

Abbildungsschärfe I:

Optik, geometrische Schärfe und Schärfentiefe

Der Fokus – Echte geometrische Schärfe gibt's nur in einer Ebene

Um ein visuell scharfes Bild aufzunehmen, müssen wir zuerst einmal für **geometrische Schärfe** sorgen. Anders ausgedrückt müssen wir sicherstellen, daß ein Punkt auch als Punkt abgebildet wird. Um zu verstehen, warum das nicht von allein der Fall ist, tauchen wir für einen Moment in die optischen Grundlagen der Bildentstehung ein. Abb. 23 zeigt ein grundlegendes Abbildungssystem: Ein Objekt, das aufgenommen werden soll, ein Objektiv reduziert auf eine einzige Linse und den Film, der in einer eigenen Ebene liegt.

Das Aufnahmeobjekt reflektiert

Licht in alle Richtungen, aber für unsere Betrachtung der Bildentstehung ist nur jener Anteil relevant, der auf die Objektivlinse fällt. Ihn repräsentieren die Linien, welche vom Objektpunkt zu den äußeren Kanten der Linse verlaufen. Sie stellen gleichzeitig die äußere Begrenzung des Strahlenkegels dar, der von jedem einzelnen kleinen Teil des Motivpunkts ausgeht. Jeder dieser Kegele hat seinen Scheitelpunkt am Objekt und seine Basis in der Linsenmitte. Von dort aus wird er auf den Film fokussiert, wodurch sich ein zweiter Strahlenkegel ergibt, der seine Basis ebenfalls in der Linsenmitte hat. Sein Scheitelpunkt liegt dort, wo das scharfe Abbild entsteht. Daraus läßt sich ein mathematischer Zusammenhang zwischen A) der Entfernung vom Linsenmittelpunkt zum scharfen Ab-

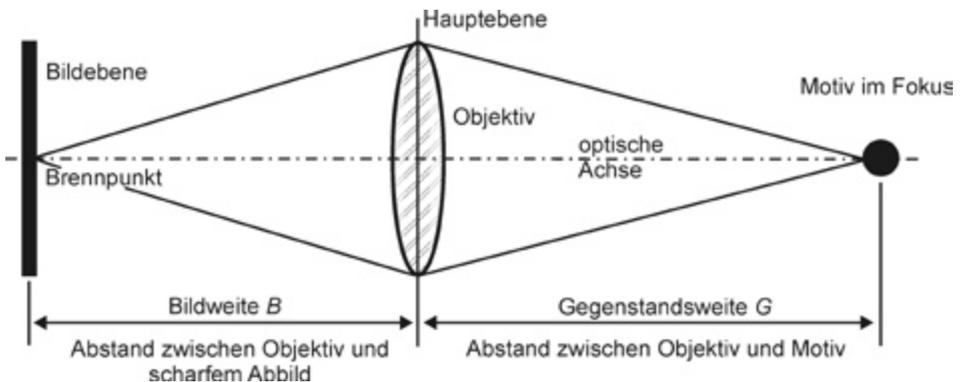


Abb. 23: Ein auf die wesentlichen Elemente vereinfachtes Abbildungssystem

bild (Bildweite B), B) der Entfernung vom Linsenmittelpunkt zum Aufnahmeobjekt (Gegenstandsweite G) und C) der Brennweite f der Linse herstellen. Er lautet: **Der Kehrwert der Bildweite plus dem Kehrwert der Gegenstandsweite ist gleich dem Kehrwert der Brennweite** oder mathematisch ausgedrückt

Formel 5 (Linsenformel)

$$\frac{1}{B} + \frac{1}{G} = \frac{1}{f}$$

Die Brennweite ist definiert als jene Bildweite, bei der ein im Unendlichen gelegenes, also sehr weit entferntes Objekt, z.B. ein Berg am Horizont, ein Gebäude auf der anderen Seite der Stadt oder der Mond am Himmel, scharf abgebildet wird. In exakt dieser Bildweite liegt die Filmebene. Daraus folgt, daß das scharfe Abbild eines Objekts das näher liegt als unendlich, hinter der Filmebene zu liegen kommt. Dies illustriert Abb. 24. Sie zeigt in a) die Konstellation, in der ein im Unendlichen gelegenes Objekt in der Filmebene abgebildet wird, b) zeigt die Konstellation, in der das scharfe Abbild eines näher als unendlich gelegenen Objekts bei derselben Fokuseinstellung hinter der Filmebene zu liegen kommt. Wenn wir ein scharfes Bild dieses näher als un-

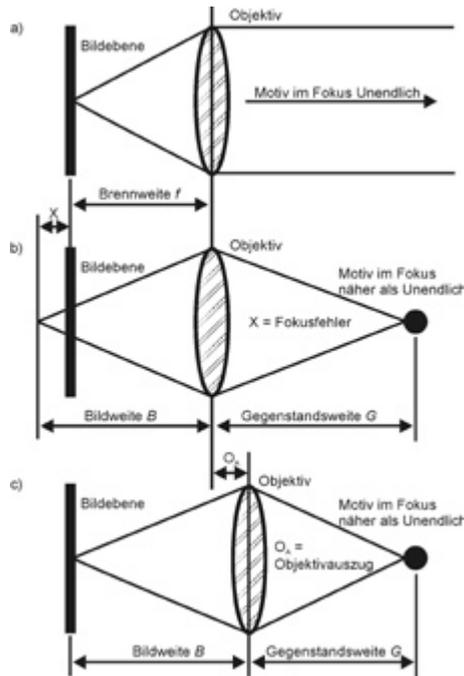


Abb. 24: Fokus unendlich und näher
 a) zeigt die scharfe Abb. eines im Unendlichen gelegenen Objekts, b) zeigt die Abb. eines näher gelegenen Objekts bei Einstellung auf Unendlich, c) zeigt die Verschiebung der Linse um den Faktor E .

endlich gelegenen Objekts aufnehmen wollen, müssen wir das Objektiv also so weit von der Filmebene entfernen, dass das scharfe Abbild genau auf ihr zu liegen kommt. Diesen Vorgang, den Abgleich von Brennpunkt und Aufnahmeebene, nennen wir **Fokussieren** und

Abbildungsschärfe I:

Optik, geometrische Schärfe und Schärfentiefe

Ihnen ist bestimmt auch schon aufgefallen, dass sich die Länge der meisten Objektive vergrößert je kürzer Sie die Entfernung einstellen. Abb. 24 c) zeigt, wie das Abbild dieses nähergelegenen Objekts durch Entfernung der Linse von der Filmebene mit dieser in Übereinstimmung gebracht wird.

Als Fokus wird in der geometrischen Optik der Brennpunkt einer optischen Linse oder eines Hohlspiegels bezeichnet. Dies ist jener Ort, in dem die parallel zur optischen Achse einfallenden Lichtstrahlen konvergieren.

Für unsere schärfeorientierte Betrachtung bedeutet dies, dass ein Objektiv immer nur die Fokusebene wirklich scharf abbilden kann und alle Objekte, die vor und hinter dieser Ebene liegen, mehr oder weniger unscharf werden. Anders ausgedrückt, nur der Punkt, auf den fokussiert wird, wird auch als Punkt abgebildet. Punkte, die vor oder hinter ihm liegen, werden als mehr oder weniger große Scheiben abgebildet, weil ihr scharfes Abbild vor bzw. hinter der Filmebene liegt. Die Differenz zwischen Filmebene und scharfer Abbildung wird als **Fokusfehler (X)** und die Scheibe als **Zerstreuungskreis (Z)** bezeichnet. Er ist das traditionelle Maß für die Schärfe. Einschränkend

muss an dieser Stelle hinzugefügt werden, dass sich „scharf“ immer auf die von der Beugung gesetzten Grenzen bezieht. Im Abschnitt „Die Beugung als physikalische Einschränkung“ haben wir ja erfahren, warum das so ist.

Zur Vereinfachung der Materie erkläre ich die in Rede stehenden Linsensysteme der Objektive zu einer einzelnen „dünnen Linse“. Dies hat den Vorteil, daß wir die Abstände vor und hinter dem Objektiv von nur einer Hauptebene aus messen können. Tatsächliche Objektive bestehen aus mehreren Einzelementen, die zusammengefasst als „dicke Linse“ bezeichnet werden. Sie besitzen normalerweise zwei Hauptebenen, an denen die parallel zur optischen Achse einfallenden Strahlen gebrochen werden.

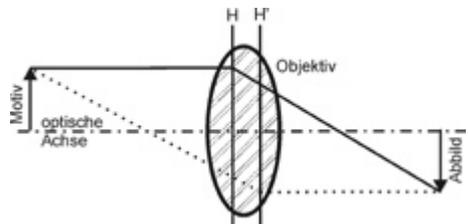


Abb. 25: Hauptebenen

H = Objektseitige Hauptebene der Optik

H' = Bildseitige Hauptebene der Optik

Durchgehend eingezeichnet ist der bildseitige Brennstrahl, gepunktet eingezeichnet ist der objektseitige Brennstrahl.

Wenn man es also ganz genau nimmt, müssen die Entfernungen vor dem Objektiv (z.B. die Gegenstandsweite) und die hinter dem Objektiv (z.B. die Bildweite) von der vorderen bzw. hinteren Hauptebene aus bestimmt werden. Da A) die diesbezüglichen Maße für reale Objektive schwer bis gar nicht zu beschaffen sind und B) die Strecken so klein sind, daß sie in der normalen bildmäßigen Photographie kaum zu Buche schlagen, dürfen sie praktisch aber ruhigen Gewissens unberücksichtigt bleiben.

Zerstreuungskreis und Schärfentiefe – Wahrgenommene Schärfe erstreckt sich über mehr als eine Ebene

Ein Photo entspricht also streng genommen nur in einer einzigen Ebene dem geometrischen Schärfekriterium nach dem ein Punkt als Punkt abgebildet werden muss. Trotzdem erscheinen uns die meisten Bilder in einem

größeren Bereich als dieser eigentlichen Fokusebene als scharf. Manchmal haben wir sogar den Eindruck die Aufnahme sei „von vorn bis hinten“ durchgängig scharf. Diese Wahrnehmung hat mit der Auflösungstoleranz unseres visuellen Systems zu tun, die dafür sorgt, daß uns ein Zerstreuungskreis bis zu einem gewissen Durchmesser immer noch als Punkt erscheint. Aus diesem Grund erstreckt sich der Bereich der wahrgenommenen Schärfe über eine Zone, die zu einem Teil vor und zu einem anderen hinter dem Fokuspunkt liegt. Sie nennen wir **Schärfentiefe (S)** und sie ist ein mächtiges Mittel in der Gestaltung des Bildes. Ihre Größe hängt direkt vom zugrunde gelegten Zerstreuungskreisdurchmesser ab. Setzen wir ihn großzügig an wächst die Schärfentiefe, gehen wir von einem geringen Wert aus schwindet sie auf ein kleineres Maß. Aber natürlich ist dies kein Wert, den wir willkürlich festlegen können. Die maximal zulässige Größe des Zerstreuungskreises im fertigen Print hängt vom Auflösungsvermögen des visuellen Systems und dem Betrachtungsabstand ab. Im Abschnitt zum Gesamtaufklärungsvermögen des visuellen Systems haben wir das Auflösungsvermögen eines Menschen mit durchschnittlicher Sehschärfe 20/20 mit 1 Bogenminute ermittelt. Basierend darauf ergibt sich, daß zwei

Abbildungsschärfe I:

Optik, geometrische Schärfe und Schärfentiefe

Punkte bei einem Betrachtungsabstand von 20 cm mindestens 0,0582 mm voneinander entfernt sein müssen, um als getrennt erkannt zu werden. Bei einem Betrachtungsabstand von 25 cm steigt dieser Wert auf 0,0727 mm, bei 50 cm beträgt er auf 0,145 mm. Erst, wenn der Zerstreuungskreis größer wird als dies auf Basis des visuellen Auflösungsvermögens errechnete Maß, ist der Punkt kein Punkt mehr, sondern als Scheibe erkennbar.

Dies waren die Werte, die für den Zerstreuungskreisdurchmesser im fertigen Print gelten. Um die Schärfentiefe berechnen zu können, brauchen wir aber einen Wert für die Filmebene, müssen also den Vergrößerungsfaktor mit berücksichtigen. Setzen wir ihn für das Kleinbildformat mit 8fach an, so ergibt sich für das Negativ ein physiologisch basierter maximal zulässiger Zerstreuungskreisdurchmesser von 0,0073 mm bei 20 cm Betrachtungsabstand:

$$0,0582 \text{ mm} / 8 = 0,0073 \text{ mm}$$

Allerdings arbeitet die Photoindustrie mit einem davon abweichenden Wert, der auf dem Auflösungsvermögen eines Films aus den 1930er Jahren basiert und in der Gegend von 0,256 mm für den fertigen Print liegt. Bei vorausgesetzter 8facher Vergrößerung errechnet sich darauf ein maximal zu-

lässiger Zerstreuungskreisdurchmesser für das Negativ von

$$0,256 \text{ mm} / 8 = 0,032 \text{ mm}$$

In diesem gut viermal größeren Bereich bewegen sich die Werte, auf denen die Schärfentiefeskalen der Kleinbildobjektive beruhen, die von ebenfalls 8facher Vergrößerung ausgehen. Für Optiken größerer Formate sind sie entsprechend dem geringer anzusetzenden Vergrößerungsfaktor auf das Endformat 20x25 cm abgewandelt. Tabelle 1 auf der folgenden Seite stellt dies zusammen.

Darüber hinaus gibt es mit der **Planlage des Film** noch einen von der Geometrie unabhängigen Faktor, der den Zerstreuungskreisdurchmesser beeinflusst. Leider ist er auch mit den meisten Unwägbarkeiten behaftet und am wenigsten vorhersagbar. Den Test, den Zeiss in (5) publiziert hat, kann man folgende Hinweise entnehmen:

- Kein Film liegt wirklich perfekt flach und eben
- Planfilm verhält sich in dieser Hinsicht günstiger für die Bildschärfe als Kleinbildmaterial
- Der Film wölbt sich in 60% der geprüften Kleinbildkameras um durch-

Tabelle 1 Konservative Zerstreuungskreisdurchmesser und Aufnahmeformate			
Format	Normalbrennweite	Vergrößerungsfaktor auf 20x25 cm	Zerstreuungskreis-Durchmesser
Kleinbild 24 x 36 mm	50 mm	8x	0,032 mm
6 x 6 cm	80 mm	5x	0,055 mm
6 x 7 cm	100 mm	4x	0,064 mm
4 x 5“ (10 x 13 cm)	200 mm	2x	0,128 mm
8 x 10“ (20 x 25 cm)	400 mm	1x	0,25 mm

schnittlich 0,2 mm

- Die Planlage verändert sich mit der Zeit nach dem Transportvorgang. Kleinbildfilm liegt nach gut 30 Minuten ebener, aber beim Mittelformat nimmt die Wölbung mit der Zeit zu. Sie ist nach bis zu 5 Minuten gering, nach 15 Minuten schon bedeutsam und erreicht ihren Maximalwert nach rund 2 Stunden.

- Rollfilm vom Typ 220 bietet eine um den Faktor 2 bessere Planlage als 120er

- Zeiss urteilt daher für den MF-Bereich wie folgt: *„Benutzen Sie Rollfilm 220 und belichten Sie ihn so schnell sie können.“*

Daraus können wir lernen, daß Filmrückteile, die die Planlage mittels Unterdruck verbessern, keine reinen Spielzeuge sind, sondern einen echten Nutzen für die Bildqualität besitzen. Den durch die Wölbung verursachten

Zerstreuungskreis können wir für die Fokuseinstellung nahe unendlich wie folgt berechnen:

Formel 6

$$Z_{\text{Wölbung}} = \text{Wölbung/Blendenzahl}$$

Für den Durchschnittswert von 0,2 mm und Blende 5,6 ergibt sich daraus ein Zerstreuungskreis von 0,036 mm. Das ist mehr als der reine konservative Zerstreuungskreisdurchmesser an der Grenze der Schärfentiefe! Aus diesem Grund sollte immer ein wenig mehr, im Bereich einer Stufe, als eigentlich nötig abgeblendet werden. Digitalkameras sind durch mangelnde Planlage des Aufnahmematerials natürlich nicht betroffen. Ihr Bildsensor ist schließlich steif und kann sich nicht wölben. Das ist ein großer Vorteil für die Gesamtschärfeleistung des Aufnahmesystems.

Abbildungsschärfe I:

Optik, geometrische Schärfe und Schärfentiefe

Nachdem wir nun den nach konservativer Betrachtung maximal zulässigen Zerstreuungskreisdurchmesser mit seinem auf durchschnittlichen physiologischen Daten beruhenden Pendant verglichen haben, könnte man annehmen, daß der erste Wert und die auf ihm basierenden Schärfentiefeskalen der Objektive grundsätzlich zu unscharfen Aufnahmen führen. – Schließlich ist er gut dreimal größer als der zweite Faktor. Aber keine Angst, aus der Praxis wissen wir bereits, daß dem nicht so ist. Der Unterschied zwischen *scharf* und *unscharf* ist mehr als fließend und

**Den scharfen Eindruck an sich gibt es nicht!
Das Konzept der Schärfentiefe erklärt,
warum uns manche Bereiche eines Photos
scharf erscheinen und andere nicht.**

den scharfen Eindruck an sich gibt es nicht. Der physiologische Wert stellt lediglich die Grenze dar, oberhalb der jemand mit durchschnittlichem Sehvermögen 20/20 zusätzliche geometrische Schärfe nicht mehr wahrnehmen kann. Der konservative Wert von 0,032 mm liegt dagegen wahrscheinlich recht nah an der Untergrenze dessen, was nötig ist, um überhaupt einen scharfen Eindruck zu erzielen. Zwischen beiden Werten liegt ein

„Schärfefenster“ praktisch nutzbarer Zerstreuungskreisdurchmesser, die bei durchschnittlichem Sehvermögen und ohne den direkten Vergleich mit einer Aufnahme, der ein geringerer Zerstreuungskreisdurchmesser zugrunde liegt, alle *einen* visuell scharfen Eindruck gewährleisten. Aber: Ein geringerer Zerstreuungskreisdurchmesser führt innerhalb dieses Fensters immer zu einem schärferen Eindruck!

In der Praxis ist der physiologisch basierte Wert von 0,0582 mm viel zu rigide. Denn wie wir in den folgenden Abschnitten sehen werden, führt er zu schon bei mittleren Blenden einsetzender Beugungsbegrenzung und einer vergleichsweise geringen Ausdehnung der Schärfentiefe bei optimaler Blende.

Aus diesen Gründen, und weil er zu einem durchaus guten Schärfeeindruck führt, ist es praxisnäher mit einem Wert von 0,2 mm für den fertigen Print zu rechnen. Bei 8facher Vergrößerung führt er zu einem maximal zulässigen Zerstreuungskreisdurchmesser $z = 0,025$ mm im Negativ. Ihn wollen wir im Folgenden als *progressiven Wert* nutzen.