bilde dieselben grossen Werte an.

2. Bei Annahme eines grossen Wertes von m wird ein grosser Halbmesser des Spiegelkranzes verlangt, und infolgedessen eine lange Brennweite des Objektivs.

3. Durch die Zentrifugalkraft, die durch die hohe Umdrehungsgeschwindigkeit der Filmtrommel bei hoher Bildfrequenz verursacht wird, wird der Film hinausgeschoben und kann unter Umständen zerrissen werden.

Kapitel 5.

OPTISCHER AUSGLEICH MIT ZWILLINGSSPIEGELKRÄNZEN.

36. Vorbemerkung. Das grundlegende Prinzip dieses Verfahrens ist schon in Abb. 15 dargestellt. Es ist sehr bemerkenswert, dass die Bildfehler $[F' \cdot b]$ in (309d) von Beispiel 3 bis 8, (310d) von Beispiel 9 und 10, (311d) von Beispiel 16 und (324c) ausserordentlich gross sind und dadurch die Bildqualität bedeutend herabgesetzt ist. Man hat sich erfolgreich in der gegenwärtigen Arbeit bemüht, sie zu verkleinern. Die Bildfehler können durch die Ausrüstung der Zwillingspiegelkränze, wie sie in Abb. 15 gezeichnet ist, sehr leicht und zwar einwandfrei beseitigt werden. Sie sind wirklich unerkennbar klein beim neueren Verfahren im Vergleich mit den in Kapitel 3 und 4 angegebenen, einschliesslich der in Ziff. 25 erörterten bei zylinderförmigem Spiegelkranz. Die Zwillingspiegelkränze spielen eine ganz ähnliche Rolle wie der in Ziff. 25 erörterte optische Ausgleich. Es ist aber bequemer, Strahlen zu benutzen, die der optischen Achse benachbart sind, was bisher bei allen Verfahren ausschliesslich des letzteren geschehen ist. Aus allen diesen Gründen ist das jetzige Verfahren vorteilhafter als die anderen. Vergleiche die Beispiele in Ziff. 25, 27 und 37. Die optische Theorie ist in den folgenden Ziffern entwickelt.

37. Die optische Theorie. Hier soll die Theorie des vom Verfasser neu vorgetragenen Verfahrens theoretisch untersucht werden. Siehe Abb. 37.

Man bezeichnet die optische Achse des Objektivs mit $Z_0 F_0 E$, die Zwillingspiegelkränze mit $KCDJ$ bzw. $K_2 C_2 D_2 J_2$, die gemeinschaftliche Umdrehungsachse der Zwillingspiegelkränze mit $O_2 JKK_2 J_2 O$, die Schnittpunkte der betrachteten

Spiegelebenen CD und $C_2 D_2$ mit OO_2 mit O bzw. O_2 , die vom Objektiv direkt gebildete imaginäre Bildebene mit $F_0 F U$, die in O zu $F_0 F U$ parallele Ebene mit OE , den Schnittpunkt von $Z_0 F_0 E$ und OE mit E , die nach zweimaliger Reflexion gebildete wirkliche Bildebene ebenso wie die empfindliche Schicht des Films auf der Filmtrommel mit $F'' F''$, die Umdrehungsachse der Filmtrommel mit $A-A$, einen achsenparallelen Strahl mit $\overline{PSTF}$, den optischen Weg des Strahles $\overline{PSTF}$ bis zur empfindlichen Schicht mit $\overline{PSS_2 F''}$, den Schnittpunkt von $\overline{CO}$ und $\overline{C_2 O_2}$ mit G , den Schnittpunkt von $\overline{CO}$ und $\overline{F_0 F}$ mit U und die Normalen an den Reflexionspunkten S und S_2 des

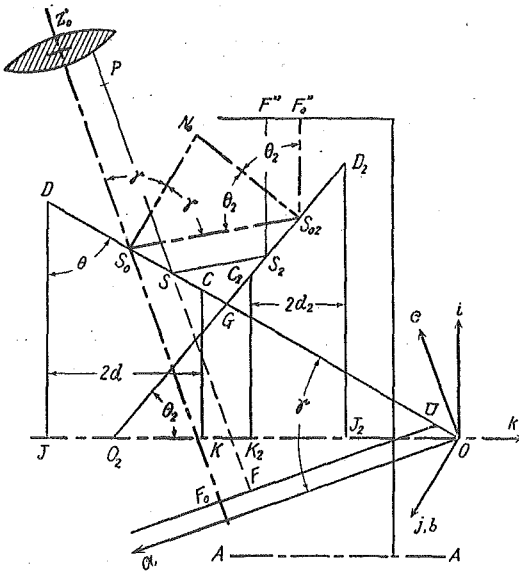


Abb. 37.

betrachtenden Spiegels mit $\overline{SN_0}$ bzw. $\overline{S_2N_0}$. Ausserdem nimmt man $\overline{Z_0F_0}$ $\overline{OO'}$ und $A-A$ in derselben Ebene, und die zwei rechtwinkligen Koordinatensysteme i, j, k und a, b, c im Anfangspunkt O nach einem Rechtssystem derart, dass k in Richtung von O nach der Gegenseite von O_2 , j und b zu $\overline{O_2O}$ und $\overline{F_0Z_0}$ senkrecht, i und c von O nach der Seite von F'' in derselben Ebene von $\overline{O_2O}$ und $\overline{Z_0F_0}$ und a in Richtung von O nach E liegt, an.

Setzt man $j = b$, $\widehat{OBO_2} = \theta$, $\widehat{OO_2D} = \widehat{N_0S_2S} = \theta_2$, $\widehat{N_0SS_2} = \widehat{EOD} = \widehat{F_0UD} = \gamma$ und $\overline{OO_2} = g$, i, j, k bzw. a, b, c als die Einheitsvektoren der Koordinatensysteme, s und s_2 als die Normal-einheitsvektoren an dem Spiegelpunkte S bzw. S_2 , F und F'' als die Ortsvektoren von den Punkten F bzw. F'' , (a, b, c) als die Koordinatenmasszahlen vom Punkt F in Bezug auf die Koordinaten a, b, c und ϕ als den Umdrehungswinkel des Einheitsnormalvektors s oder s_2 um die a -Achse in Bezug auf die c, i, k -Ebene, so entstehen

$$\begin{aligned} a &= \cos(\theta + \gamma) i - \sin(\theta + \gamma) k \\ b &= j \end{aligned} \quad (325)$$

$$\begin{aligned} c &= \sin(\theta + \gamma) i + \cos(\theta + \gamma) k, \\ i &= \cos(\theta + \gamma) a + \sin(\theta + \gamma) c \\ j &= b \end{aligned} \quad (326)$$

$$k = -\sin(\theta + \gamma) a + \cos(\theta + \gamma) c,$$

$$\begin{aligned} s &= \sin \theta (\cos \phi i + \sin \phi j) + \cos \theta k \\ &= a \{ \sin \theta \cos(\theta + \gamma) \cos \phi - \cos \theta \sin(\theta + \gamma) \} + b \sin \theta \sin \phi \\ &\quad + c \{ \sin \theta \sin(\theta + \gamma) \cos \phi + \cos \theta \cos(\theta + \gamma) \}, \end{aligned} \quad (327)$$

$$\begin{aligned} s_2 &= \cos \theta_2 (\cos \phi i + \sin \phi j) - \sin \theta_2 k \\ &= a \{ \cos \theta_2 \cos(\theta + \gamma) \cos \phi + \sin \theta_2 \sin(\theta + \gamma) \} + b \cos \theta_2 \sin \phi \\ &\quad + c \{ \cos \theta_2 \sin(\theta + \gamma) \cos \phi - \sin \theta_2 \cos(\theta + \gamma) \}, \end{aligned} \quad (328)$$

$$\begin{aligned} F &= a a + b' b + c c \\ &= \{ a \cos(\theta + \gamma) + c \sin(\theta + \gamma) \} i + b' j - \{ a \sin(\theta + \gamma) - c \cos(\theta + \gamma) \} k. \end{aligned} \quad (329)$$

Setzt man

$$\Phi = I - 2ss, \quad \Phi_2 = I - 2s_2s_2, \quad (330)$$

so gilt nach (327) und (328) und Abb. 37

$$\begin{aligned} F'' &= \Phi_2 \cdot (\Phi \cdot F + g k) - g k \\ &= (I - 2s_2s_2) \cdot \{ (I - 2ss) \cdot F + g k \} - g k \\ &= \{ I - 2s_2s_2 - 2ss - 4s_2s_2 \cdot ss \} \cdot F - 2gs_2s_2 \cdot k \\ &= F - 2s_2s_2 \cdot F - 2ss \cdot F - 4 \sin(\theta - \theta_2) s_2s \cdot F + 2g \sin \theta_2 s_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= a \left\{ \begin{aligned} &a - 2 \left\{ \cos \theta_2 \cos (\theta + \gamma) \cos \phi + \sin \theta_2 \sin (\theta + \gamma) \right\} \\ &\times \left[\begin{aligned} &a \left\{ \cos \theta_2 \cos (\theta + \gamma) \cos \phi + \sin \theta_2 \sin (\theta + \gamma) \right\} + b' \cos \theta_2 \sin \phi \\ &+ c \left\{ \cos \theta_2 \sin (\theta + \gamma) \cos \phi - \sin \theta_2 \cos (\theta + \gamma) \right\} \\ &+ 2a \sin (\theta - \theta_2) \left\{ \sin \theta \cos (\theta + \gamma) \cos \phi - \cos \theta \sin (\theta + \gamma) \right\} \\ &+ 2b' \sin (\theta - \theta_2) \sin \theta \sin \phi \\ &+ 2c \sin (\theta - \theta_2) \left\{ \sin \theta \sin (\theta + \gamma) \cos \phi + \cos \theta \cos (\theta + \gamma) \right\} \\ &- g \sin \theta_2 \end{aligned} \right] \\ &- 2 \left\{ \sin \theta \cos (\theta + \gamma) \cos \phi - \cos \theta \sin (\theta + \gamma) \right\} \\ &\times \left[\begin{aligned} &a \left\{ \sin \theta \cos (\theta + \gamma) \cos \phi - \cos \theta \sin (\theta + \gamma) \right\} + b' \sin \theta \sin \phi \\ &+ c \left\{ \sin \theta \sin (\theta + \gamma) \cos \phi + \cos \theta \cos (\theta + \gamma) \right\} \end{aligned} \right] \end{aligned} \right\} \\
&+ b \left\{ \begin{aligned} &b' - 2 \cos \theta_2 \sin \phi \\ &\times \left[\begin{aligned} &a \left\{ \cos \theta_2 \cos (\theta + \gamma) \cos \phi + \sin \theta_2 \sin (\theta + \gamma) \right\} + b' \cos \theta_2 \sin \phi \\ &+ c \left\{ \cos \theta_2 \sin (\theta + \gamma) \cos \phi - \sin \theta_2 \cos (\theta + \gamma) \right\} \\ &+ 2a \sin (\theta - \theta_2) \left\{ \sin \theta \cos (\theta + \gamma) \cos \phi - \cos \theta \sin (\theta + \gamma) \right\} \\ &+ 2b' \sin (\theta - \theta_2) \sin \theta \sin \phi \\ &+ 2c \sin (\theta - \theta_2) \left\{ \sin \theta \sin (\theta + \gamma) \cos \phi + \cos \theta \cos (\theta + \gamma) \right\} \\ &- g \sin \theta_2 \end{aligned} \right] \\ &- 2 \sin \theta \sin \phi \\ &\times \left[\begin{aligned} &a \left\{ \sin \theta \cos (\theta + \gamma) \cos \phi - \cos \theta \sin (\theta + \gamma) \right\} + b' \sin \theta \sin \phi \\ &+ c \left\{ \sin \theta \sin (\theta + \gamma) \cos \phi + \cos \theta \cos (\theta + \gamma) \right\} \end{aligned} \right] \end{aligned} \right\} \\
&+ c \left\{ \begin{aligned} &c - 2 \left\{ \cos \theta_2 \sin (\theta + \gamma) \cos \phi - \sin \theta_2 \cos (\theta + \gamma) \right\} \\ &\times \left[\begin{aligned} &a \left\{ \cos \theta_2 \cos (\theta + \gamma) \cos \phi + \sin \theta_2 \sin (\theta + \gamma) \right\} + b' \cos \theta_2 \sin \phi \\ &+ c \left\{ \cos \theta_2 \sin (\theta + \gamma) \cos \phi - \sin \theta_2 \cos (\theta + \gamma) \right\} \\ &+ 2a \sin (\theta - \theta_2) \left\{ \sin \theta \cos (\theta + \gamma) \cos \phi - \cos \theta \sin (\theta + \gamma) \right\} \\ &+ 2b' \sin (\theta - \theta_2) \sin \theta \sin \phi \\ &+ 2c \sin (\theta - \theta_2) \left\{ \sin \theta \sin (\theta + \gamma) \cos \phi + \cos \theta \cos (\theta + \gamma) \right\} \\ &- g \sin \theta_2 \end{aligned} \right] \end{aligned} \right\}. \quad (331)
\end{aligned}$$

$$\left[\begin{aligned} & -2\{\sin \theta \sin (\theta+\gamma) \cos \phi+\cos \theta \cos (\theta+\gamma)\} \\ & \times \left[\begin{aligned} & a\{\sin \theta \cos (\theta+\gamma) \cos \phi-\cos \theta \sin (\theta+\gamma)+b' \sin \theta \sin \phi\} \\ & +c\{\sin \theta \sin (\theta+\gamma) \cos \phi+\cos \theta \cos (\theta+\gamma)\} \end{aligned} \right] \end{aligned} \right]$$

Nun sind die beherrschenden Hauptfehler, die unter den anderen zuerst beseitigt werden müssen, die Glieder proportional ϕ und ϕ^2 in $F'' \cdot \alpha$ und das Glied von ϕ in $F'' \cdot c$. Leider kann man die ϕ -Glieder in $F'' \cdot \alpha$ und $F'' \cdot c$ nicht gleichzeitig klein machen. Ausserdem ist die Beseitigung des letzteren nicht so dringend wie die der vorderen beiden. Man setzt daher an

$$\{\cos \theta_2 \cos (\theta+\gamma)+\sin \theta_2 \sin (\theta+\gamma)\}\{\cos \theta_2+2 \sin (\theta-\theta_2) \sin \theta\}-\sin \gamma \sin \theta=0, \quad (332a)$$

$$\begin{aligned} & \cos \theta_2 \cos (\theta+\gamma) \\ & \times \left[\begin{aligned} & a\{\cos \theta_2 \cos (\theta+\gamma)+\sin \theta_2 \sin (\theta+\gamma)\} \\ & +c\{\cos \theta_2 \sin (\theta+\gamma)-\sin \theta_2 \cos (\theta+\gamma)\} \\ & -2a \sin (\theta-\theta_2) \sin \gamma+2c \sin (\theta-\theta_2) \cos \gamma \end{aligned} \right] \\ & +\{\cos \theta_2 \cos (\theta+\gamma)+\sin \theta_2 \sin (\theta+\gamma)\} \\ & \times \left[\begin{aligned} & a \cos \theta_2 \cos (\theta+\gamma)+c \cos \theta_2 \sin (\theta+\gamma) \\ & +2a \sin (\theta-\theta_2) \sin \theta \cos (\theta+\gamma)+2c \sin (\theta-\theta_2) \sin \theta \sin (\theta+\gamma) \end{aligned} \right] \\ & -\sin \gamma\{a \sin \theta \cos (\theta+\gamma)+c \sin \theta \sin (\theta+\gamma)\} \\ & +\sin \theta \cos (\theta+\gamma)\{-a \sin \theta+c \cos \gamma\}=0. \quad (332b) \end{aligned}$$

Nach (268a) wird (268b)

$$\begin{aligned} & a \cos (\theta+\gamma)\{\cos \theta_2 \cos (\theta+\gamma-\theta_2)-2 \sin (\theta-\theta_2) \cos \theta_2 \sin \gamma-\sin \theta \sin \gamma\} \\ & +c \cos (\theta+\gamma)\{\cos \theta_2 \sin (\theta+\gamma-\theta_2)-2 \sin (\theta-\theta_2) \cos \theta_2 \cos \gamma+\sin \theta \cos \gamma\}=0. \end{aligned}$$

Somit sind

$$\cos (\theta+\gamma)=0,$$

d. h.

$$\theta+\gamma=\frac{1}{2}\pi, \quad (333)$$

oder

$$\begin{aligned} & \cos \theta_2 \cos (\theta+\gamma-\theta_2)-2 \sin (\theta-\theta_2) \cos \theta_2 \sin \gamma-\sin \theta \sin \gamma=0 \\ & \cos \theta_2 \sin (\theta+\gamma-\theta_2)-2 \sin (\theta-\theta_2) \cos \theta_2 \cos \gamma+\sin \theta \cos \gamma=0. \end{aligned}$$

Multipliziert man die erste der beiden letzten Gleichungen mit $\cos \gamma$ und die zweiten mit $\sin \gamma$ und addiert dann, so ergibt sich

$$\cos \theta_2 \cos (\theta - \theta_2) = 0 :$$

folglich ist

$$\theta_2 = \frac{1}{2} \pi \quad (334a)$$

oder

$$\theta_2 = \theta - \frac{1}{2} \pi . \quad (334b)$$

Diese beiden Bedingungen können jedoch leider nicht erfüllt werden. Die theoretischen Gründe dafür sind folgendermassen :

Aus dem Dreieck $\triangle N_0 S S_2$ ergibt sich die Beziehung

$$\widehat{N_0 S S_2} + \widehat{N_0 S_2 S} + \widehat{S N_0 S_2} = \pi ,$$

weil $S_2 F''$ zur Umdrehungsachse der Filmtrommel, $A-A$, senkrecht angenommen werden soll. Da $\widehat{N_0 S S_2} = \gamma$, $\widehat{N_0 S_2 S} = \theta_2$ und $\widehat{S N_0 S_2} = \widehat{BGO'} = \theta_2 + \frac{1}{2} \pi - \theta$ sind, so gilt

$$\gamma - \theta + 2\theta_2 = \frac{1}{2} \pi . \quad (335)$$

Infolgedessen folgen nach (334a,b) (332a) und (335)

$$\begin{aligned} \theta_2 &= \frac{1}{2} \pi : \\ \theta &= 0 , \quad \gamma = -\frac{1}{2} \pi , \\ \theta &= \frac{1}{2} \pi , \quad \gamma = 0 , \\ \theta &= \frac{2}{3} \pi , \quad \gamma = \frac{1}{6} \pi , \\ \theta &= \pi , \quad \gamma = \frac{1}{2} \pi . \end{aligned} \quad (336)$$

$$\begin{aligned} \theta_2 &= \theta - \frac{1}{2} \pi : \\ \theta &= 0 , \quad \theta_2 = -\frac{1}{2} \pi , \quad \gamma = \frac{3}{2} \pi , \\ \theta &= \frac{3}{2} \pi , \quad \theta_2 = \pi , \quad \gamma = 0 . \end{aligned} \quad (337)$$

Die Apparate, die diese Beziehungen erfüllen, existieren nicht. Dahingegen gilt nach (333) und (335)

$$\theta_2 = \theta , \quad (338)$$

die mit (333) die Bedingung (332a) ausreichend befriedigt. Folglich wird nach (331) (333) und (338)

$$\begin{aligned} \mathbf{F}'' = \mathbf{a} \{ g(1 - \cos 2\theta) - a \} + \mathbf{b} \{ g \sin 2\theta \sin \phi + b' \cos 2\phi - c \sin 2\phi \} \\ + \mathbf{c} \{ g \sin 2\theta \cos \phi - b' \sin 2\phi - c \cos 2\phi \}, \end{aligned} \quad (339)$$

d.h. bei Vernachlässigung der Glieder höherer Ordnung

$$\begin{aligned} \mathbf{F}'' = \mathbf{a} \{ g(1 - \cos 2\theta) - a \} + \mathbf{b} \left\{ b' + (g \sin 2\theta - 2c)\phi - 2b'\phi^2 + \frac{8c - g \sin 2\theta}{6} \phi^3 \right\} \\ + \mathbf{c} \left\{ -c + g \sin 2\theta - 2b'\phi + \frac{4c - g \sin 2\theta}{2} \phi^2 \right\}. \end{aligned} \quad (340)$$

Nennt man den Halbmesser der Filmtrommel ρ und die Koordinatenmasszahlen der Umdrehungsachse der Filmtrommel (X, O, Z), wo Z konstant ist, so werden die Bildfehler nach (340)

$$\begin{aligned} (\mathbf{F}'' \cdot \mathbf{a}) &= 0 \\ (\mathbf{F}'' \cdot \mathbf{b}) &= -2b'\phi^2 + \frac{1}{6}(8c - g \sin 2\theta)\phi^3 \end{aligned} \quad (341)$$

$$\begin{aligned} (\mathbf{F}'' \cdot \mathbf{c}) &= -2b'\phi + \frac{1}{2}(4c - g \sin 2\theta)\phi^2 + \frac{\{b' + (g \sin 2\theta - 2c)\phi\}^2}{2\rho}, \\ \rho &= -c + g \sin 2\theta - Z. \end{aligned} \quad (342)$$

Bezeichnet man die Schlitzweite des Bildfensters mit $2b'$, so wird nach (340) für den wirklichen Bildpunkt

$$b'' \cong |\mathbf{F}'' \cdot \mathbf{b}| = |b' + (g \sin 2\theta - 2c)\phi|. \quad (343)$$

Nennt man die Bildhöhe $2b$, die Belichtungsdauer eines ganzen Bildchens T , die eines einzelnen Bildpunktes t , die Bildfrequenz n , die Spiegelzahl des Spiegelkranzes m , 2ϕ den Umdrehungswinkel des betrachtenden Spiegels während T und $\Delta\phi$ den während t , und nimmt man das Dingfenster mit dem Hilfsbildfenster nach (251) und (252a,b), Ziff. 28, so entstehen die Beziehungen:

$$\begin{aligned} b' &= \mp |b| \\ \phi &= \pm \frac{\pi n}{m} T = \pm \frac{\pi \bar{n}}{m} \\ \Delta\phi &= \pm \frac{2\pi n}{m} t. \end{aligned} \quad (344)$$

Infolgedessen werden die Maximal-Undeutlichkeiten des Bildpunktes nach von (341) bis (344):

scheibenförmig sondern zylinderförmig und hat die gleiche Zahl von Schlitten auf der Oberfläche des Zylinders, wie die von Spiegeln des Spiegelkranzes.

Siehe Abb. 38. Es ist der Querschnitt in der Ebene, die die optische Achse des Objektivs enthält und zur Umdrehungsachse des zylinderförmigen Schlitzverschlusses senkrecht steht. Man nennt die optische Achse des Objektivs $\widehat{Z_0 Z F_0 E_0}$, den Schlitz des dicht hinter dem Objektiv eingerichteten Lichtfenster $L_1 Z L_4$, den betrachteten Verschlusschlitz $Q_1 Q Q_4$, die betrachtete Ebene des Verschlusschlitzes $C_1 Q_1 Q Q_4 C_2$, die Umdrehungsachse des Schlitzverschlusses E , die Mittellinie von $\widehat{Q_1 E_0 Q_4 E_0 Q}$, die durch das Objektiv direkt gebildete Bildebene $F_0 F$, einen Bildpunkt mit F und die mit den durch F ausstrahlenden Lichtstrahlen auf die Ebene $L_1 Z L_4$ gebildete Projektion von $\widehat{Q_1 Q Q_4 Q_1 Z Q_4}$. Nimmt man die rechtwinkligen Koordinaten $\mathfrak{b}, \mathfrak{c}, \alpha$ nach einem Rechtssystem, ihren Anfangspunkt in F_0 , den Einheitsvektor $\mathfrak{b}$ in Richtung von F_0 nach F , $\mathfrak{c}$ in Richtung von F_0 nach Z_0 , α in Richtung von F_0 nach den Vordergrund des Abbildes, $\widehat{E_0 F_0} = c$, $\widehat{F_0 Z} = f'$, $\widehat{E_0 Q} = r_0 + c$, $\widehat{Q_1 Q_4} = W'$, $\widehat{Q_1' Q_4'} = W_0$, $\widehat{L_1 L_4} = w_0$, $\widehat{F_0 F} = b'$, $\widehat{Z_0 F_0 F} = \frac{1}{2}\pi$, $\widehat{Q_1 U Q} = \widehat{Q U Q_4} = \varphi$, $\widehat{Z_0 U Q} = \phi$ und die Vektoren von Q_1 und Q_4 in Bezug auf E_0 als $\mathbf{r}$ an, so ergeben sich die Beziehungen:

$$W' = 2(r_0 + c) \tan \varphi \quad (350)$$

$$\mathbf{r} = (r_0 + c) \{ (\sin \phi \pm \tan \varphi \cos \phi) \mathfrak{b} + (\cos \phi \mp \tan \varphi \sin \phi) \mathfrak{c} \} - c \mathfrak{c} \quad (351)$$

$$\begin{aligned} W_0 &= \left[\left\{ -(b' \mathfrak{b} - \mathbf{r}) \frac{f' - \mathbf{r} \cdot \mathfrak{c}}{\mathbf{r} \cdot \mathfrak{c}} + \mathbf{r} \right\} \cdot \mathfrak{b} \right]_{-\varphi}^{+\varphi} = \left[-(b' - \mathbf{r} \cdot \mathfrak{b}) \frac{f'}{\mathbf{r} \cdot \mathfrak{c}} + b' \right]_{-\varphi}^{+\varphi} \\ &= 2(r_0 + c) f' \tan \varphi \frac{r_0 + c(1 - \cos \phi) - b' \sin \phi}{(r_0 + c)^2 \{ \cos^2 \phi - \tan^2 \varphi \sin^2 \phi \} - 2(r_0 + c) \cos \phi + c^2}. \end{aligned} \quad (352)$$

Nach (352) und (350) wird bei Vernachlässigung der Glieder höherer Ordnung

$$2\varphi = \frac{W_0}{f'} \frac{r_0}{r_0 + c} \quad (353)$$

$$W' = 2\varphi(r_0 + c) = \frac{r_0}{f'} W_0. \quad (354)$$

Setzt man die Fortschrittsgeschwindigkeit des projizierten Verschlusschlitzes $Q_0 Z Q_4'$ als V_0 voraus, so gilt nach (351)

$$V_0 = \frac{r_0 + c}{r_0} f' \frac{\partial \phi}{\partial t} = 2\pi \frac{n}{m} \frac{r_0 + c}{r_0} f'. \quad (355)$$

Auf dieselbe Weise wie bei (52) entsteht nach Abb. 38

$$T - t = \frac{f' - r_0}{r_0} \frac{2b}{V_0}, \quad (356)$$

wo $2b$ die Bildhöhe bedeutet.

Verschluss 4 mit Q , das Umdrehungszentrum von Verschluss 4 um die Achse $\overline{OO_2}$ mit F_0 , das hinter dem Objektiv zur Ebene Q_1QQ_2 parallel eingerichtete Lichtfenster (vgl. Ziff. 30) mit L_1ZL_2 , das Zentrum des Schlitzes L_1ZL_2 mit Z , die direkt vom Objektiv gebildete Bildebene F_0FU , die nach der ersten Reflexion an der Spiegelebene $CS_{10}D$ gebildete Bildebene mit $F'F'_0X$, die nach der zweiten Reflexion an $C_2S_{20}D_2$ gebildete Bildebene mit $F''F''_0X$, den Schnittpunkt von $F'F'_0X$ und $F''F''_0X$ mit X , die Bildmittelpunkte von F_0F F'_0F und F''_0F'' mit F_0 F'_0 bzw. F''_0 , den Schnittpunkt von $\overline{F''_0S_{20}E_{02}}$ und $\overline{OE_{02}O_2}$ mit E_{02} , den von $\overline{F_0FU}$ und $\overline{UF'F'_0}$ mit U , den von $\overline{OU_3GCD}$ und $\overline{E_{02}U_3U_2S_{20}F''_0}$ mit U_3 und den von $\overline{F_0FU}$ und $\overline{E_{02}U_2S_{20}F''_0}$ mit U_2 , so entstehen die Beziehungen nach Abb. 38 und (340):

$$\begin{aligned}\overline{OE_0} &= \overline{E_0S_0} \tan \widehat{OS_0E} \\ \overline{OE_{02}} &= \overline{OE_0} - \overline{E_{02}E_0} \\ &= (F'' \cdot \mathbf{a})_{a=a_0} = g(1 - \cos 2\theta) - a_0 \\ \overline{E_{02}S_{20}} &= \overline{E_0S_0} - \overline{E_{02}E_0} \cot \widehat{S_{20}S_0E_0} \\ \overline{F_3F''_0} &= \left\{ \frac{\partial(F'' \cdot \mathbf{b})}{\partial \phi} \right\}_{\phi=0} = g \sin 2\theta - 2c \\ \overline{E_{02}F''_0} &= (F'' \cdot \mathbf{c})_{\phi=0} = g \sin 2\theta - c \\ \overline{K_3G} &= \overline{OO_2} \cos \widehat{OO_2G} \sin \widehat{OO_2G} \\ \overline{OK_3} &= \overline{K_3G} \tan \widehat{OK_3G}.\end{aligned}$$

Setzt man

$$\begin{aligned}\widehat{JDO} &= \widehat{DF_2F'_0} = \theta, \quad \widehat{F_0S_{10}F'_0} = \widehat{F_2S_{20}F'_0} = 2\theta, \quad \overline{OO_2} = g, \quad \overline{OE_0} = a_0, \quad \overline{E_0S_0} = r'_{01}, \\ w &= \frac{2\pi r'_{01}}{m}, \quad \overline{OE_{02}} = a_{02}, \quad \overline{E_{02}S_{20}} = r'_{02}, \quad w_2 = \frac{2\pi r'_{02}}{m}, \quad \overline{E_{02}E_0} = e, \quad \overline{OK_3} = x, \\ \overline{K_3G} &= y, \quad \overline{UF''_0} = h, \quad \overline{JE_0} = d_{11}, \quad \overline{E_0K} = d_{12}, \quad \overline{K_2E_{02}} = d_{21}, \quad \overline{E_{02}J_2} = d_{22}\end{aligned}$$

voraus, so ergeben sich nach den obigen Beziehungen:

$$r'_{01} = \frac{mw}{2\pi} \quad (357)$$

$$r'_{02} = \frac{mw_2}{2\pi} \quad (358)$$

$$a_0 = r'_{01} \tan \theta \quad (358)$$

$$\begin{aligned}a_{02} &= r'_{01} \tan \theta - e \\ &= g(1 - \cos 2\theta) - r'_{01} \tan \theta\end{aligned} \quad (360)$$

$$r'_{02} = r'_{01} - e \cot 2\theta \quad (361)$$

$$y = \frac{1}{2} g \sin 2\theta = \frac{g}{\cot \theta + \tan \theta} \quad (362)$$

$$x = \frac{1}{2} g (1 - \cos 2\theta) . \quad (363)$$

Nach (361) bzw. (359) gilt

$$\begin{aligned} g &= (\cot \theta + \tan \theta) y \\ &= (\cot \theta + \tan \theta) \left(r'_{01} - \frac{1}{2} e \cot \theta \right) . \end{aligned} \quad (364)$$

Mithin folgt nach (349) und von (362) bis (364)

$$y = x \cot \theta \quad (365)$$

$$= r'_{01} - \frac{1}{2} e \cot \theta$$

$$x = r'_{01} \tan \theta - \frac{1}{2} e = a_0 - \frac{1}{2} e \quad (366)$$

$$c = r'_{01} - \frac{1}{2} h - \frac{1}{2} e \cot \theta = y - \frac{1}{2} h \quad (367)$$

$$= \frac{m}{2\pi} (w - b) - \frac{1}{2} e \cot \theta .$$

Aus (358) und (361) wird

$$w_2 = w - \frac{2\pi e}{m} \cot 2\theta . \quad (368)$$

Weil u die notwendige Minimal-Lichtweite zwischen $\overline{E_0 S_{10}}$ und $\overline{E_{02} S_{20}}$ bedeutet, so wird

$$e \geq d_{12} + d_{21} . \quad (369)$$

Bezeichnet man die notwendige Minimal-lichtweite zwischen D_2 und $\overline{F'' F''_0 X}$ mit k , so ergibt sich

$$\overline{F''_0 S_{20}} - \overline{E_{02} J_2} \tan \theta \geq k ,$$

d.h.

$$g \sin 2\theta - c - r'_{02} - d_{22} \tan \theta \geq k ,$$

woraus nach (361) und (367) folgt

$$k = \frac{h}{2} - \frac{e + 2d_{22}}{2 \cot \theta} , \quad (370a)$$

d.h.

$$\cot \theta = \frac{e + 2d_{22}}{h - 2k} . \quad (370b)$$

Bezeichnet man den Durchschnittspunkt von $\overline{F_0 F F_4 U}$ und $\overline{K_3 F_4 G}$ mit F_4 , so gilt

$$\overline{F_4 G} = \overline{K_3 G} - \overline{K_3 F_4} ,$$

d.h. nach (362) und (349) oder (367)

$$\overline{F_4 G} = y - c = \frac{1}{2} h . \quad (371)$$

Nach Abb. 37 ergibt sich

$$\overline{K_3 J_2} = \overline{K_3 O} - \overline{E_{02} O} + \overline{E_{02} J_2} ,$$

d.h. nach (360) und (366)

$$\overline{K_3 J_2} = \frac{1}{2} (e + 2d_{22}) . \quad (372)$$

Deshalb entstehen (370a,b) nach (371) und (372) wieder.

Bezeichnet man den Durchmesser des durch die letzte Linsen-fläche des Objektivs durchtretenden Lichtsbündels mit $H_1 Z_0 H_4$ und die optische Achse des Objektivs mit $\overline{Z_0 Z Q S_0 F_0 E_0}$, und setzt man

$$\overline{H_1 Z_0} = \overline{Z_0 H_4} = B_0 , \quad \overline{Z_0 F_0} = f_0 , \quad \overline{J E_0} = d_{11} , \quad \overline{E_0 K} = d_{12} , \quad \overline{K_2 E_{02}} = d_{21} ,$$

$$\overline{E_{02} J_2} = d_{22} , \quad \overline{D S_0} = x_1 , \quad \overline{S_0 C} = x_2 , \quad \overline{C_2 S_{20}} = x_{21} , \quad \overline{S_{20} D_2} = x_{22}$$

voraus, so ergeben sich nach (159) und (160)

$$\begin{aligned} d_{11} &= x_1 \cos \left(\frac{1}{2} \pi - \theta \right) \\ &\geq \frac{\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \frac{h + e \cot \theta}{2}}{1 - \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \cot \theta} \end{aligned} \quad (373a)$$

$$\begin{aligned} d_{12} &= x_2 \cos \left(\frac{1}{2} \pi - \theta \right) \\ &\geq \frac{\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \frac{h + e \cot \theta}{2}}{1 + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \cot \theta} , \end{aligned} \quad (373b)$$

$$\begin{aligned}
 d_{21} &= x_{21} \cos \theta \\
 &\geq \frac{\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \frac{h - e \tan \theta}{2}}{1 - \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \tan \theta}
 \end{aligned} \tag{374a}$$

$$\begin{aligned}
 d_{22} &= x_{22} \cos \theta \\
 &\geq \frac{\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \frac{h - e \tan \theta}{2}}{1 + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \tan \theta}
 \end{aligned} \tag{374b}$$

Aus (373b) und (374a) folgt

$$\begin{aligned}
 e &\geq (d_2 + d_{21}) \\
 &\geq \frac{\left(\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \frac{h}{2}\right) \left(2 + 2 \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \cot 2\theta\right) + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} e \cot 2\theta - \left(\frac{B_0 - \Delta a}{f_0}\right)^2 e}{\left(1 + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \cot \theta\right) \left(1 - \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \tan \theta\right)},
 \end{aligned}$$

d.h.

$$e \geq \left(2\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} h\right). \tag{375}$$

Nimmt man

$$z = \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \cot \theta \tag{376}$$

$$\zeta = 2\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} h \tag{377}$$

$$e = 2\alpha_0 \zeta, \quad \frac{1}{2} < \alpha_0 < 2 \quad (\alpha_0: \text{ ein gewisser Parameter}) \tag{378}$$

an, so ergeben sich nach (373a,b) und (374a,b)

$$d_{11} \geq \frac{1 + 2\alpha_0 z}{1 - z} \frac{\zeta}{2} \tag{379a}$$

$$d_{12} \geq \frac{1 + 2\alpha_0 z}{1 + z} \frac{\zeta}{2} \tag{379b}$$

$$d_{21} \geq \frac{1 - 2\alpha_0 \tan^2 \theta z}{1 - z \tan^2 \theta} \frac{\zeta}{2} \tag{380a}$$

$$d_{22} \geq \frac{1 - 2\alpha_0 \tan^2 \theta z}{1 + z \tan^2 \theta} \frac{\zeta}{2} \tag{380b}$$

Hierbei muss man wegen der Fehlerhaftigkeit der Spiegel am Rande einen gewissen Spielraum für jedes d zulassen. Da die durch die Veränderung von $z \cdot \tan^2 \theta$ herbeigeführten Variationen von d_{12} und d_{21} nicht so gross sind, so kann man d_{12} bzw. d_{21} als konstant ansehen.

Tafel 9.

$\frac{B_0 - \Delta a}{f_0}$	θ	15°	20°	25°	30°	35°	40°
	$\cot \theta$	3,732	2,747	2,145	1,732	1,428	1,192
	$\tan \theta$	0,268	0,364	0,466	0,577	0,700	0,839
0,1482	$z^1)$	0,553	0,407	0,318	0,257	0,217	0,177
	$z \tan^2 \theta$	0,040	0,054	0,069	0,086	0,104	0,124
	$d_{21} \geq$	0,959	0,943	0,926	0,907	0,884	0,858
	$d_{22} \geq$	0,886	0,847	0,806	0,764	0,718	0,668
0,1249	$z^1)$	0,466	0,343	0,268	0,216	0,178	0,149
	$z \tan^2 \theta$	0,033	0,045	0,058	0,072	0,088	0,105
	$d_{21} \geq$	0,965	0,952	0,938	0,922	0,904	0,883
	$d_{22} \geq$	0,903	0,870	0,835	0,798	0,759	0,715

Siehe Tafel 9. Darin sind z , $z \cdot \tan^2 \theta$, $d_{21} \geq$ (nach (380a)), $d_{22} \geq$ (nach (380b)) bei $\alpha_0 = 1$ und $\frac{B_0 - \Delta a}{f_0} = 0,1482$ bzw. $0,1249$ für verschiedene Werte von θ tabellarisch gegeben. Aus diesen Resultaten der Musterbeispiele kann man sofort erkennen, dass die Beziehungen:

$$d_{21} = 0,65\zeta \quad (381a), \quad d_{22} = 0,60\zeta \quad (381b)$$

bestehen. Setzt man (378) und (381b) in (370a,b) ein, so gelten

$$k = \frac{h}{2} - \frac{\alpha_0 + 0,6}{\cot \theta} \zeta \quad (382a)$$

$$\cot \theta = 2 \frac{\alpha_0 + 0,6}{h - 2k} \zeta. \quad (382b)$$

Bezeichnet man die Spielräume für d_{11} und d_{12} mit δ_{11} bzw. δ_{12} , so ergeben sich nach (379a,b)

$$d_{11} = \frac{1 + 2\alpha_0 z}{1 - z} \frac{\zeta}{2} + \delta_{11} \quad (383a)$$

$$d_{12} = \frac{1 + 2\alpha_0 z}{1 + z} \frac{\zeta}{2} + \delta_{12}. \quad (383b)$$

1) $z = \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \cot \theta.$ (376)

Nun werden nach (383a,b) und (381a,b)

$$d_{11} + d_{12} = \left\{ \frac{1 + 2a_0 z}{1 - z} \frac{\zeta}{2} + \delta_{11} \right\} + \left\{ \frac{1 + 2a_0 z}{1 + z} \frac{\zeta}{2} + \delta_{12} \right\} \quad (384)$$

$$d_{21} + d_{22} = 0,65\zeta + 0,6\zeta = 1,25\zeta. \quad (385)$$

Bei diesem Verfahren wird ein Belichtungs-mengen-verlust von ca. 50% mehr durch die zweimalige Reflexion an den aus rostfreiem Stahl hergestellten Spiegeln gegenüber dem beiden anderen Verfahren, bei denen nur einmalige Reflexion am Spiegel des einzelnen Spiegelkranzes ausgeführt wird, verursacht. Deshalb muss man

$$\frac{L_2}{\mu B_0^2 t} = \frac{\{\sin^{-1}x + x\sqrt{1-x^2}\}^2}{\sin^{-1}x + 3x\sqrt{1-x^2}}, \quad 2L_2 = L \quad (386)$$

als die einschlägige Belichtungsmenge anstatt (76) annehmen und dementsprechend die Hälfte des Betrages von $L/\mu B_0^2 t$ in Abb. 24a,b,c als den gültigen ablesen.

40. Zusammenfassung. Für die Zwecke des Entwurfs sind die Aufgaben folgendermassen zusammengesetzt. Vergleiche die Elemente mit Abb. 39.

Beispiel 1. Sind

$$2b, 2Aa, 2B_0, f'_0, m, n, r'_{01}, k \text{ oder } \theta, a_0, \rho, 2B, f', T$$

gegeben, so entstehen die Beziehungen :

$$v = 2bn, \quad (59)$$

$$\bar{n} = nT, \quad (61)$$

$$2a_1 \leq \bar{n} \leq 1, \quad (259)$$

$$h = \frac{m}{2} 2b, \quad (349)$$

$$\zeta = 2Aa + \frac{B_0 - Aa}{f_0} h, \quad (377)$$

$$e = 2a_0 \zeta, \quad \frac{1}{2} < a_0 < 2, \quad (378)$$

$$\cot \theta = 2 \frac{a_0 + 0,6}{h - 2k} \zeta \quad (382b)$$

od.

$$k = \frac{h}{2} - \frac{a_0 + 0,6}{\cot \theta} \zeta, \quad (382a)$$

$$z = \frac{B_0 - Aa}{f_0} \cot \theta, \quad (376)$$

$$d_{11} = \frac{1+2a_0z}{1-z} \frac{\zeta}{2} + \delta_{11}, \quad (383a)$$

$$d_{12} = \frac{1+2a_0z}{1+z} \frac{\zeta}{2} + \delta_{12}, \quad (383b)$$

$$d_{21} = 0,65\zeta, \quad (381a)$$

$$d_{22} = 0,60\zeta, \quad (381b)$$

$$d_{11} + d_{12} = \left\{ \frac{1+2a_0z}{1-z} \frac{\zeta}{2} + \delta_{11} \right\} + \left\{ \frac{1+2a_0z}{1+z} \frac{\zeta}{2} + \delta_{12} \right\}, \quad (384)$$

$$d_{21} + d_{22} = 0,65\zeta + 0,60\zeta, \quad (385)$$

$$e = 2a_0\zeta \quad (369)$$

$$\geq d_{12} + d_{21},$$

$$w = \frac{2\pi}{m} r'_{01} \quad (357)$$

$$= \frac{2b}{h} r'_{01},$$

$$a_0 = r'_{01} \tan \theta, \quad (359)$$

$$a_{02} = a_0 - e, \quad (360)$$

$$r'_{02} = r'_{01} - \frac{\cot \theta - \tan \theta}{2} e, \quad (361)$$

$$w_2 = \frac{2\pi r'_{02}}{m}, \quad (368)$$

$$x = a_0 - \frac{1}{2} e, \quad (366)$$

$$y^* = x \cot \theta \quad (365)$$

$$= r'_{01} - \frac{\cot \theta - \tan \theta}{4} e,$$

$$c = y - \frac{1}{2} h \quad (367)$$

$$= r'_{01} - \frac{1}{2} h - \frac{1}{2} e \cot \theta,$$

$$g = (\cot \theta + \tan \theta) y, \quad (364)$$

$$r_0 > (r'_{01} + d_{11} \cot \theta - c), \quad (387)$$

$$f' > r_0, \quad (388)$$

$$2B = 2B_0 \frac{f'}{f_0} . \quad (389)$$

Nun folgen mittels Abb. 34, 35, 36 und 24a,b,c

$$V_0 = 2\pi \frac{n}{m} \frac{r_0 + c}{r_0} f' , \quad (355)$$

$$W_0 + w_0 = V_0 t = V_0 T - \frac{f' - r_0}{r_0} 2b , \quad (390)$$

$$\frac{W_0 + w_0}{V_0} = \frac{V_0 t}{V_0} = \frac{V_0 T}{V_0} - \frac{f' - r_0}{r_0} \frac{2b}{V_0} , \quad (356)$$

$$\frac{W_0 + w_0}{2B} = \frac{V_0 t}{2B} , \quad (71)$$

$$\frac{w_0}{2B} \quad (\text{Abb. 24a,b,c}) \quad (72)$$

$$\frac{W_0}{2B} \quad (\text{Abb. 24a,b,c}) \quad (73)$$

$$\frac{L_2}{\mu B_0^2 t} , \quad L_2 = \frac{1}{2} L \quad (\text{Abb. 24a,b,c}) , \quad (386)$$

$$\frac{\bar{n}_2^2}{n_2} = \frac{\bar{n}_1^2}{n_1} \frac{L_2}{L_1} , \quad (271)$$

$$W' = 2\varphi(r_0 + c) = \frac{r_0}{f'} W_0 , \quad (354)$$

$$2\varphi = \frac{W'}{r_0 + c} = \frac{W_0}{f'} \frac{r_0}{r_0 + c} , \quad (353)$$

$$2b''' = \frac{x}{f} 2b , \quad 2\Delta a''' = \frac{x}{f} 2\Delta a , \quad (251)$$

$$2b'' = 2b(1 + 2nt - \bar{n}) , \quad t' = t . \quad (252a)$$

Endlich muss nachgesehen werden, ob die Bildfehler die bestimmten Grenzen auch nicht überschreiten. Setzt man nach (344) und (358)

$$2b\Delta\phi = -|2b\Delta\phi|$$

$$\phi = \frac{\pi n}{m} T = \frac{\pi \bar{n}}{m} \quad (391)$$

$$\Delta\phi = \frac{2\pi n}{m} t$$

voraus, so werden nach (348) (344) und (345) die Maximal-Undeutlichkeiten des Bildpunktes:

$$\begin{aligned} [F'' \cdot \mathbf{a}] &= 0 \\ [F'' \cdot \mathbf{b}] &= \pm 2b\phi^2 \left\{ 1 + \left(\frac{c}{h} - \frac{1}{6} \right) \frac{\bar{n}}{2} \right\} \\ [F'' \cdot \mathbf{c}] &= +2b\Delta\phi \left\{ 1 - \frac{h}{2\rho} + \left(\frac{c}{h} - \frac{1}{2} + \frac{h}{2\rho} \right) \bar{n} \left(1 - \frac{\Delta\phi}{2\phi} \right) \right\} \end{aligned} \quad (392)$$

und die Maximal-Seitenverzerrung, die Maximal-Bildhöhenverzerrung und die Maximal-Bildfeldwölbung:

$$\begin{aligned} \Delta(F'' \cdot \mathbf{a}) &= 0 \\ \Delta(F'' \cdot \mathbf{b}) &= \frac{1}{2} [F'' \cdot \mathbf{b}] \\ \Delta(F'' \cdot \mathbf{c}) &= +2b\phi \left[\left(1 - \frac{h}{2\rho} \right) \left(1 - \frac{\Delta\phi}{2\phi} \right) + \left(\frac{c}{h} - \frac{1}{2} + \frac{h}{2\rho} \right) \bar{n} \left\{ \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\phi\Delta}{2\phi} \right) \frac{\phi\Delta}{2\phi} \right\} \right] + \frac{b^2}{2\rho} \end{aligned} \quad (393)$$

Beispiel 2. Sind

t anstatt T , ausser $2b$, $2\Delta a$, $2B_0$, f_0 , m , n , r_{01} , k oder θ , a_0 , ρ , $2B$, f' gegeben, so entsteht

$$T = t + \frac{f' - r_0}{r_0} \frac{2b}{V_0}, \quad (356)$$

dadurch kommt man auf Beispiel 1 zurück.

Zum Schluss sollen Zahlenbeispiele angegeben werden, damit die Beziehungen unter den Elementen ausreichend aufgefasst werden können. Zur Vorbereitung sind die Ablaufgeschwindigkeiten des Filmes bei verschiedenen Bildfrequenzen in Tafel 10, die zu verschiedenen Spiegelzahlen des Spiegelkranzes entsprechenden Werte von h in Tafel 11 und die verschiedenen Halbmessern des Spiegelkranzes entsprechenden mittleren Spiegelhöhen in Tafel 12 gegeben.

Tafel 10.

v s^{-1}	3 000	6 000	12 000	30 000	60 000	90 000	180 000
v $\text{mm } s^{-1}$ ($2b = 3,8 \text{ mm}$)	11 400	22 800	45 600	1140 00	228 000	342 000	684 000
v $\text{mm } s^{-1}$ ($2b = 7,6 \text{ mm}$)	22 800	45 600	91 200	228 000	456 000	684 000	1 368 000

Tafel 11.

2b mm	m	30	45	60	90	120	180
3,8	h mm	18,14	27,22	36,29	54,43	72,57	108,86
	ζ^1 mm	12,69	14,04	15,39	18,07	20,76	26,16
	$\zeta_{\alpha_0=1}^1$ mm	25,39	28,07	30,77	36,15	41,53	52,32
7,6	h mm	36,29	54,43	72,57	108,86		
	ζ^1 mm	15,39	18,07	20,76	26,16		
	$\zeta_{\alpha_0=1}^1$ mm	30,77	36,15	41,53	52,32		

Tafel 12.

m	30	45	60	90	120	180
w mm	r_{01} mm	r_{01} mm	r_{01} mm	r_{01} mm	r_{01} mm	r_{01} mm
5	23,87	35,81	47,75	71,62	95,49	143,24
6	28,65	42,97	57,29	85,94	114,59	171,89
7	33,43	50,13	66,85	100,27	133,69	200,54
8	38,20	57,30	76,39	114,59	152,79	229,18
9	42,97	64,46	85,94	128,92	171,89	257,83
10	47,75	71,62	95,49	143,24	190,97	286,48
11	52,52	78,78	105,04	157,56	210,08	315,13
12	57,30	85,94	114,59	171,89	229,18	—
13	62,07	93,11	124,14	186,21	248,28	—
14	66,85	100,27	133,69	200,54	267,38	—
15	71,62	107,43	143,24	214,86	286,47	—
16	76,40	114,59	152,79	229,18	305,58	—
17	81,17	121,75	162,34	243,51	—	—
18	85,95	128,92	171,89	257,83	—	—
20	95,49	143,24	190,98	—	—	—

Zur Auffassung der zwischen den erforderlichen Elementen bestehenden Beziehungen sind Zahlenbeispiele in Tafel 13a,b bis 17a,b tabellarisch gegeben. Daraus erkennt man, dass die Bildfehler beim betrachteten Verfahren im Verhältnis zu denen bei den anderen so klein sind, dass sie vernachlässigt werden können. Vergleiche (394d) bis (398d) mit (246b,c,d) und (308d) bis (311d). Daraus kann man folgern, dass trotz des durch zweimalige Reflexion verursachten Belichtungsmengen-verlustes die folgenden Vorteile des betrachteten Verfahrens vorhanden sind:

1) $f_0 = 165$ mm, $2B_0 = 58,93$ mm, $2Aa = 10$ mm, vorausgesetzt.

Tafel 13a.

Beispiel	1	2	3	4	5	6	Nr.
Verschluss	4						(394a) ¹⁾
2 <i>b</i> mm	3,8						
2 <i>A</i> mm	10,0						
<i>f</i> ₀ mm	165,0						
2 <i>B</i> ₀ mm	58,93						
<i>k</i> mm	9,0						
<i>r</i> ' ₀₁ mm	150,0						
<i>m</i>	60						
$\bar{n}$	1/3						
<i>n</i> s ⁻¹	3 000	6 000	12 000	30 000	60 000	90 000	
<i>v</i> mm s ⁻¹	11 400	22 800	45 600	114 000	228 000	342 000	
<i>h</i> mm	36,29						(394b)
ζ mm	15,39						
α_0	1,0						
<i>e</i> mm	30,77						
$\cot \theta$ 6	2,693 20° 23'						
<i>z</i>	0,399						
<i>d</i> ₁₁ mm	28,0						
<i>d</i> ₁₂ mm	14,0						
<i>d</i> ₂₁ mm	10,0						
<i>d</i> ₂₂ mm	9,3						
<i>d</i> ₁₂ + <i>d</i> ₂₁ mm	24,0						
<i>e</i> mm	30,77						
<i>d</i> ₁₁ + <i>d</i> ₁₂ mm	42,0						
<i>d</i> ₂₁ + <i>d</i> ₂₂ mm	19,3						
<i>a</i> ₀ mm	55,73						
<i>a</i> ₀₂ mm	24,96						
<i>r</i> ' ₀₁ mm	150,0						
<i>r</i> ' ₀₂ mm	114,3						
<i>w</i> mm	15,7						
<i>w</i> mm	12,0						
<i>x</i> mm	40,3						
<i>y</i> mm	132,1						
<i>c</i> mm	114,0						
<i>g</i> mm	404,7						

1) Gegebene Elemente.

Tafel 14a.

Beispiel	7	8	9	10	11	12	Nr.
Verschluss	4						(395a) ¹⁾
2 <i>b</i> mm	3,8						
2 <i>Aa</i> mm	10,0						
<i>f</i> ₀ mm	165,0						
2 <i>B</i> ₀ mm	58,93						
<i>k</i> mm	15,0						
<i>r</i> ' ₀₁ mm	200,0						
<i>m</i>	90						
$\bar{n}$	1/2,5						
<i>n</i> s ⁻¹	3 000	6 000	12 000	30 000	60 000	90 000	
<i>v</i> mm s ⁻¹	11 400	22 800	45 600	114 000	228 000	342 000	
<i>h</i> mm	54,43						(395b)
ζ mm	18,07						
α_0	1,0						
<i>e</i> mm	36,15						
$\cot \theta$ <i>b</i>	2,366 22° 55'						
<i>z</i>	0,351						
<i>d</i> ₁₁ mm	29,0						
<i>d</i> ₁₂ mm	16,0						
<i>d</i> ₂₁ mm	11,5						
<i>d</i> ₂₂ mm	10,5						
<i>d</i> ₁₂ + <i>d</i> ₂₁ mm	27,5						
<i>e</i> mm	36,15						
<i>d</i> ₁₁ + <i>d</i> ₁₂ mm	45,0						
<i>d</i> ₂₁ + <i>d</i> ₁₂ mm	22,0						
<i>a</i> ₀ mm	84,52						
<i>a</i> ₀₂ mm	48,37						
<i>r</i> ' ₀₁ mm	200,0						
<i>r</i> ' ₍₂₎ mm	164,7						
<i>w</i> mm	14,0						
<i>w</i> ₂ mm	11,5						
<i>x</i> mm	66,5						
<i>y</i> mm	182,4						
<i>c</i> mm	155,2						
<i>g</i> mm	508,8						

1) Gegebene Elemente.

Beispiel	7	8	9	10	11	12	Nr.
Verschluss	4						(395c)
f' mm	135,27						
$2B$ mm	48,27						
r_0 mm	115,0						
$\bar{n}$	1/2,5						
n s ⁻¹	3 000	6 000	12 000	30 000	60 000	90 000	
V_0 mm s ⁻¹	66 400	132 800	265 800	664 000	1 328 000	1 992 000	
T s	1/7 500	1/15 000	1/30 000	1/75 000	1/150 000	1/225 000	
$W_0 + w_0$ mm	8,19	8,19	8,19	8,19	8,19	8,19	
t s	1/8 100	1/16 200	1/32 400	1/81 100	1/162 100	1/243 200	
$(W_0 + w_0)/2B$	0,170						
w_0 mm	4,09						
W_0 mm	4,10						
$L/\nu B_0^2 t$	0,170						
$L_2/\nu B_0^2 t$	0,085						
$L_2/\nu B_0^2$	1/95 400	1/190 800	1/381 600	1/954 000	1/1 908 000	1/2 862 000	
W' mm	3,49						
2φ min	44,5						
$2b''$ mm	5,09						
$\bar{n}$ mm	1/2,5						
ϕ	0,013 97						
$\Delta\phi$	0,025 85						
ρ mm	∞						
$[F'' \cdot a]$ mm	0						
$[F'' \cdot b]$ mm	$\pm 0,001$						
$[F'' \cdot c]$ mm	$+0,105$						
$\Delta(F'' \cdot a)$ mm	0						
$\Delta(F'' \cdot b)$ mm	$\pm 0,001$						
$\Delta(F'' \cdot c)$ mm	$+0,015$						

Tafel 15a.

Beispiel	13	14	15	16	17	18	Nr.
Verschluss	4						(395a) 1)
2b mm	3,8						
2Aa mm	10,0						
f ₀ mm	165,0						
2B ₀ mm	58,93						
k mm	20,0						
r' ₀₁ mm	200,0						
m	120						
n̄	1/2,5						
n s ⁻¹	3 000	6 000	12 000	30 000	60 000	90 000	
v mm s ⁻¹	11 400	22 800	45 600	114 000	228 000	342 000	
h mm	72,57						(396b)
ζ mm	20,75						
α ₀ 1)	1,0						
e mm	41,53						
cot θ θ	2,040 26° 08'						
z	0,303						
d ₁₁ mm	29,0						
d ₁₂ mm	17,0						
d ₂₁ mm	13,5						
d ₂₂ mm	12,5						
d ₁₂ +d ₂₁ mm	30,5						
e mm	41,53						
d ₁₁ +d ₁₂ mm	46,0						
d ₂₁ +d ₂₂ mm	26,0						
α ₀ mm	98,10						
α ₀₂ mm	56,57						
r' ₀₁ mm	200,0						
r' ₀₂ mm	167,8						
w mm	10,5						
w ₂ mm	8,8						
x mm	77,3						
y mm	183,9						
c mm	147,6						
g mm	465,5						

1) Gegebene Elemente.

Tafel 15b.

[illegible]

Tafel 16a.

Beispiel	19	20	21	22	23	24	Nr.
Verschluss	4						(397a) ¹⁾
2b mm	7,6						
2Δα mm	10,0						
f ₀ mm	165,0						
2B ₀ mm	58,93						
k mm	17,12						
r' ₀₁ mm	100,0						
m	60						
$\bar{n}$	1/3						
n s ⁻¹	1 200	3 000	6 000	12 000	30 000	60 000	
v mm s ⁻¹	9 100	22 800	45 600	91 200	228 000	456 000	
h mm	72,57						(397b)
ζ mm	20,76						
α ₀ ¹⁾	1,0						
e mm	41,53						
cot θ θ	1,732 30° 00'						
z	0,257						
d ₁₁ mm	26,0						
d ₁₂ mm	16,0						
d ₂₁ mm	13,5						
d ₂₂ mm	12,5						
d ₁₂ +d ₂₁ mm	29,5						
e mm	41,53						
d ₁₁ +d ₁₂ mm	42,0						
d ₂₁ +d ₂₂ mm	26,0						
a ₀ mm	57,74						
a ₀₂ mm	16,21						
r' ₀₁ mm	100,0						
r' ₀₂ mm	76,0						
v mm	10,5						
w ₂ mm	8,0						
x mm	37,0						
y mm	88,0						
c mm	51,7						
g mm	202,2						

1) Gegebene Elemente.

Tafel 16b.

[illegible]

Tafel 17a.

Beispiel	25	26	27	28	29	30	Nr.
Verschluss	4						(398a) ¹⁾
2 <i>b</i> mm	7,6						
2 <i>Aa</i> mm	10,0						
<i>f</i> ₀ mm	165,0						
2 <i>B</i> ₀ mm	58,93						
<i>k</i> mm	25,17						
<i>r</i> ' ₀₁ mm	100,0						
<i>m</i>	90						
$\bar{n}$	1/2,5						
<i>n</i> s ⁻¹	1 200	3 000	6 000	12 000	30 000	60 000	
<i>v</i> mm s ⁻¹	9 100	22 800	45 600	91 200	228 000	456 000	
<i>h</i> mm	108,86						(398b)
ζ mm	26,16						
α ₀ ¹⁾	1,0						
<i>e</i> mm	52,32						
cot θ θ	1,420 35° 11'						
<i>z</i>	0,212						
<i>d</i> ₁₁ mm	29,0						
<i>d</i> ₁₂ mm	20,0						
<i>d</i> ₂₁ mm	17,0						
<i>d</i> ₂₂ mm	16,0						
<i>d</i> ₁₂ + <i>d</i> ₂₁ mm	37,0						
<i>e</i> mm	52,32						
<i>d</i> ₁₁ + <i>d</i> ₁₂ mm	49,0						
<i>d</i> ₂₁ + <i>d</i> ₂₂ mm	33,0						
α ₀ mm	70,02						
α ₀₂ mm	17,70						
<i>r</i> ' ₀₁ mm	100,0						
<i>r</i> ' ₀₂ mm	81,0						
<i>w</i> mm	7,0						
<i>w</i> ₂ mm	5,7						
<i>x</i> mm	44,0						
<i>y</i> mm	90,5						
<i>c</i> mm	36,1						
<i>g</i> mm	192,5						

1. Gegebene Elemente.

Tafel 17b.

Beispiel	25	26	27	28	29	30	Nr.
Verschluss	4						(389c)
f' mm	125,0						
$2B$ mm	44,65						
r_0 mm	110,0						
$\bar{n}$	1/2,5						
n s ⁻¹	1 200	3 000	6 000	12 000	30 000	60 000	
V_0 mm s ⁻¹	14 500	36 200	72 400	144 800	361 800	723 600	
T s	1/3 000	1/7 500	1/15 000	1/30 000	1/75 000	1/150 000	
$W_0 + w_0$ mm	3,79						
t s	1/3 800	1/9 600	1/19 100	1/38 200	1/95 500	1/191 000	
$(W_0 + w_0)/2B$	0,085						
w_0 mm	3,39						
W_0 mm	3,40						
$L/\nu B_0^2 t$	0,085						
$L_2/\nu B_0^2 t$	0,042						
$L_2/\nu B_0^2$	1/90 200	1/225 400	1/450 800	1/901 600	1/2 254 000	1/4 508 000	
Π' mm	1,66						
2τ min	39,1						
$2b''$ mm	9,34						
$\bar{n}$	1/2,5						
ϕ	0,013 97						
$\Delta\phi$	0,021 92						
ρ	∞						
$[F'' \cdot a]$ mm	0						
$[F'' \cdot b]$ mm	$\pm 0,002$						
$[F'' \cdot c]$ mm	$+0,164$						
$\Delta(F'' \cdot a)$ mm	0						
$\Delta(F'' \cdot b)$ mm	$\pm 0,001$						
$\Delta(F'' \cdot c)$ mm	$+0,020$						

(389d)

1. Die Bildfehler sind so klein im Vergleich mit denen bei anderen Verfahren, dass sie vernachlässigt werden können.

2. Die Spiegelzahl des Spiegelkranzes ist im Verhältnis zu der bei anderen Verfahren sehr gering.

3. Aus dem oben erwähnten Grund ist das jetzige Verfahren sowohl für kleinere tragbare Apparate niedriger Bildfrequenz verwendbar, als auch für grössere von hoher Bildfrequenz, die nur im Laboratorium benutzt werden können.

$$\rho = c \quad (399)$$

$$\mathbf{s} = \frac{1}{\sqrt{2}} \{ \cos \phi \mathbf{i} + \sin \phi \mathbf{j} + \mathbf{k} \} \quad (400)$$

$$\Phi = \mathbf{I} - 2\mathbf{s}\mathbf{s} \quad (401)$$

$$\mathbf{F} = \Delta a \mathbf{i} + b \mathbf{j} - c \mathbf{k} \quad (402)$$

$$\mathbf{F}' = \Phi \cdot \mathbf{F}$$

$$\begin{aligned} &= \mathbf{i} \{ \Delta a \sin^2 \phi - b \sin \phi \cos \phi + c \cos \phi \} \\ &+ \mathbf{j} \{ -\Delta a \sin \phi \cos \phi + b \cos^2 \phi + c \sin \phi \} \\ &+ \mathbf{k} \{ -\Delta a \cos \phi - b \sin \phi \}. \end{aligned} \quad (403)$$

Setzt man

$$\mathbf{i} = \mathbf{c}, \quad \mathbf{j} = \mathbf{b}, \quad \mathbf{k} = -\mathbf{a} \quad (404)$$

voraus, so wird der vektorielle Bildfehler bei Vernachlässigung des Einflusses des Halbmessers der Filmtrommel ebenso wie der Glieder höherer Ordnung

$$\begin{aligned} (\mathbf{F}') &= \mathbf{F}' - \mathbf{F}'_0 \\ &= \mathbf{a} \left\{ b\phi - \frac{1}{2} \Delta a \phi^2 \right\} + \mathbf{b} \left\{ (c - \Delta a)\phi - b\phi^2 \right\} - \mathbf{c} \left\{ b\phi + \frac{1}{2} (c - 2\Delta a)\phi^2 \right\}. \end{aligned} \quad (405)$$

Setzt man die Bildhöhe $= 2b$ voraus, so entstehen die Maximal-Undeutlichkeiten:

$$\begin{aligned} [\mathbf{F}' \cdot \mathbf{a}] &= +2b\phi \\ [\mathbf{F}' \cdot \mathbf{b}] &= +2(c - \Delta a)\phi \\ [\mathbf{F}' \cdot \mathbf{c}] &= -2b\phi, \end{aligned} \quad (406)$$

und die Seiten-Bildverzerrung, die Längen-Bildverzerrung und die Bildfeld-Wölbung:

$$\begin{aligned} \Delta(\mathbf{F}' \cdot \mathbf{a}) &= -\frac{1}{2} \Delta a \phi^2 \\ \Delta(\mathbf{F}' \cdot \mathbf{b}) &= -b\phi^2 \\ \Delta(\mathbf{F}' \cdot \mathbf{c}) &= -\frac{1}{2} (c - 2\Delta a) \phi^2. \end{aligned} \quad (407)$$

Bezeichnet man die Bildfrequenz mit n und die Belichtungsdauer des einzelnen Abbildes mit τ , so ergibt sich die Beziehung:

$$2\phi = \frac{2bn\tau}{c}. \quad (408)$$

Hierauf kann man aus den in Tafel 18 übersichtlich dargestellten Beispielen sofort erkennen, dass, wie es in Ziff. 7 erörtert ist, die Leistungsfähigkeit des nach dem betrachteten Verfahren entworfenen Apparates bereits das Maximum

Tafel 18.

Beispiel		1a	2a	3a	4a	5a	Nr.
2b	mm	10					(409a)
2Aa	mm	10					
c	mm	318,31					
n	s ⁻¹	50 000			300 000		
τ	s	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	3·10 ⁻⁵	10 ⁻⁷	5·10 ⁻⁷	(409b)
2 ϕ		0,000 157	0,001 571	0,004 712	0,000 942	0,004 712	
[F'·a]	mm	±0,001	±0,008	±0,024	±0,005	±0,023	
[F'·b]	mm	±0,051	±0,508	±1,524	±0,305	±1,023	
[F'·c]	mm	±0,001	±0,008	±0,024	±0,005	±0,023	
$\Delta(F'·a)$	mm	0	0	0	0	0	
$\Delta(F'·b)$	mm	0	0	0	0	0	
$\Delta(F'·c)$	mm	0	0	-0,012	0	-0,007	

erreicht hat und deshalb die Maximal-Bildfrequenz des gegenwärtigen Verfahrens als $n = 50\,000\text{ s}^{-1}$ angesehen werden dürfte. Dieser Nachteil kann durch die in der nächststehenden Ziffer besprochene Massregel einwandfrei beseitigt werden.

43. Umlaufender Hauptspiegel mit umlaufenden Hilfsspiegeln. Wenn man umlaufende Hilfsspiegel dem bestehenden einfachen umlaufenden Spiegel hinzufügt, wie es in Abb. 41a dargestellt ist, so können die grössten Bildfehler vollständig beseitigt werden. Siehe Abb. 41a,b,c. Man nennt die Durchschnittsebene des durch die letzte Linsenfläche des Objektivs durchtretenden Strahlenbündels $H_1Z_0H_4$, die optische Achse des Objektivs Z_0OF_0 , die betrachtete umlaufende Haupt-Spiegel-ebene COD , die Umdrehungsachse von COD Z_0OF_0 , die betrachtete umlaufende Hilfsspiegel-ebene $C_2O_2D_2$, die Umdrehungsachse von $C_2O_2D_2$ O_2Z_2 , die durch das Objektiv direkt gebildete imaginäre Bildebene F_0F' , die nach zweimaliger Reflexion an COD und $C_2O_2D_2$ wirkliche Bildebene $F_0'F''$, den durch P ablaufenden achsenparallelen Lichtstrahl PSF bzw. PSS_2F'' , den extremen Strahl H_4CC_2F'' , die Filmtrommel $R_2R_2F_0''$, die Umdrehungsachse der Filmtrommel $Z_0OR_2F_0$, die zu OZ_0 in O nach O_2 gezogene Senkrechte OI , die zu OZ_0 und OI in O gezogene Senkrechte OJ und die zur Spiegelebene COD und $C_2O_2D_2$ gezogenen Normalen ON_0 bzw. O_2N_2 .

Bezeichnet man den Koordinatenanfang mit O , die nach einem Rechtssystem in Richtung von OI OJ OZ_0 angenommenen Einheitsvektoren mit (i, j, k) , die Koordinatenmasszahlen von F_0 mit $(0, 0, -c)$, die von F mit $(Aa, b, -c)$, die längs

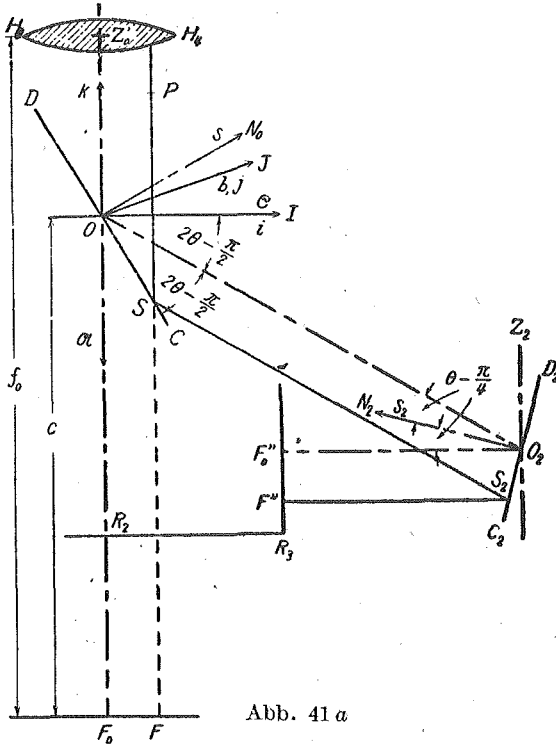


Abb. 41 a

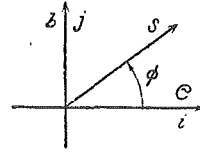


Abb. 41 b

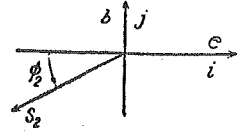


Abb. 41 c

$\overline{ON}_0$ und $\overline{O_2N_2}$ angenommenen Einheits-normalvektoren mit s bzw. s_2 , den zwischen $\overline{ON}_0$ und $\overline{OZ}_0$ gebildeten Winkel mit θ , den zwischen $\overline{O_2N_2}$ und $\overline{O_2Z_2}$ gebildeten mit θ_2 , die Umdrehungswinkel von s um $\overline{OZ}_0$ in Bezug auf die k, i -Ebene mit ϕ , die von s_2 um $\overline{O_2Z_2}$ in Bezug auf die k, i -Ebene mit ϕ_2 , die Vektoren von F und F'' mit F bzw. F'' , den Halbmesser der Filmtrommel mit ρ und die Koordinatenmasszahlen von O mit $\left\{(\rho+h_2), O, (\rho+h_2) \tan\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right)\right\}$, und nimmt man $\overline{Z_0OF_0} // \overline{Z_2O_2}$ an, so entstehen die Beziehungen:

$$c = (\rho + h_2) \sec\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right) + h_2 \quad (410)$$

$$c + \rho = (\rho + h_2) \frac{1 + \sin 2\theta}{\sin 2\theta},$$

$$s = \sin \theta \cos \phi i + \sin \theta \sin \phi j + \cos \theta k, \quad (411)$$

$$\begin{aligned} s_2 &= -\cos\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right) \cos \phi_2 i - \cos\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right) \sin \phi_2 j + \sin\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right) k \\ &= -\frac{1}{\sqrt{2}} \left\{ (\cos \theta + \sin \theta) (\cos \phi_2 i + \sin \phi_2 j) + (\cos \theta - \sin \theta) k \right\}, \end{aligned} \quad (412)$$

$$\begin{aligned} \sqrt{2} s_2 \cdot s &= -(\cos \theta + \sin \theta) \sin \theta \cos (\phi_2 - \phi) - (\cos \theta - \sin \theta) \cos \theta \\ &= -1 + (\cos \theta + \sin \theta) \sin \theta \{1 - \cos (\phi_2 - \phi)\}, \end{aligned} \quad (413)$$

$$\Phi = I - 2ss, \quad (414)$$

$$\Phi_2 = I - 2s_2s_2, \quad (415)$$

$$F = \Delta a i + b i - c k, \quad (416)$$

$$\begin{aligned} F'' &= \Phi_2 \cdot \left\{ \Phi \cdot F - (\rho + h_2)i + (\rho + h_2) \tan \left(2\theta - \frac{1}{2}\pi \right) k \right\} \\ &\quad + (\rho + h_2)i - (\rho + h_2) \tan \left(2\theta - \frac{1}{2}\pi \right) k \\ &= \{I - 2s_2s_2 - 2ss + 4s_2s_2 \cdot ss\} \cdot F \\ &\quad + 2s_2s_2 \cdot \left\{ (\rho + h_2)i - (\rho + h_2) \tan \left(2\theta - \frac{1}{2}\pi \right) k \right\} \\ &= \Delta a i + b j - c k \\ &\quad - \{(\cos \theta + \sin \theta) \cos \phi_2 i + (\cos \theta + \sin \theta) \sin \phi_2 j + (\cos \theta - \sin \theta) k\} \\ &\quad \times \{(\cos \theta + \sin \theta)(\Delta a \cos \phi_2 + b \sin \phi_2) - (\cos \theta - \sin \theta)c\} \\ &\quad - 2\{\sin \theta \cos \phi i + \sin \theta \sin \phi j + \cos \theta k\} \\ &\quad \times \{\Delta a \sin \theta \cos \phi + b \sin \theta \sin \phi - c \cos \theta\} \\ &\quad + 2\{(\cos \theta + \sin \theta)(\cos \phi_2 i + \sin \phi_2 j) + (\cos \theta - \sin \theta)k\} \\ &\quad \times \left[1 - (\cos \theta + \sin \theta) \sin \theta \{1 - \cos(\phi_2 - \phi)\} \right] \\ &\quad \times \{\Delta a \sin \theta \cos \phi + b \sin \theta \sin \phi - c \cos \theta\} \\ &\quad + \{(\cos \theta + \sin \theta)(\cos \phi_2 i + \sin \phi_2 j) + (\cos \theta - \sin \theta)k\} \\ &\quad \times (\rho + h_2) \left\{ (\cos \theta + \sin \theta) \cos \phi_2 - \tan \left(2\theta - \frac{1}{2}\pi \right) (\cos \theta - \sin \theta) \right\}. \quad (417) \end{aligned}$$

Folglich ergeben sich bei Vernachlässigung der Glieder höherer Ordnung nach (417) und (410)

$$\begin{aligned} F'' \cdot j &= b - \{(1 + \sin 2\theta)(\Delta a + b\phi_2) - c \cos 2\theta\} \phi_2 \\ &\quad - \{(1 - \cos 2\theta)(\Delta a + b\phi) - c \sin 2\theta\} \phi \\ &\quad + \{(\sin 2\theta + 1 - \cos 2\theta)(\Delta a + b\phi) - c(1 + \cos 2\theta + \sin 2\theta)\} \phi_2 \\ &\quad + (\rho + h_2) \{1 + \sin 2\theta + \cot 2\theta \cos 2\theta\} \phi_2 \\ &= b \{1 - (1 + \sin 2\theta)\phi_2^2 - (1 - \cos 2\theta)\phi^2 + (1 + \sin 2\theta - \cos 2\theta)\phi\phi_2\} \\ &\quad - \Delta a \{(1 - \cos 2\theta)\phi + \cos 2\theta\phi_2\} - c \sin 2\theta (\phi_2 - \phi) + \rho\phi_2, \quad (418) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F'' \cdot k &= -c - \left\{ \Delta a \cos 2\theta \left(1 - \frac{1}{2} \phi_2^2 \right) + b \cos 2\theta \phi_2 - c(1 - \sin 2\theta) \right\} \\
&\quad - \left\{ \Delta a \sin 2\theta \left(1 - \frac{1}{2} \phi^2 \right) + b \sin 2\theta \phi - c(1 + \cos 2\theta) \right\} \\
&\quad + \left\{ 1 - \frac{1}{4} (\sin 2\theta + 1 - \cos 2\theta) (\phi_2 - \phi)^2 \right\} \\
&\quad \times \left\{ \begin{aligned} &\Delta a (\sin 2\theta - 1 + \cos 2\theta) \left(1 - \frac{1}{2} \phi^2 \right) + b (\sin 2\theta - 1 + \cos 2\theta) \phi \\ &- c(1 + \cos 2\theta - \sin 2\theta) \end{aligned} \right\} \\
&\quad + (\rho + h_2) \left\{ \cos 2\theta \left(1 - \frac{1}{2} \phi_2^2 \right) + \cot 2\theta (1 - \sin 2\theta) \right\} \\
&= -\Delta a \left\{ 1 - \frac{1}{2} \cos 2\theta \phi_2^2 - \frac{1}{2} (1 - \cos 2\theta) \phi^2 + \frac{1}{2} \cos 2\theta (1 - \cos 2\theta) (\phi_2 - \phi)^2 \right\} \\
&\quad - b \left\{ \cos 2\theta \phi_2 + (1 - \cos 2\theta) \phi \right\} + \frac{1}{2} c \sin 2\theta \cos 2\theta (\phi_2 - \phi)^2 \\
&\quad + (\rho + h_2) \left\{ \cot 2\theta - \frac{1}{2} \cos 2\theta \phi_2^2 \right\}. \tag{419}
\end{aligned}$$

Um die Bildfehler erster Ordnung von (418) und (419) zu beseitigen, setzt man voraus nach (410)

$$-c \sin 2\theta (\phi_2 - \phi) + \rho \phi_2 = 0 \tag{420}$$

$$(1 - \cos 2\theta) \phi + \cos 2\theta \phi_2 = 0, \tag{421}$$

sodann entstehen

$$\frac{\phi_2}{\phi} = -\frac{1 - \cos 2\theta}{\cos 2\theta} \tag{422}$$

$$\frac{\phi_2 - \phi}{\phi} = -\frac{1}{\cos 2\theta} \tag{423}$$

$$= \frac{1}{\sin \left(2\theta - \frac{1}{2} \pi \right)}$$

$$\frac{\rho}{c} = \frac{1 + \cos 2\theta}{\sin 2\theta} = \cot \theta \tag{424}$$

$$= \tan \left(\frac{1}{2} \pi - \theta \right)$$

$$\begin{aligned}
\frac{c + \rho}{c} &= \frac{1 + \sin 2\theta + \cos 2\theta}{\sin 2\theta} \\
&= 1 + \cot \theta \tag{425}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{h_2}{c} &= -\frac{1+\cos 2\theta}{\cos 2\theta} \frac{1-\sin 2\theta}{\sin 2\theta} \\ &= \frac{1-\sin\left(2\theta-\frac{1}{2}\pi\right)}{\sin\left(2\theta-\frac{1}{2}\pi\right)} \frac{1-\cos\left(2\theta-\frac{1}{2}\pi\right)}{\cos\left(2\theta-\frac{1}{2}\pi\right)}\end{aligned}\quad (426)$$

$$= 1 - \tan\left(\theta - \frac{1}{4}\pi\right) - \tan\left(\frac{1}{2}\pi - \theta\right)$$

$$\frac{h_2}{\rho} = \tan\left(\theta - \frac{1}{4}\pi\right) \quad (427)$$

$$\begin{aligned}\frac{\rho+h_2}{c} &= \frac{c-h_2}{c} \sin 2\theta \\ &= \frac{2\cos\theta}{\cos\theta+\sin\theta} = \frac{1-\sin 2\theta+\cos 2\theta}{\cos 2\theta} \\ &= 1 - \tan\left(\theta - \frac{1}{4}\pi\right).\end{aligned}\quad (428)$$

Folglich werden die Koordinaten-masszahlen des Bildpunktes nach (417) bis (428) bei Vernachlässigung der Glieder höherer Ordnung

$$\begin{aligned}F'' \cdot \mathbf{i} &= Aa - \left(1 - \frac{1}{2}\phi_2^2\right) \left\{ (1 + \sin 2\theta)(Aa + b\phi_2) - c \cos 2\theta \right\} \\ &\quad - \left(1 - \frac{1}{2}\phi^2\right) \left\{ (1 - \cos 2\theta)(Aa + b\phi) - c \sin 2\theta \right\} \\ &\quad + \left(1 - \frac{1}{2}\phi_2^2\right) \left\{ 1 - \frac{1}{4}(\sin 2\theta + 1 - \cos 2\theta)(\phi_2 - \phi)^2 \right\} \\ &\quad \times \left\{ (\sin 2\theta + 1 - \cos 2\theta)(Aa + b\phi) - c(1 + \cos 2\theta + \sin 2\theta) \right\} \\ &\quad + (\rho + h_2) \left(1 - \frac{1}{2}\phi_2^2\right) \left\{ (1 + \sin 2\theta) \left(1 - \frac{1}{2}\phi_2^2\right) + \cot 2\theta \cos 2\theta \right\} \\ &= b \left\{ \sin 2\theta \phi - (1 + \sin 2\theta)\phi_2 \right\} \\ &\quad - c \left\{ 1 + \frac{1}{2} \sin 2\theta \phi^2 - \frac{1}{2}(1 + \sin 2\theta)\phi_2^2 - \frac{1}{2} \sin 2\theta (1 + \sin 2\theta)(\phi_2 - \phi)^2 \right\} \\ &\quad + (\rho + h_2) \left\{ \frac{1 + \sin 2\theta}{\sin 2\theta} - \frac{(1 + \sin 2\theta)^2}{2 \sin 2\theta} \phi_2^2 \right\} \\ &= b \left\{ \sin 2\theta + (1 + \sin 2\theta) \frac{1 - \cos 2\theta}{\cos 2\theta} \right\} \phi \\ &\quad + c \left\{ \frac{1 - \sin 2\theta + \cos 2\theta}{\cos 2\theta} \frac{1 + \sin 2\theta}{\sin 2\theta} - 1 \right\}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{2}c \left\{ (1 + \sin 2\theta) \left(\frac{1 - \cos 2\theta}{\cos 2\theta} \right)^2 - \sin 2\theta + \sin 2\theta \frac{1 + \sin 2\theta}{\cos^2 2\theta} \right. \\
& \quad \left. - \frac{1 - \sin 2\theta + \cos 2\theta}{\cos 2\theta} \frac{(1 + \sin 2\theta)^2}{\sin 2\theta} \left(\frac{1 - \cos 2\theta}{\cos 2\theta} \right)^2 \right\} \phi^2 \\
& = \rho + b \frac{1 + \sin 2\theta - \cos 2\theta}{\cos 2\theta} \phi - \frac{1}{2}c \frac{1 - \cos 2\theta}{1 - \sin 2\theta} (1 - \sin 2\theta + \cos 2\theta) \phi^2, \\
F'' \cdot j & = b - b \left\{ (1 + \sin 2\theta) \left(\frac{1 - \cos 2\theta}{\cos 2\theta} \right)^2 + 1 - \cos 2\theta + (1 + \sin 2\theta - \cos 2\theta) \frac{1 - \cos 2\theta}{\cos 2\theta} \right\} \phi^2 \\
& = b - b \frac{1 - \cos 2\theta}{1 - \sin 2\theta} \phi^2, \\
F'' \cdot k & = -Aa + \frac{1}{2}Aa \left\{ \frac{(1 - \cos 2\theta)^2}{\cos 2\theta} + 1 - \cos 2\theta - \frac{1 - \cos 2\theta}{\cos 2\theta} \right\} \phi^2 \\
& \quad - (\rho + h_2) \tan \left(2\theta - \frac{1}{2}\pi \right) \\
& \quad + \frac{1}{2}c \left\{ \tan 2\theta - (1 - \sin 2\theta + \cos 2\theta) \left(\frac{1 - \cos 2\theta}{\cos 2\theta} \right)^2 \right\} \phi^2 \\
& = -Aa - (\rho + h_2) \tan \left(2\theta - \frac{1}{2}\pi \right) + \frac{1}{2}c \sin 2\theta \frac{2 + \sin 2\theta - \cos 2\theta}{1 + \sin 2\theta} \phi^2.
\end{aligned}$$

Nämlich entsteht

$$\begin{aligned}
F'' & = \left[\begin{aligned} & \rho - b \frac{1 + \sin \left(2\theta - \frac{1}{2}\pi \right) + \cos \left(2\theta - \frac{1}{2}\pi \right)}{\sin \left(2\theta - \frac{1}{2}\pi \right)} \\ & - \frac{1}{2}c \frac{1 + \sin \left(2\theta - \frac{1}{2}\pi \right)}{1 - \cos \left(2\theta - \frac{1}{2}\pi \right)} \left\{ \sin \left(2\theta - \frac{1}{2}\pi \right) + \cos \left(2\theta - \frac{1}{2}\pi \right) - 1 \right\} \phi^2 \end{aligned} \right] i \\
& \quad + \left[\begin{aligned} & b - b \frac{1 + \sin \left(2\theta - \frac{1}{2}\pi \right)}{1 - \cos \left(2\theta - \frac{1}{2}\pi \right)} \phi^2 \end{aligned} \right] j \\
& \quad - \left[\begin{aligned} & Aa + (\rho + h_2) \tan \left(2\theta - \frac{1}{2}\pi \right) \\ & - \frac{1}{2}c \cos \left(2\theta - \frac{1}{2}\pi \right) \frac{2 + \sin \left(2\theta - \frac{1}{2}\pi \right) + \cos \left(2\theta - \frac{1}{2}\pi \right)}{1 + \cos \left(2\theta - \frac{1}{2}\pi \right)} \phi^2 \end{aligned} \right] k. \quad (429)
\end{aligned}$$

Setzt man

$$i = c, \quad j = b, \quad k = -a \quad (430)$$

voraus, so wird der vektorielle Bildfehler bei Vernachlässigung des Einflusses des Halbmessers der Filmtrommel

$$\begin{aligned}
 (F'') = & -\frac{1}{2}c \cos\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right) \frac{2 + \sin\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right) + \cos\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right)}{1 + \cos\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right)} \phi^2 \mathbf{a} \\
 & - b \frac{1 + \sin\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right)}{1 - \cos\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right)} \phi^2 \mathbf{b} \\
 & - \left[b \frac{1 + \sin\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right) + \cos\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right)}{\sin\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right)} \phi \right. \\
 & \quad \left. + \frac{1}{2}c \frac{1 + \sin\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right)}{1 - \cos\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right)} \left\{ \sin\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right) + \cos\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right) - 1 \right\} \phi^2 \right] \mathbf{c} . \quad (431)
 \end{aligned}$$

Infolgedessen werden die Maximal-Undeutlichkeiten des Bildpunktes :

$$\begin{aligned}
 [F'' \cdot \mathbf{a}] &= 0 \\
 [F'' \cdot \mathbf{b}] &= 0 \\
 [F'' \cdot \mathbf{c}] &= -2b \frac{1 + \sin\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right) + \cos\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right)}{\sin\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right)} \phi \quad (432)
 \end{aligned}$$

und die Seitenbildverzerrung, die Längenbildverzerrung und die Bildfeldwölbung :

$$\begin{aligned}
 \Delta(F'' \cdot \mathbf{a}) &= -\frac{1}{2}c \cos\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right) \frac{2 + \sin\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right) + \cos\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right)}{1 + \cos\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right)} \phi^2 \\
 \Delta(F'' \cdot \mathbf{b}) &= -b \frac{1 + \sin\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right)}{1 - \cos\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right)} \phi^2 \\
 \Delta(F'' \cdot \mathbf{c}) &= \frac{1}{2}c \frac{1 + \sin\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right)}{1 - \cos\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right)} \left\{ \sin\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right) + \cos\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right) - 1 \right\} \phi^2 . \quad (433)
 \end{aligned}$$

Bezeichnet man hierbei die Bildfrequenz mit n und die Belichtungsdauer des einzelnen Bildchens mit T , so ergibt sich die Beziehung:

$$2\phi = \frac{2bnT}{c}. \quad (434)$$

44. Die Elemente des Entwurfs. Man nimmt an, dass CD die Hauptspiegel-ebene ist, die den umlaufenden Zylinder COD , der kreisförmigen Querschnitt hat, schneidet bzw. die Hilfs-spiegel-ebene C_2D_2 ist, die den umlaufenden Zylinder $C_2O_2D_2$ schneidet, der auch kreisförmigen Querschnitt hat.

Bezeichnet man die Halbmesser der Zylinder COD und $C_2O_2D_2$ mit d bzw. d_2 , so entstehen die Beziehungen nach (159) bis (163) im Vergleich mit Abb. 28 und 41a:

$$2d > 2\left\{b + \frac{B_0 - b}{f_0}c\right\} \quad (435a)$$

$$2d \sec \theta > 2 \frac{\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0}c}{1 - \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \tan \theta} \quad (435b)$$

$$2d_2 > 2\left\{b + \frac{B_0 - b}{f_0}h_2\right\} \quad (436a)$$

$$2d_2 \sec\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right) > 2 \frac{\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0}h_2}{1 - \frac{B_0 - \Delta a}{f_0} \tan\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right)}. \quad (436b)$$

Nennt man die Bildfrequenz n und die Bildzahl des auf der Filmtrommel aufgewickelten Filmbandes i , so ergibt sich

$$\rho = \frac{2bi}{2\pi}. \quad (437)$$

Lässt man $\left(\frac{\partial h_2}{\partial \theta}\right)$ verschwinden, so folgt aus (426)

$$\frac{\partial h_2}{\partial \theta} = c \left\{ -\sec^2\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right) + \sec^2\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) \right\} = 0: \quad (438)$$

daraus folgt für das Maximum von h_2

$$2\theta = \frac{3}{4}\pi = 135^\circ, \quad \theta = \frac{3}{8}\pi = 67^\circ 30'. \quad (439)$$

45. Zusammenfassung. Im allgemeinen muss man zuerst θ und ρ oder m bestimmen derart, dass die Bildfehler möglichst klein werden. Die übrigen Elemente sind dann folgendermassen zu veranschlagen:

$$\rho = \frac{2bi}{2\pi} \quad (437)$$

$$c = \rho \frac{1 + \sin\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right)}{\cos\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right)} = \rho \tan \theta \quad (424)$$

$$h_2 = c \left\{ 1 - \tan\left(\theta - \frac{1}{4}\pi\right) - \tan\left(\frac{1}{2}\pi - \theta\right) \right\} \quad (426)$$

$$h_2 = \rho \tan\left(\theta - \frac{1}{4}\pi\right) \quad (427)$$

$$\rho + h_2 = \rho \left\{ 1 + \tan\left(\theta - \frac{1}{4}\pi\right) \right\} \quad (440)$$

$$\rho + h_2 = c \left\{ 1 - \tan\left(\theta - \frac{1}{4}\pi\right) \right\} \quad (428)$$

$$\frac{\phi_2}{\phi} = \frac{1}{\sin\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right)} + 1. \quad (422)$$

Differentiiert man (422) nach der Zeit t , so ergibt sich

Tafel 19.

$\sin\left(2\theta - \frac{\pi}{2}\right)$	$\Theta - \frac{\pi}{2}$	θ	ϕ_2/ϕ	ρ/c	c/ρ	h_2/ρ	h_2/c
20/22	65° 23'	77° 42'	2,10	0,2182	4,583	0,6417	0,1401
20/23	60° 24'	75° 12'	2,15	0,2642	3,785	0,5820	0,1538
20/24	56° 27'	73° 14'	2,20	0,3013	3,319	0,5369	0,1618
20/25	53° 08'	71° 34'	2,25	0,3333	3,000	0,5000	0,1667
20/26	50° 17'	70° 08'	2,30	0,3613	2,767	0,4691	0,1696
20/27	48° 22'	69° 11'	2,35	0,3802	2,630	0,4491	0,1707
20/28	45° 35'	67° 48'	2,40	0,4081	2,450	0,4204	0,1715
20/29	43° 36'	66° 48'	2,45	0,4283	2,333	0,4000	0,1717
20/30	41° 48'	65° 54'	2,50	0,4473	2,236	0,3819	0,1708
20/32	38° 41'	64° 20'	2,60	0,4806	2,081	0,3508	0,1686
20/34	36° 02'	63° 01'	2,70	0,5092	1,964	0,3252	0,1656
20/36	33° 45'	61° 53'	2,80	0,5343	1,872	0,3035	0,1622
20/38	31° 45'	60° 52'	2,90	0,5574	1,794	0,2842	0,1584
20/40	30° 00'	60° 00'	3,00	0,5774	1,732	0,2680	0,1546
20/50	23° 35'	56° 47'	3,50	0,6548	1,527	0,2086	0,1366
20/60	19° 28'	54° 44'	4,00	0,7072	1,414	0,1715	0,1213

$$\begin{aligned}\frac{\partial \phi_2}{\partial t} &= \left\{ \frac{1}{\sin\left(2\theta - \frac{1}{2}\pi\right)} + 1 \right\} \frac{\partial \phi}{\partial t} \\ &= \frac{\phi_2}{\phi} \frac{\partial \phi}{\partial t}.\end{aligned}\quad (441)$$

Die aus diesen Beziehungen folgenden Werte der Elemente sind in Tafel 19 wiedergegeben.

Die Durchmesser der umlaufenden Spiegelzylinder müssen so angenommen werden, dass die folgenden Bedingungen befriedigt werden können:

$$2d > 2\left\{b + \frac{B_0 - b}{f_0}c\right\} \quad (435a)$$

$$2d > 2 \frac{\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0}c}{1 - \frac{B_0 - \Delta a}{f_0}\tan\theta} \cos\theta \quad (435b)$$

$$2d_2 > 2\left\{b + \frac{B_0 - b}{f_0}h_2\right\} \quad (436a)$$

$$2d_2 > 2 \frac{\Delta a + \frac{B_0 - \Delta a}{f_0}h_2}{1 - \frac{B_0 - \Delta a}{f_0}\tan\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right)} \cos\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right). \quad (436b)$$

Endlich sollen die Bildfehler genau veranschlagt werden. Nimmt man hierauf

$$2\phi = \frac{2bnT}{c} \quad (434)$$

$$\theta = 2\theta - \frac{1}{2}\pi \quad (442)$$

an, so werden die Maximal-Undeutlichkeiten des Bildpunktes:

$$\begin{aligned}[F'' \cdot \mathbf{a}] &= 0 \\ [F'' \cdot \mathbf{b}] &= 0 \\ [F'' \cdot \mathbf{c}] &= -2b \frac{1 + \sin\theta + \cos\theta}{\sin\theta} \phi\end{aligned}\quad (432)$$

und die Seiten-bildverzerrung, die Längen-bildverzerrung und die Bildfeldwölbung:

$$\Delta(F'' \cdot \mathbf{a}) = -\frac{1}{2}c \cos\theta \frac{2 + \sin\theta + \cos\theta}{1 + \cos\theta} \phi^2$$

$$\Delta(F'' \cdot b) = -b \frac{1 + \sin \theta}{1 - \cos \theta} \phi^2 \quad (433)$$

$$\Delta(F'' \cdot c) = \frac{1}{2} c \frac{1 + \sin \theta}{1 - \cos \theta} \left\{ \sin \theta + \cos \theta - 1 \right\} \phi^2.$$

Um die Wirksamkeit dieses neuen Verfahrens anschaulich zu verständlichen, sind Tafel 20 und 21 beigelegt. In Tafel 20 sind die Beiwerte von (432) und (433) im Zusammenhang mit ϕ_2/ϕ , θ und θ tabellarisch dargestellt: daraus kann man sofort bemerken, dass je grösser θ , bzw. je kleiner ϕ_2/ϕ angenommen ist, um so kleiner die Bildfehler werden.

In Tafel 21 sind die Beispiele gezeigt, deren Nummern denselben mit a in Tafel 18, Ziff. 42 gegebenen entsprechen sollen; in den beiden Fällen ist T , $2b$ und $2a$ ganz gleich angenommen.

Tafel 20.

ϕ_2/ϕ	θ	$\theta - \frac{\pi}{2}$	$[F'' \cdot c]/2b\phi$	$\Delta(F'' \cdot a)/c\phi^2$	$\Delta(F'' \cdot b)/b\phi^2$	$\Delta(F'' \cdot c)/c\phi^2$
2,10	77° 42'	65° 23'	-2,56	-0,489	- 3,27	0,53
2,15	75° 12'	60° 24'	-2,72	-0,556	- 3,70	0,67
2,20	73° 14'	56° 27'	-2,87	-0,602	- 4,10	0,79
2,25	71° 34'	53° 08'	-3,00	-0,638	- 4,50	0,90
2,30	70° 08'	50° 17'	-3,13	-0,664	- 4,90	1,00
2,35	69° 11'	48° 22'	-3,23	-0,681	- 5,21	1,07
2,40	67° 48'	45° 35'	-3,38	-0,703	- 5,71	1,18
2,45	66° 48'	43° 36'	-3,50	-0,717	- 6,13	1,27
2,50	65° 54'	41° 48'	-3,62	-0,729	- 6,55	1,35
2,60	64° 20'	38° 41'	-3,85	-0,746	- 7,41	1,50
2,70	63° 01'	36° 02'	-4,08	-0,759	- 8,30	1,65
2,80	61° 53'	33° 45'	-4,29	-0,769	- 9,23	1,79
2,90	60° 52'	31° 45'	-4,52	-0,776	-10,20	1,92
3,00	60° 00'	30° 00'	-4,73	-0,781	-11,19	2,05
3,50	56° 47'	23° 35'	-5,79	-0,793	-16,77	2,76
4,00	54° 44'	19° 28'	-6,84	-0,795	-23,33	3,63

Man kann dadurch sofort erkennen, dass die Bildfehler beim hier zuerst vorgetragenen Verfahren sogar bei hoher Bildfrequenz einwandfrei beseitigt sind. Das alte System war wegen der Grösse der Bildfehler auf ca. 50 000 s^{-1} beschränkt.

Tafel 21.

Beispiel		1	2	3	4	5	6	Nr.
Element								
2 <i>b</i>	mm	10						(444a)
2 <i>Aa</i>	mm	10						
<i>c</i>	mm	318,31						
<i>n</i>	s ⁻¹	50 000	50 000	50 000	300 000	300 000	150 000	
<i>T</i>	s	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	3·10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	5·10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	
θ		65° 45'						(444b)
2φ		0,000 157	0,001 571	0,004 712	0,000 942	0,004 712	0,004 712	
[F ^{''} · <i>a</i>]	mm	0	0	0	0	0	0	
[F ^{''} · <i>b</i>]	mm	0	0	0	0	0	0	
[F ^{''} · <i>c</i>]	mm	±0,003	±0,028	±0,085	±0,017	±0,085	±0,085	
<i>A</i> (F ^{''} · <i>a</i>)	mm	0	0	-0,001	0	-0,001	-0,001	
<i>A</i> (F ^{''} · <i>b</i>)	mm	0	0	-0,002	0	-0,002	-0,002	
<i>A</i> (F ^{''} · <i>c</i>)	mm	0	0	+0,002	0	+0,002	+0,002	

ZUSAMMENFASSUNG.

Soweit dem Verfassers bekannt ist, pflegt man bisher überhaupt nicht so grossen Wert auf die exakte Aufsuchung der optischen Theorien der Zeitdehner, d.h. die der Bildfehler (Bildqualität), der guten Definiertheit der Aufnahmezeit und der ausreichenden Unabhängigkeit aufeinander folgender Aufnahmen zu legen.

Die erforderlichen und ausreichenden Bedingungen für eine exakte Registrierung des Erscheinungszustandes und die Übersicht über die bisherigen Zeitdehner mit Beurteilung wurden zuerst in Kapitel 1 besprochen. In Tafel 1 sind alle verwirklichtbaren Aufnahmesysteme, bestehende und hier neue vorgetragene, systematisch zusammengestellt. Ausschliesslich der Funkenkinematographen sind die Zeitdehner, die in dieser Arbeit zuerst behandelt wurden, besser entwickelt als die bestehenden. Ausser den eigentlichen Belichtungsmethoden darf man auch an die Mitwirkung des Optischen Ausgleiches bei der Funkenbelichtung denken, durch die viel stärkere Belichtung, wie in Ziff. 5 bzw. 12 hervorgehoben ist, erzielt werden kann, obwohl in neuerer Zeit die äusserst verbesserte Hochdruck-quecksilber-quartzlampe als Beleuchtungsquelle auf den Markt je nach Bedarf erhältlich ist. Bei der Ableitung des Thunsschen Verfahrens, (16), war man von einem irrtümlichen Grundbegriff über den optischen Mechanismus der Maximalbelichtungsmenge ausgegangen: aus diesem Grund beträgt die Wirksamkeit nur 77 % des Maximalwertes. Die Wirksamkeit der Belichtung in Hinsicht auf den Mechanismus wurde ebensowie die Belichtungsmenge durch die in Ziff. 15 bis 19, Kapitel 2, vorgetragenen Theorien bis zum Maximum gebracht und zwar dürfen diese auch in gleicher Weise zu den in Kapitel 3 bis 5 erörterten Optischen Ausgleichen Anwendung finden.

In Kapitel 3 ist der optische Ausgleich mit einem kegelförmigen Spiegelkranz durch die Einführung der Verschlüsse von 1 bis 4 und Licht-, Ding- und Bildfenster nach den eingehenden Untersuchungen einwandfrei vervollständigt, d.h. die Bildfehler sind sowohl möglichst herabgesenkt, als auch die Wirksamkeit der Belichtung unvergleichlich hinaufgesteigert.

Die Arbeitsweise wurde nun so rationalisiert dass nicht nur die Bildqualität verbessert ist, sondern auch jede Aufnahme nach einem bestimmten Zeitintervall nach erforderlicher und ausreichender Umänderung des Erscheinungszustandes pünktlich gemacht werden kann. Diese Tatsache bezeugen die Beispiele, die in Ziff. 25, 27 und 32 angeführt sind, anschaulich.

In Kapitel 4 ist der optische Ausgleich mit einem zylinderförmigen Spiegelkranz theoretisch behandelt. Man kann davon sofort anerkennen, dass dieses Verfahren ungeeigneter als die in Kapitel 3 und 5 vorgetragenen Optischen Ausgleichs ist.

In Kapitel 5 ist der Optische Ausgleich mit einem Paar Zwillingsspiegelkranzen vom Verfasser neuerdings vorgetragen: seine Wirksamkeit ist unvergleichlich hervorragend. Die einflussreichen Bildfehler, die bei den in Kapitel 3 und 4 erörtertem Verfahren aufzutreten pflegen, sind gründlich beseitigt, wobei

die Spiegelzahl des Spiegelkranzes auf ca. $1/3$ von der der letzteren herabgesetzt werden kann. Vergleiche die in Ziff. 40 angegebenen Beispiele mit den in Ziff. 32 und 34 angeführten. Aus diesem Grunde ist das neuere Verfahren sowohl zum kleinen tragbaren Apparat niedriger Bildfrequenz, als auch zum im Laboratorium fest aufgestellten extrem hoher Bildfrequenz mit Erfolg verwendbar. Der Nachteil, dass der Belichtungsmengenverlust durch zweimalige Reflexionen hierbei verursacht ist, kann vom oben erwähnten Vorteil und von der Reformierung der Beleuchtungsanordnung übertroffen werden.

In Kapitel 6 ist Funkenkinematographie mit einem umlaufenden Haupt-Spiegel und mehreren umlaufenden Hilfsspiegeln theoretisch untersucht, so dass die gewaltigen Bildfehler, die bei bestehenden Apparaten mit einem einzigen umlaufenden Spiegel die Bildfrequenz bis ca. $50\,000\text{ s}^{-1}$ einschränken, einwandfrei beseitigt sind, und die Belichtungszeit der empfindlichen Schicht mehrfach verlängert werden kann. Vergleiche die in Ziff. 45 aufgestellten Beispiele mit den in Ziff. 43 angegebenen. Durch diese Reformierung darf eine Bildfrequenz sehr weit über $50\,000\text{ s}^{-1}$ wesentlich realisiert werden, solange der Mechanismus standhält.

Die bisher stark vernachlässigte optische Theorie der Zeitdehner wurde hier so weit entwickelt, dass die Leistungsfähigkeit der Apparate auf den Maximalwert gebracht werden kann.

Literaturverzeichnis.

1. C. Cranz u. H. Schardin, Kinematographie auf ruhendem Film und mit extrem hoher Bildfrequenz. Z. f. Phy. B. 56, 1929, S. 147.
2. C. Cranz u. H. Schardin, Fortschritte auf dem Gebiete der Hochfrequenz-Kinematographie. Z. VDI Bd. 79, 1935, S. 1075.
3. W. Ende, Kleinzeitforschung in der Technik. Z. VDI Bd. 77, 1933, S. 10.
4. B. Glatzel, Elektrische Methoden der Momentphotographie. Sammlung Vieweg Nr. 21, Braunschweig 1915.
5. F. Hehlgans, Grundlagen und Gestaltung des AEG-Zeitdehners. Feinmechanik u. Präzision 42, 1934, S. 40.
6. H. Loachim, Die neue Zeitlupe für hochfrequente Filmaufnahmen. Feinmechanik u. Präzision 42, 1934, S. 33.
7. M. Kornetzki, V. Formin u. R. Steinitz, Messung der Funkenhelligkeit und Funkendauer. Z. f. techn. Physik Bd. 14, 1933, S. 274.
8. W. Lindner, Mehrfachfunkenaufnahmen von Explosionsvorgängen nach der Toepplerschen Schlierenmethode. VDI Forschungsheft Nr. 326, Berlin 1930.
9. H. Schardin, Die Grenzen der Hochfrequenzkinematographie. Die Kinotechnik 14, 1932, S. 41.
10. H. Schardin u. W. Struth, Hochfrequenzkinematographische Untersuchung der Bruchvorgänge im Glas. Der Vortrag bei der 21. Glastechnischen Tagung, Berlin 1938.
11. F. Schwerd, Neue Untersuchungen zur Schnitttheorie und Bearbeitbarkeit. Stahl u. Eisen 51, 1931, H. 16, S. 481.
12. F. Schwerd, Forschung und Forschungsergebnisse zur Schnitttheorie. Z. VDI Bd. 76, 1932, S. 1257.
13. F. Schwerd, Über die Bestimmung des Temperaturfeldes beim Spanablauf. Z. VDI 77, 1933, S. 211.
14. F. Schwerd, Filmaufnahmen des ablaufenden Spans bei üblichen und bei sehr hohen Geschwindigkeiten. Z. VDI 80, 1936, S. 233.
15. R. Thun, Der Film in der Technik. VDI-Verlag, Berlin 1925.
16. R. Thun, Anwendung und Theorie der Zeitdehner. Z. VDI Bd. 70, 1926, S. 1353.
17. R. Thun, Entwicklung der Kinotechnik. VDI-Verlag, Berlin 1936.
18. R. Thun, Fortschritte der Hochfrequenzkinematographie. Kinotechnik 19, 1937, S. 164.
19. T. Sahara, N. Sato u. S. Kamei, A New Ultra-Speed Kinematographic Camera Taking 40,000 Photographs per Second. Report of the Aeronautical Research Institute, Tokyo Imperial University, Japan, Vol. V, 1930, p. 187.
20. VDI Jahrbuch 1938, VDI-Verlag, Berlin 1938, S. 209.
21. R. Zimmermann, Die Erzeugung von Beleuchtungslinien für Hochfrequenzkinematographie mit Röhrengeneratoren. Dissertation in der Technischen Hochschule Berlin, 1934.
22. A. Hay u. M. v. Rohr, Handbuch der wissenschaftlichen und angewandten Photographie Bd. I: Das photographische Objektiv. Verlag v. J. Springer, Wien 1932.
23. W. Wien u. F. Harms, Handbuch der Experimentalphysik Bd. XX, 2. Teil: Geometrische Optik. AVG, Leipzig 1929.
24. H. Geiger u. K. Scheel, Handbuch der Physik Bd. XVIII: Geometrische Optik, Optische Konstante u. Optische Instrumente. Verlag v. J. Springer, Berlin 1927.
25. M. Lagally, Vorlesungen über Vektorrechnung. AVG, Leipzig 1934.
26. Reklamme AEGs, Der Zeitdehner der Technik für 50 000 bis 16 Aufnahmen in der Sekunde, 1939.
27. Reklamme Zeiss-Ikons, High Frequency Camera, 1939.
28. Reklamme Zeiss-Ikons, Sub-standard High Frequency Camera, 1939.
29. 栖原豊太郎, 高速度活動寫眞に就て. 土木學會誌 第 20 卷, 1934, 第 6 號.
30. 眞島正市, 瞬間寫眞. 應用物理 第 5 卷, 1935, 第 7 號 及 第 8 號.

31. 眞島正市, 高速度活動寫眞. 應用物理, 第 5 卷, 1935, 第 10 號.
32. 山家信次及清水達英, 改良超高速度活動寫眞攝影裝置, 1937.
33. 眞島正市, 福原達三考案ノ高速度活動寫眞攝影機ニ就テ. 日本學術振興會, 委員總會 研究報告講演集 (2), 1937.
34. 佐野健次, 高速度現象ノ解析. 應用物理 第 9 卷, 1940, 第 1 號, 頁 1.
35. 新超高速度カメラの出現. 科學畫報 第 29 卷, 1940, 第 2 號, 頁 79.
37. 眞島正市, 應用物理實驗. 應用物理實驗學 第 3 卷, 1940, 頁 457.
37. 黒田正夫, 寫眞技術. 應用物理實驗學 第 3 卷, 1940, 頁 196.