

Optisches Praktikum, Aufgabe 8:

Kleinbildfotografie

1. Ziel der Aufgabe

Kennenlernen des Aufbaus und der Funktion einer Spiegelreflex-Kleinbildkamera (SLR (**s**ingle **l**ens **r**eflex)). Dabei soll im besonderen auf folgende Aspekte und ihre Verbindung untereinander eingegangen werden:

- Größe des Bildes,
- Lage des Bildes,
- Schwärzung des Bildes,
- Qualität des Bildes.

2. Grundlagen

2.1 Größe des abbildbaren Bereiches

Die Größe des abbildbaren Objektes ergibt sich aus dem Filmformat, $24 \times 36 \text{ mm}^2$, beim Kleinbildformat (Bild diagonale $43,2 \text{ mm}$), der Objektentfernung x und der Brennweite des verwendeten Objektivs f .

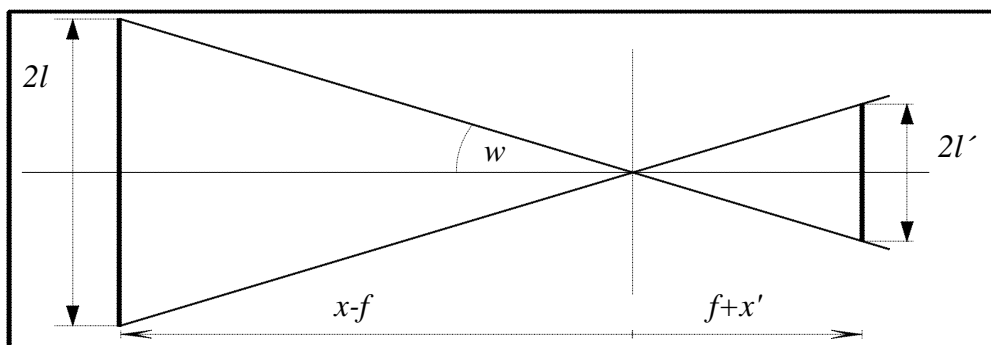


Bild 1: Beziehung zwischen Objektgröße l und Bildgröße l'

Als Normalobjektiv dient bei der Kleinbildfotographie üblicherweise ein Objektiv der Brennweite $f = 50\text{mm}$.

Bereits aus der Definition der Brennweite f ,

$$f = - \lim_{w \rightarrow 0} \frac{l'}{\tan w} \approx - \frac{l'}{w}$$

erkennt man, daß die Bildgröße l' proportional zum Feldwinkel w ist. Man kann also bei konstanter Objektentfernung mit Objektiven kurzer Brennweite größere Objekte bildformatfüllend abbilden (zum Beispiel Weitwinkelobjektive ($f = 28\text{ mm}$)). Mit Objektiven großer Brennweite (Teleobjektive ($f > 80\text{ mm}$)) können weiter entfernte Objekte bildformatfüllend abgebildet werden.

2.2 Schärfe einer Abbildung

Die Schärfe einer Abbildung kann in erster Näherung mit Hilfe des Unschärfekreises erklärt werden:

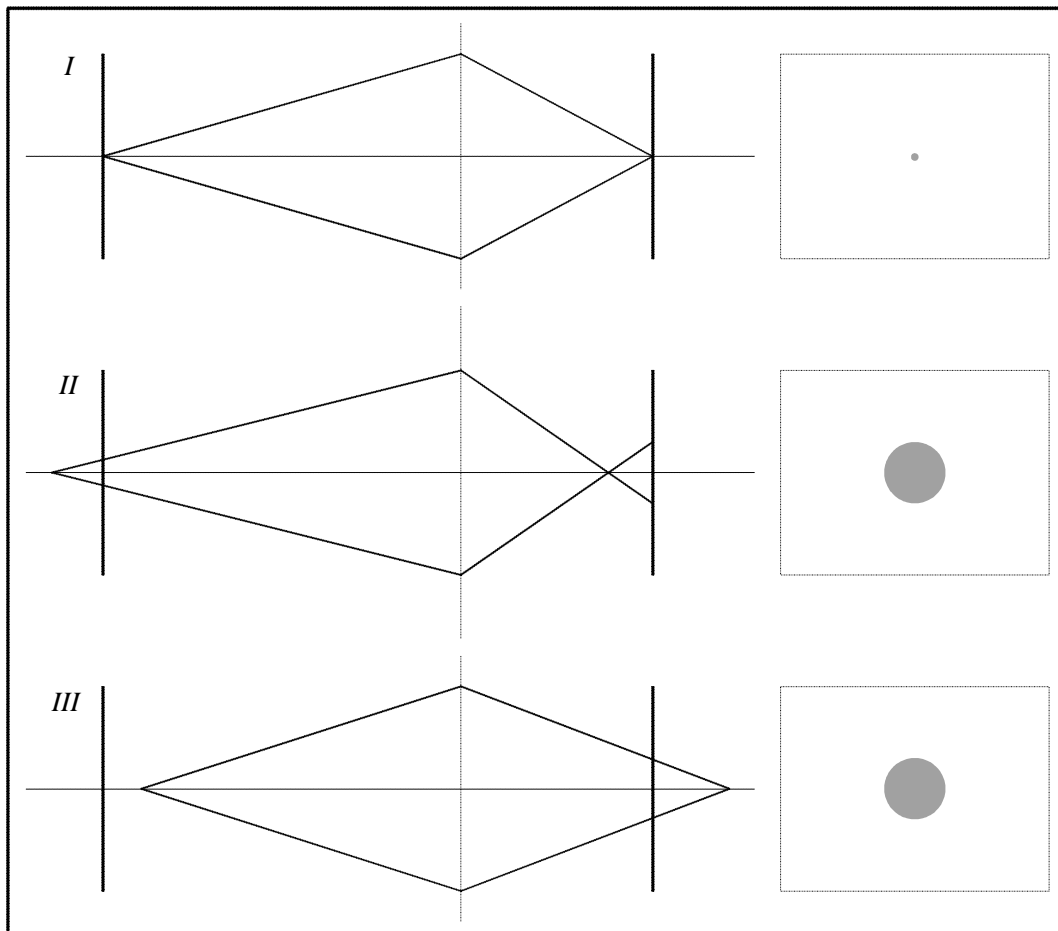


Bild 2: Zur Erklärung des Unschärfekreises

Bei einer „scharfen“ Abbildung wird jedem Objektpunkt ein Bildpunkt zugeordnet (I). Liegt das Objekt außerhalb des am Entfernungsring eingestellten Abstandes, so entsteht anstatt des Bildpunktes ein Unschärfekreis in der festgehaltenen Bildebene (II), (III).

Bleibt der Durchmesser dieses Kreises unterhalb einer vorgegebenen Größe, so wird die Abbildung noch als scharf bezeichnet, andernfalls wird sie als unscharf bezeichnet. Die Größe des zulässigen Unschärfekreises ist vom Filmformat und den Qualitätsanforderungen abhängig; sie wird beim Kleinbildformat zumeist zu

$$\frac{2l'}{1500} \cong 0,03\text{mm}$$

angenommen.

Aus dieser Größe resultiert im Objektraum ein Tiefenbereich, innerhalb dessen alle Objekte „scharf“ abgebildet werden. Man erfaßt diesen Bereich durch die sogenannte Schärfentiefe. Diese Schärfentiefe ist abhängig von der gewählten Blende, von der eingestellten Entfernung und der Brennweite des Objektivs.

2.3 Blende und Schärfe

Bei SLR-Kameras liegt die Aperturblende (oder kurz: Blende) im Objektiv. Sie ist in der Regel als Irisblende ausgeführt. Ihre Größe kann am Blendenring des Objektivs eingestellt werden. Dadurch wird der bildseitige Aperturwinkel variiert.

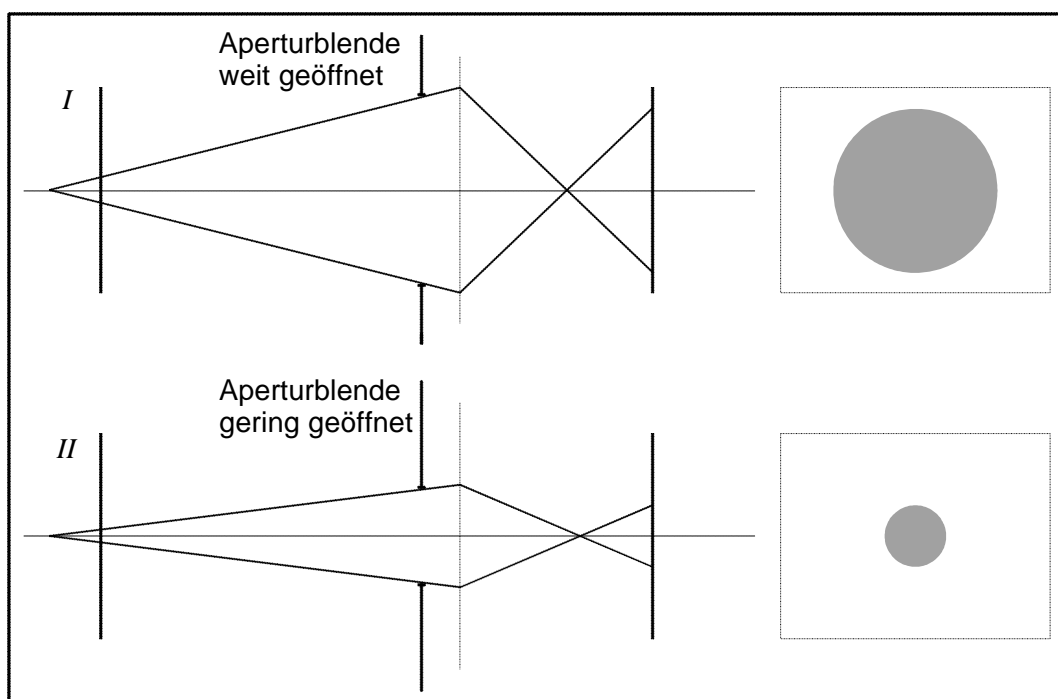


Bild 3: Der Einfluß der Aperturblende auf die Größe des Unschärfekreises.

Man erkennt, daß das Zuziehen der Blende den Unschärfekreis verkleinert, das heißt die Abbildung schärfer werden läßt.

Der Durchmesser der Blende wird durch die Blendenzahl k bestimmt. Die Blendenzahl ist das Verhältnis von Objektivbrennweite f zum Durchmesser D_{EP} der Eintrittspupille:

$$k = \frac{f}{D_{EP}}$$

In den Blendenring sind Blendenzahlen graviert. In der Praxis stellt man am Fotoapparat eine Entfernung ein und kann dann an einer Schärfentiefskala zu einer beliebigen Blende den Schärfetiefenbereich ablesen.

Weiterhin beeinflusst die Blendengröße die Abbildungsfehler des Objektiv-Linsensystems. Auch die Abbildungsfehler beeinflussen den Unschärfekreis.

Zuziehen der Blende bewirkt, daß nur noch achsennahe Strahlen das Objektiv passieren können. Abbildungsfehler, die mit der Apertur anwachsen, werden so weniger wirksam und der Unschärfekreis wird kleiner. Andererseits nehmen wellenoptisch bedingte Beugungseffekte mit abnehmender Blendenöffnung zu. Dies hat ein Beugungsscheibchen zur Folge.

Als kritische Blende bezeichnet man die Blendenöffnung, bei der die Einflüsse von Beugungs- und Unschärfekreis insgesamt minimal sind.

2.4 Schwärzung einer Aufnahme

Ein Teil des vom Objekt ausgehenden Lichtstroms F wird auf ein Flächenelement dA' des Films gelenkt, so daß dort die Beleuchtungsstärke E :

$$E = \frac{dF}{dA'}$$

resultiert.

Sie ist im allgemeinen an jedem Bildpunkt unterschiedlich. Sie ruft auf dem Film nach der Entwicklung eine Schwärzung S hervor, die proportional zum Logarithmus der Belichtung ($E t$) ist:

$$S \propto \lg(E t)$$

Um die Schwärzung des Films zu beeinflussen, können E oder t oder beide Größen variiert werden.

2.5 Blende und Schwärzung

Neben der Schärfe des Bildes hat die Blendengröße auch Einfluß auf den Lichtstrom, der auf den Film trifft und damit auf die Beleuchtungsstärke.

Da die Blende als gleichmäßig ausgeleuchtet angenommen werden darf, ist die Beleuchtungsstärke in der Filmebene proportional zur Fläche der Blende und damit zum Quadrat des Blendendurchmessers. Deshalb ist die Reihe der Blendenzahlen nicht linear.

2.6 Belichtungszeit und Schwärzung

Auch die Reihe der am Objektiv gravierten Belichtungszeiten ist nicht linear. Verstellt man die Belichtungszeit um eine Stufe, so wird in der Filmebene eine Verdopplung beziehungsweise Halbierung der Belichtung $E t$ erzielt.

Die eingestellte Belichtungszeit wird mit einem Verschuß realisiert. Der Verschuß öffnet und schließt den Strahlengang zwischen Objektiv und Filmebene.

Man unterscheidet zwei wichtige Verschußtypen:

- Zentralverschuß (innerhalb des Objektivs, Sucherkameras)
- Schlitzverschuß (unmittelbar vor dem Filmfenster, SLR-Kameras)

Der Zentralverschuß ist innerhalb des Objektivs angeordnet und besteht aus Lamellen, die die Öffnung von innen nach außen freigeben. Der Schlitzverschuß liegt direkt vor der Filmebene. Ein Schlitz bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit über das Bildfenster, wobei die Belichtungszeit durch unterschiedliche Schlitzbreiten realisiert wird.

2.7 Belichtungsmessung

In den meisten Kameras ist ein Belichtungsmesser eingebaut, um zu einer vorgegebenen Blende beziehungsweise Belichtungszeit den zugehörigen Wert der jeweils anderen Größe zu ermitteln. Es gibt zwei wichtige Arten von Belichtungsmessern:

- Integral-Belichtungsmesser
- Punkt-Belichtungsmesser

Bei der Integralmessung wird der gesamte auf die Bildfläche einfallende Lichtstrom gemessen. Dazu wird entweder ein Fotoempfänger in der Größe des Bildformats in die Bildebene gebracht oder ein Empfänger in die Aperturblende. Der Vorteil der Punkt-Belichtungsmessung ist die Möglichkeit, die Größe des Fotoelementes zu

minimieren. Wird in der Aperturblende gemessen, ist nur ein Meßpunkt notwendig, da sie gleichmäßig ausgeleuchtet sein sollte. In der Filmebene können einzelne Bildpunkte ausgemessen werden. Auf diese Weise ist es möglich, eine Fehlbelichtung durch extrem starke Kontraste zwischen Hintergrund und wichtigen Details zu vermeiden. Zur Aufnahme eines ausgewogenen Bildes wird der Mittelwert zwischen einzelnen kontrastreichen Punkten ermittelt. Um die Abbildung nicht durch das Fotoelement zu stören, ordnet man es seitlich an und spiegelt einen Teil der Strahlen aus.

2.8 Bewertung einer Abbildung

Zur Bewertung der Abbildungsqualität verwendet man die Optische Übertragungsfunktion. Diese Übertragungsfunktion hängt von vielen Parametern ab, zum Beispiel der Blendenzahl, der Fokussierung, den Abbildungsfehlern, der Wellenlänge etc. Den Betrag der optischen Übertragungsfunktion nennt man Modulationsübertragung $T(R)$. Zur Bestimmung der $T(R)$ für eine Ortsfrequenz R bildet man als Objekt zum Beispiel ein Gitter dieser Ortsfrequenz R ab. Die Ortsfrequenz ist die Anzahl der Perioden pro Einheit (hier mm). Die Modulationsübertragung $T(R)$ ist gegeben als Quotient der Modulation von Bild zu Objekt.

Bei den auszuwertenden Aufnahmen wird angenommen, daß die Modulation des Objekts gleich eins sei (perfektes Objekt).

$$M = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \quad \text{Modulation}$$

$$T(R) = \frac{M'(R)}{M(R)} \quad \text{Modulationsübertragung}$$

Dabei steht I im Objekt für die Leuchtdichte bzw. im Bild für die erzielte Bestrahlungsstärke.

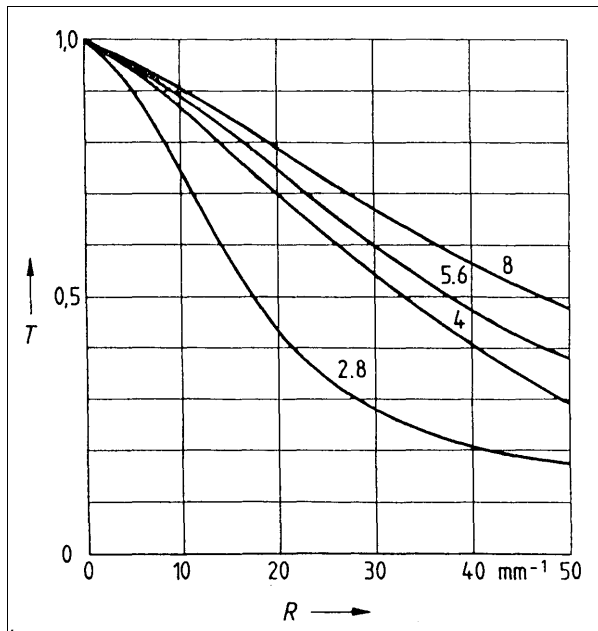


Bild 5: MTF-Werte für verschiedene Blendenzahlen

2.9 Die Spiegelreflexkamera

Um bei Fotoapparaten zu erkennen, welcher Objektausschnitt erfasst wird und um das Objektiv auf die Objektentfernung zu fokussieren, benötigt man einen Sucher. Im Gegensatz zu Sucherkameras bietet die SLR-Kamera die Möglichkeit, direkt durch das Objektiv hindurch den Objektausschnitt zu sehen, der später auch auf den Film abgebildet wird.

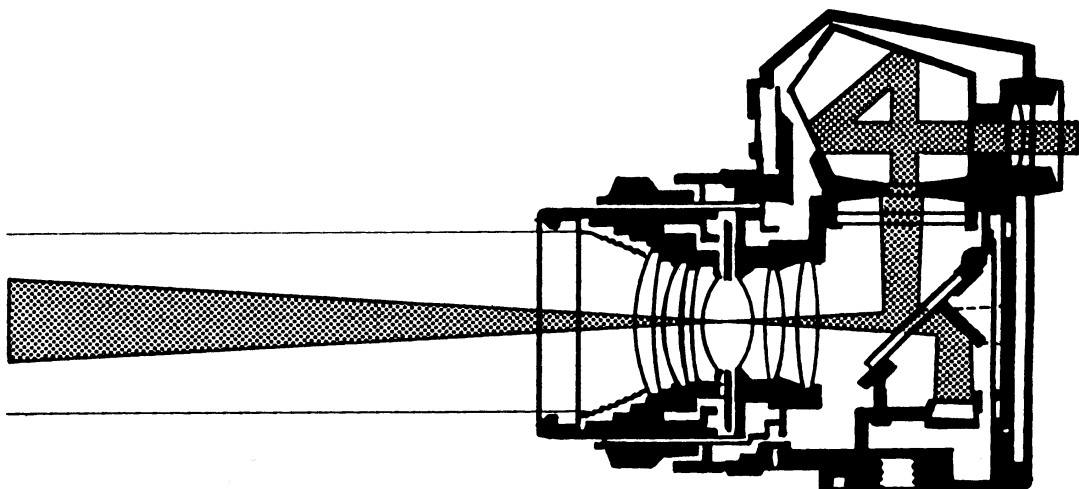


Bild 6: Schnitt durch eine einäugige Spiegelreflexkamera

Dazu ist zwischen Objektiv und Filmebene ein Spiegel schwenkbar eingebaut, der durch das Betätigen des Auslösers aus dem Strahlengang geschwenkt wird. Im Grundzustand jedoch wird das Bild auf eine feine Mattscheibe umgelenkt, die mit Hilfe eines Okulars beobachtet wird.

Dieses Verfahren hat einige Vorteile:

- Der Bildausschnitt kann abbildungsgetreu gewählt werden.
- Mit Hilfe eingebauter Einstellhilfen wie Mikroprismen oder Schnittbildentfernungsmesser kann die Schärfe des Bildes durch Fokussierung mit dem Objektiv exakt eingestellt werden.
- Man kann die Wirkung der vor das Objektiv geschraubten Filter sofort erkennen (zum Beispiel Polarisationsfilter).

3. Aufgaben

3.1 Kennenlernen des Aufbaus und der Funktionsweise einer Kleinbildkamera mit Hilfe der Bedienungsanleitung:

Man soll ohne Film den Zusammenhang von Blendenzahl und Belichtungszeit prüfen, indem man bei konstanter Leuchtdichte im Objekt die Blendenzahl schrittweise um insgesamt fünf Stufen verstellt und mit Hilfe des eingebauten Belichtungsmessers die jeweils passende Belichtungszeit dazu ermittelt und sie notiert.

Einlegen eines Films und Einstellen der entsprechenden Filmempfindlichkeit.

ACHTUNG: Auf den Rückspulknopf achten! - Wird der Film transportiert?

3.2 Belichtungsmessung:

Portraitaufnahme vor sehr hellem Hintergrund; das Gesicht erhält Raumbelichtung.

- a) Belichtung nach Ausschlag des Belichtungsmessers der Kamera.
- b) Belichtung des Gesichts mit einem separaten Belichtungsmesser ermitteln und danach aufnehmen.

3.3 Landschaftsaufnahmen:

Belichtungszeit nicht länger als $1/30$ Sekunde. Blende einstellen

- a) nach Belichtungsmesser-Angabe
- b) zwei Blendenstufen darüber
- c) zwei Blendenstufen darunter.

3.4 Testaufnahmen: Blende und Schärfe:

Aufstellen und Justieren der Kamera vor der Testwand entsprechend den Hinweisen für die Testtafel-aufnahmen. Dabei soll der Abstand der Kamera von der Wand $1,30$ m betragen, damit sich für Objektive mit 50 mm Brennweite ein

Abbildungsmaßstab ergibt, bei dem die an die Gitter geschriebenen Zahlen die zugehörigen Linienpaare pro mm im Gitterbild angeben.

- a) Entfernungsring so lange drehen, bis die Testtafel im Sucher scharf erscheint.
Aufnahmen mit den Blendenstufen 2; 5,6; 16
- b) Defokussierte Aufnahmen bei einer Entfernungseinstellung auf 2,50 m mit den Blendenstufen 2; 5,6; 16.

3.5 Schärfentiefe:

Aufnahme des Schärfentiefetestes mit Blendenstufen 2 und 16.

3.6 Entwickeln des Filmes

Die Entwicklung erfolgt gemäß den allgemeinen Erläuterungen zu den fotografischen Aufgaben. Der Film soll zur weiteren Auswertung in Aufgabe 9 bei der verwendeten Kamera aufgehoben werden.

4. Fragen

4.1 Um welche Art Kameraverschluß handelt es sich?

4.2 Was für ein Typ von Belichtungsmesser ist eingebaut?

4.3 Weshalb ist die Blendenreihe nicht linear?

5. Auswertung

Den Einfluß der Blendenzahl, des Bildwinkels und der Defokussierung kann man visuell bei Vergrößerung des Films dadurch abschätzen, daß man die jeweilige Ortsfrequenz aufsucht, für die die Modulation verschwindet. Bei der eingestellten Objektentfernung (siehe 3.4) sind die Ortsfrequenzen gestuft in 2,5 bis 25 pro Millimeter.

Die so gefundene Ortsfrequenz gibt das Auflösungsvermögen der Kombination Fotoobjektiv-Film an.

Literatur

1. G. Franke: **Photographische Optik**
Akademische Verlagsgesellschaft, Frankfurt / M. 1964
2. K. Mütze et al. (Hrsg.): **ABC der Optik**
Verlag W. Dausien, Hanau / Main 1972
3. J. Stüper: **Die Photographische Kamera**
Springer Verlag, Wien 1962
4. G. Teicher (Hrsg.): **Handbuch der Fototechnik, 9. Aufl.**
VEB Fotokino Verlag, Leipzig 1986
5. Allgemeine Erläuterungen zu den fotografischen Aufgaben
Optisches Institut TU Berlin 1972