

Fernbereichskorrigierte Foto-Objektive zeigen, je weiter man in den Nahbereich vordringt, eine abnehmende Leistungstendenz. Im sogenannten „Lupenfotobereich“, also bei vergrößernden Abbildungen, erreicht die Objektivleistung ihr geringstes Niveau überhaupt. Das gilt für alle normalen Foto-Objektive in mehr oder weniger starkem Ausmaß. Nur Spezialobjektive wie Makro-Objektive, Repto-Objektive, Vergrößerungs-Objektive, Objektive mit „Floating Focusing“, Lupenfoto-Objektive und ähnliche Systeme mit Nahkorrektur zeigen diesen Leistungsabfall nicht oder nur sehr wenig.

Bis zu Abbildungsmaßstäben um 1:1 (Abbildungen in natürlicher Größe) bleiben die Leistungsverluste meist in erträglichen Grenzen. Wird dagegen vergrößert abgebildet, muß im allgemeinen mit beachtlichem Leistungsschwund gerechnet werden. Die Ursachen dafür liegen in den umgedrehten Abstandsrelationen. Objektive mit Fernbereichskorrektur sind für den Fall ausgelegt, daß die Gegenstandsweite sehr groß und die Bildweite klein ist. Wie die Tabelle 1 zeigt, nehmen bei fortschreitender Naheinstellung die Werte für die Bildweite a' zu und die Werte für die Gegenstandsweite a gleichzeitig ab. Beim Abbildungsmaßstab 1:1 sind Bild- und Gegenstandsweite wertgleich. Im selben Maße wie die Bildweite zu- bzw. die Gegenstandsweite abnimmt, entfernt sich das Objektiv von seinem Korrektions-Optimum. An der 1:1-Schwelle jedoch kehren sich die Relationen um. Mit steigender Vergrößerung in der Abbildung nimmt die Bildweite immer größere und die Gegenstandsweite immer kleinere Werte an. Dreht man jetzt das Objektiv um (bringt man es in Retro-Stellung), nähert sich das Objektiv mit steigendem

Tabelle 1

Abbildungsmaßstäbe, Bild- und Gegenstandsweiten für 50 mm Brennweite

Abbildungsmaßstäbe β'	Bildweiten a'	Gegenstandsweiten a
1:20 (0,05)	52,5 mm	1050,0 mm
1:15 (0,07)	53,3 mm	800,0 mm
1:10 (0,10)	55,0 mm	550,0 mm
1:8 (0,13)	56,3 mm	450,0 mm
1:5 (0,20)	60,0 mm	300,0 mm
1:3 (0,33)	66,7 mm	200,0 mm
1:2 (0,50)	75,0 mm	150,0 mm
1:1,5 (0,67)	83,3 mm	125,0 mm
<hr/>		
1:1	100,0 mm	100,0 mm
<hr/>		
1,5:1	125,0 mm	83,3 mm
2:1	150,0 mm	75,0 mm
3:1	200,0 mm	66,7 mm
5:1	300,0 mm	60,0 mm
8:1	450,0 mm	56,3 mm
10:1	550,0 mm	55,0 mm
15:1	800,0 mm	53,3 mm
20:1	1050,0 mm	52,5 mm

Die Pfeile stehen für zunehmende Bildleistung eines fernbereichskorrigierten Objektivs: Bei Abbildungsmaßstäben von 1:1 bis 1:20 in Normalstellung, bei 1:1 bis 20:1 in Retroposition.

Praxis und Theorie der Retro-Stellung

Josef Scheibel, Ing. DGPh

Vergrößerungsmaßstab wieder seinem Korrektions-Optimum. Ganz einfach, weil der Abstand auf der „Gravurseite“ des Objektivs (jetzt die Bildweite a') zunimmt. Daß dabei Objekt und Bild vertauscht sind, ist belanglos. Aus vorstehenden Überlegungen leitet sich die Regel ab: Bei verkleinerten Abbildungen bis 1:1 bleibt das Objektiv in Normalposition, und bei vergrößerten Abbildungen über 1:1 wird es besser in umgekehrter Position (Retro-Stellung) montiert. Oder: Die Gravurseite des Objektivs soll immer in die Richtung des größeren Abstands zeigen. Bildet man ungefähr in natürlicher Größe ab (Abbildungsmaßstab nahe 1:1), ist es bezüglich der Abbildungsleistung gleichgültig, in welcher Stellung man das Objektiv benutzt.

Die Retrostellung aus mechanischer Sicht

Nur wenige Objektive lassen sich ohne besonderes Zubehör sowohl in Normal- als auch in Retro-Position an der Kamera bzw. am Balgengerät montieren. Üblicherweise benötigt man einen sogenannten Umkehring, der auf der einen Seite den Kamera-Anschluß und auf der anderen Seite das Filtergewinde (oder -bajonett) des Objektivs trägt. Umkehring gibt es in jedem größeren Kamerasystem und von Zubehör-Lieferanten. Selbstverständlich geht in der Retro-Stellung die Blendenkupplung zwischen Objektiv und Kameragehäuse verloren, d. h. es kann zunächst nicht mehr mit automatischer Spring- oder Druckblende gearbeitet werden. Beheftsmäßig kann ein geschickter Fotograf den nun nach außen ragenden Blendenbetätigungsstift usw. manuell bewegen, beispielsweise mit einem Finger festhalten und kurz vor der Aufnahme zurückschnellen lassen. Einige Wechselobjektive besitzen Drahtauslöser-Anschlüsse für die Blendenbedienung, so daß man mit Hilfe eines Doppeldrahtauslösers (Abb. 1) die automatische Blendenfunktion wiederherstellen kann. In anderen Foto-Systemen gibt es zusätzliche, flache Zwischenringe für die automatische Blendenfunktion mittels Drahtauslöser. Nachteilig ist nur, daß solche Ringe den ohnehin geringen Arbeitsabstand (freien Abstand zwischen Objekt und Objektiv) weiter verkürzen und eventuell die Auflichtbeleuchtung zusätzlich behindern.

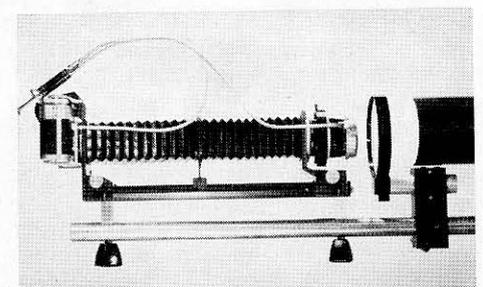
Immer wieder wird nach einem Gegenstück des Umkehrings gefragt, um Filter und andere Vorsatzteile an der Objektiv-Rückseite befestigen zu können. Ein solcher Ring wird u. W. nicht angeboten und wäre auch nicht sehr sinnvoll. Erstens gilt das oben Gesagte über Abstandsverkürzung und Lichtbehinderung auch hier und zweitens ist es aus opti-

schen Gründen nicht ratsam, Filter und andere Vorsatzteile zwischen Objekt und Objektiv anzubringen. Wenn es irgendwie zu machen geht, ordnet man die Filter im Beleuchtungsstrahlengang an (wo die Wirkung die gleiche ist). Das funktioniert zum Beispiel ausgezeichnet bei der Durchlichtbeleuchtung. In allen anderen Fällen kommt das Filter zwischen Umkehring und Objektiv. Innerhalb der längeren Distanz zwischen Objektiv und Film haben kleine Fehler in den Filtern einen geringeren Effekt. Außerdem ist der optische Einfluß des Filterglases geringer, wenn es sich auf der Seite mit dem größeren Abstand befindet. Ein Glasfilter verändert den Lichtweg um mehr als einen Millimeter. Würde man es z. B. nach der Scharfeinstellung zwischen Objekt und Objektiv bringen, wären im Lupenfotobereich total unscharfe Aufnahmen die Folge. Schließlich trägt der Schärfentiefebereich beim Abbildungsmaßstab 5:1 und Blende 22 nur noch insgesamt 0,35 mm!

In der Nahfotografie verwendet man gern Vorsatzachromate (Leitz, Minolta) als Leistungsstütze für das fernbereichskorrigierte Objektiv (s. a. Scheibel: „Vorsatzlinsen und optische Nahvorsätze“ in MFM 8/73, S. 403-408). Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, diese Achromate auch in der Retrostellung zu verwenden. Sie werden zwischen Objektiv und Umkehring eingeschraubt und üben eine Kollimatorwirkung aus, die zur insgesamt besseren Abbildungsleistung führt.

Seit einigen Jahren sind Objektive mit „Floating Focusing“ auf dem Markt. Zusätzlich zur Gesamtverschiebung verändern sich in den optischen Systemen Luftzwischenräume, wodurch eine Leistungsanpassung bei der Naheinstellung erreicht wird. Objektive mit „Floating Focusing“ stellt man in Retro-Position grundsätzlich auf den kürzesten Abstand der Entfernungsskala ein, um in den

Abb. 1: Anordnung aus Teilen des Alpa Macrostat-Systems. Das Standardobjektiv ist in Retrostellung montiert, die automatische Blende wird über einen Doppeldrahtauslöser bedient



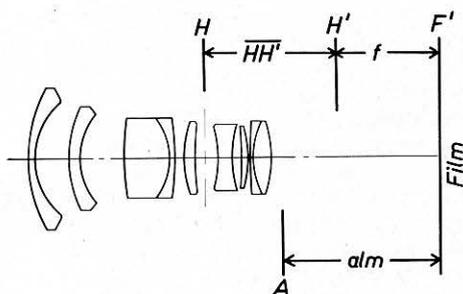


Abb. 2: Abstandsverhältnisse bei einem Retrofokus-Weitwinkelobjektiv ($f = 28 \text{ mm}$). H = objektseitige Hauptebene (= Blenden-ebene in diesem Fall); H' = bild/filmseitige Hauptebene; F' = Brennpunkt (Filmebene); f = Brennweite; HH' = Hauptebenenabstand; alm = Auflagemaß; A = Bajonett oder Gewindeauflage des Objektivs am Kameragehäuse

Genüß der eingebauten Nahanpassung zu kommen.

Alle anderen Objektive beläßt man in Retro-Stellung am besten in der Unendlicheinstellung. Bei den weitaus meisten Ausführungen würde eine Naheinstellung nur den hinteren Fassungsrand vorschieben und somit den freien Abstand zum Objekt nur unnötig verkürzen. Aber selbst dann, wenn die Naheinstellung aufgrund der Objektivkonstruktion auch bei Retro-Position eine zusätzliche Auszugsverlängerung bewirkt, kann man auf diese winzigen Beträge gern verzichten.

Freier Abstand und Auszugsverlängerung

Einige praktische Vorteile ergeben sich, wenn Retrofokus-Weitwinkelobjektive (Bauart mit verlängerter Schnittweite) in Retro-Position gebracht werden. Diese Objektive sind sehr unsymmetrisch gebaut, damit genügend Platz für den Kamera-Spiegel bleibt. Umgedreht – also in Retro-Stellung – benutzt, wirkt sich die längere Schnittweite dieser Systeme als besonders großer Objekt-Abstand aus. Abb. 2 zeigt die Abstandsverhältnisse am Beispiel eines auf Unendlich eingestellten 28-mm-Weitwinkelobjektivs für eine Kleinbild-Spiegelreflexkamera. Bedingt durch den großen Hauptebenen-Abstand H bis H' ist das Auflagemaß alm erheblich länger als die Brennweite. Überträgt man die Zeichnung auf die Retro-Stellung, würde bei unendlich starker Vergrößerung (entsprechend der unendlich starken Verkleinerung in Normalposition) das Objekt an die Stelle des Films treten. Mit anderen Worten: Selbst bei stärksten Vergrößerungsmaßstäben kann der freie Abstand zwischen einem Objektiv in Retro-Stellung und dem Objekt niemals kleiner werden als das Auflagemaß (von den wenigen Millimetern „überhängender“ Bajonett- oder Gewindeteile einmal abgesehen). Bei Kleinbild-Spiegelreflexkameras liegt der kleinste freie Abstand zwischen dem Objektiv in Retro-Position und dem Objekt je nach Kameratyp etwa zwischen 34 und 40 mm. Dieser kleinste freie Abstand gilt für alle Objektivbrennweiten. Man kann also sein Objekt z. B. 15fach vergrößert abbilden und hat immer noch mehr als ca. 40 mm freien Abstand! Neben Verbesserungen in der Ab-

bildungsleistung ist das Kriterium „großer freier Abstand“ das wichtigste Argument für die Anwendung der Retro-Stellung.

Die exakten Abstandsverhältnisse hängen weitgehend von der optischen und mechanischen Bauweise des Objektivs ab. Deshalb lassen sich hierfür keine allgemeingültigen Formeln oder Tabellen erarbeiten. Für Retrofokus-Weitwinkelobjektive darf mit guter Näherung gelten:

Abstand Blenden-ebene bis Objekt =

$$\left[\left(\frac{1}{\beta'} + 1 \right) f \right] + i$$

Die Gesamtweite zwischen Objekt und Film beträgt genau:

$$\text{Gesamtweite} = \left[\frac{(1 + \beta')^2}{\beta'} f \right] + i$$

(β' = Abbildungsmaßstab; f = Brennweite; i = Hauptebenenabstand)

In Abb. 3 wurden die Abstandsverhältnisse für zwei Beispiele maßstäblich dargestellt. Links befindet sich das Objektiv in Normalstellung, rechts in Retro-Stellung. Die Gesamtweite Film bis Objekt bleibt für den gleichen Abbildungsmaßstab unabhängig von der Objektivstellung bestehen. Oben ist ein 50-mm-Standardobjektiv auf den Abbildungsmaßstab 1:1 eingestellt. Man sieht, wie in der Retrostellung die Auszugslänge kleiner und der freie Abstand größer ist. Im unteren Teil von Abb. 3 treten die Vorteile der Retro-Stellung noch deutlicher zutage. Bei Normalstellung des 28-mm-Weitwinkelobjektivs müßte man das Objekt auf die Frontlinse legen, um es scharf im Abbildungsmaßstab 4:1 fotografieren zu können. Bei noch stärkeren Vergrößerungsmaßstäben würde die Objektebene sogar innerhalb des Objektivs liegen. Montiert man das gleiche Objektiv in Retro-Stellung, wird der gewünschte Abbildungsmaßstab 4:1 mit kleinerer Auszugslänge und mit einem praktikablen freien Abstand zum Objekt erreicht. Im übrigen sind die Objektivfassungen zur Kamera hin meist etwas schlanker, und die Außenflächen der Hinterlinsen liegen weit außen. Bei Retro-Stellung wird dadurch zusätzlich der freie Abstand vergrößert und die Lichtführung erleichtert. Das gilt für Weitwinkel- und Standard-Objektive von Spiegelreflexkameras. Tele-Objektive würden in Retro-Position nachteilige Eigenschaften entwickeln, wenn man wegen der langen Objektivbrennweiten ohnehin kaum die Gelegenheit hätte, vergrößert abzubilden. In die Überlegungen zur Belichtungsverlängerung und Schärfentiefe wurden trotzdem Tele-Objektive vergleichshalber einbezogen. Wie oben erwähnt, erhält man wegen der starken Unsymmetrie der Objektive mit der Retro-Stellung höhere Vergrößerungsmaßstäbe mit kleineren Auszugslängen. Das führt u. a. dazu, daß ein direkt über Umkehring mit dem Kameragehäuse verbundenes 35-mm-Objektiv ungefähr den Abbildungsmaßstab 1,6:1, ein 28-mm-Objektiv sogar etwa den Abbildungsmaßstab 2:1 erreicht.

Einflüsse auf die Belichtungsverlängerung

In die exakten Werte für die Belichtungsverlängerung geht das sogenannte Pupillenverhältnis ein, das folgendermaßen definiert ist:

$$\text{Pupillenverhältnis } P = \frac{A-P}{E-P}$$

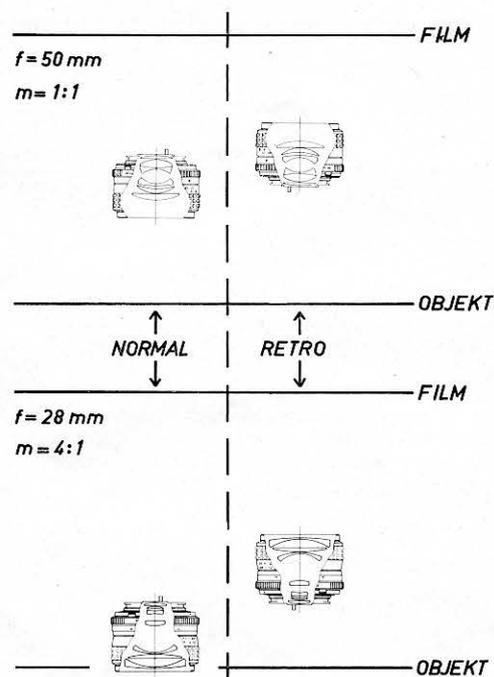


Abb. 3: maßstäbliche Darstellung der Abstände für Retro- und Normalstellung an zwei Beispielen

Alle Abbildungen vom Autor

(A-P = Austrittspupille; E-P = Eintrittspupille).

Die Belichtungsverlängerungsfaktoren werden berechnet nach:

$$v = \left(\frac{\beta'}{P} + 1 \right)^2$$

für die Objektiv-Normalstellung. Und:

$$v = \left(\frac{1}{P} + \beta' \right)^2$$

für die Objektiv-Retro-Stellung.

(v = Verlängerungsfaktor; β' = Abbildungsmaßstab).

Da es zwei unterschiedliche Formeln für die Normal- und Retrostellung gibt, müssen auch die Belichtungsverlängerungsfaktoren selbst verschieden ausfallen. Eine ausführliche Grundlagenarbeit unter dem Titel „Einflüsse des Pupillenverhältnisses bei Nah- und Lupenaufnahmen“ erschien von Scheibel in MFM 9/72, S. 466-470. Wir müssen uns hier darauf beschränken, die Resultate im Sinne unserer Thematik zu analysieren. Tabelle 2 hilft dabei. Wie daraus zu ersehen ist, werden die Belichtungsfaktoren bei Retrostellung eines Spiegelreflex-Weitwinkelobjektivs erheblich höher als die entsprechenden Werte für die Normalstellung. Das scheint einen Nachteil der Retro-Stellung anzuzeigen. In Wirklichkeit handelt es sich jedoch nur um einen scheinbaren Nachteil, da aufgrund des Pupillenverhältnisses eine stärkere Abblendung erfolgt, als es in der Normal-Stellung der Fall ist. Aus dieser stärkeren Abblendung resultiert dann wieder für die Retro-Stellung ein größerer Schärfentiefebereich. Diese Zusammenhänge werden am Schluß des nächsten Abschnitts dargestellt. Andererseits ist der absolute Verlängerungsfaktor für beide Stellungen des Weitwinkelobjektivs kleiner als der Wert für ein symmetrisches Objektiv. Kameras mit einer gut im Lupenbereich funktionierenden Belichtungsmessung durch

Tabelle 2 Verlängerungsfaktoren für die Belichtungszeit

Abb.- maßstab β'	Belichtungszeitverlängerungen für ...				
	Weitwinkelobj. ¹ P = 2,0		symmetr. Obj. ² P = 1,0	Tele-Objektiv ³ P = 0,6	
	Normal	Retro	Normal u. Retro	Normal	Retro
1 : 1	2,3	2,3	4,0	7,1	7,1
2 : 1	4,0	6,3	9,0	18,8	13,4
3 : 1	6,3	12,3	16,0	36,0	21,8
5 : 1	12,3	30,3	36,0	87,1	44,4
7 : 1	20,3	56,3	64,0	160,4	75,1
10 : 1	36,0	110,3	121,0	312,1	136,1
15 : 1	72,3	240,3	256,0	676,0	277,8

¹ z. B. ein Spiegelreflex-Weitwinkel (24 x 36 mm) mit $f = 24-28$ mm² z. B. ein symmetrisches Makro-Objektiv $f = 50-60$ mm für Kleinbild³ z. B. ein „echtes“ kurzgebautes Tele-Objektiv $f = 135$ mm für Kleinbild

Die Tabelle enthält zur Gegenüberstellung auch Werte, die nicht praktikabel oder zumindest nicht zu empfehlen sind.

Tabelle 3 Schärfentiefe für Blende 11gesamter Bereich (max. Streukreis- $\phi = 0,033$ mm) in „mm“

Abb.- maßstab β'	Weitwinkelobj. ¹ P = 2,0		mit symm. Obj. ² P = 1,0	mit Tele-Objektiv ³ P = 0,6	
	Normal	Retro	Normal u. Retro	Normal	Retro
1 : 1	1,089	1,089	1,452	1,936	1,936
2 : 1	0,363	0,454	0,545	0,787	0,666
3 : 1	0,202	0,282	0,323	0,484	0,376
5 : 1	0,102	0,160	0,174	0,271	0,194
7 : 1	0,067	0,111	0,119	0,188	0,128
10 : 1	0,044	0,076	0,080	0,128	0,085
15 : 1	0,027	0,050	0,052	0,084	0,054

¹ z. B. Kleinbildspiegelreflex-Weitwinkel $f = 24$ mm oder 28 mm² z. B. Makro-Objektiv $f = 50-60$ mm für Kleinbild³ z. B. „echtes“ kurzgebautes Tele-Objektiv $f = 135$ mm

Diese Tabelle enthält zur Veranschaulichung der Zusammenhänge auch Werte, die praktisch nicht realisierbar sind.

Die Schärfentiefebereiche für Blende 16 erhält man durch Multiplikation mit 1,4, die Bereiche für Blende 22 durch Malnehmen mit 2,0.

das Objektiv berücksichtigen alle diese komplizierten Gegebenheiten sozusagen von selbst. Trotzdem sollte man die Zusammenhänge kennen, um sich ein Urteil über Vor- und Nachteile erlauben zu können – und für die im Lupenfotobereich recht häufigen Blitzlichtaufnahmen.

Schärfentiefe, Retrostellung und Pupillenverhältnis

Die unterschiedlichen Verlängerungsfaktoren für Normal- und Retro-Stellung in Abhängigkeit vom Pupillenverhältnis können nur aus einem varianten Öffnungsverhältnis herrüh-

ren. Somit müssen auch die Schärfentiefebereiche in gleicher Weise beeinflußt werden. Tabelle 3 belegt diese Tatsache. Da, wo in Tabelle 2 die höchsten Verlängerungsfaktoren stehen, findet man in Tabelle 3 die größten Werte für den Schärfentiefebereich. Damit ist der nach geometrisch-optischen Grundsätzen bestehende feste Zusammenhang zwischen Belichtung und Schärfentiefe generell bewiesen. Berücksichtigt man auch die Verlängerungsfaktoren für die Belichtungszeit, gibt es keinen direkten oder indirekten Schärfentiefeertrag (oder -verlust) durch Retro-Stellung oder Pupillenverhältnis. Dazu ein Beispiel:

Aufnahme im Abbildungsmaßstab 10:1

- a) mit symmetrisch gebautem Objektiv ($P = 1,0$), das auf Blende 11 eingestellt ist. Verlängerungsfaktor 121 x; Schärfentiefebereich ges. = 0,08 mm.
- b) mit Tele-Objektiv ($P = 0,6$) in Normalstellung, das ebenfalls auf 11 abgeblendet ist, Verlängerungsfaktor 312,1 x; Schärfentiefebereich = 0,128 mm. Für gleiche Belichtung wie im Falle a) darf am Tele-Objektiv nur Blende 6,8 (5,6–8) eingestellt werden, wodurch der Schärfentiefebereich exakt auf 0,08 mm zurückgeht (wie bei a).
- c) mit Weitwinkel-Objektiv ($P = 2,0$) in Retro-Stellung, auf Blende 11 abgeblendet. Verlängerungsfaktor 110 x; Schärfentiefebereich = 0,076 mm. Eigentlich dürfte man etwas kürzer belichten als im Falle a), würde aber auch eine geringfügig kleinere Schärfentiefe in Kauf nehmen müssen. Dreht man die Blende ganz leicht über 11 hinweg (etwa auf 12), verhalten sich Belichtung und Schärfentiefebereich genauso wie unter a).

Soviel zum mehr theoretischen Vergleich der einzelnen Auswirkungen. Für die Praxis gilt: Schärfentiefebereiche sind ohnehin nicht scharf begrenzt, sondern verlaufend. Ein umgekehrt (in Retro-Position) verwendetes Weitwinkelobjektiv bringt bei gleicher Blende und gleichem Abbildungsmaßstab praktisch die gleichen Schärfentiefebereiche wie ein symmetrisches Objektiv. Vor allem bei Abbildungsmaßstäben über etwa 2:1 liegen die Werte dicht beieinander.