

Josef Scheibel

## Einflüsse des Pupillenverhältnisses bei Nah- und Lupenaufnahmen

Obwohl die meisten einäugigen Spiegelreflexkameras eine Möglichkeit zur Belichtungsmessung durch das Objektiv besitzen, bleibt es dem Fotografen in vielen Fällen nicht erspart, die aus den Auszugsverlängerungen resultierenden Belichtungsverlängerungen aus Tabellen aufzusuchen oder durch Rechnung zu bestimmen. So z. B. bei Blitzlichtaufnahmen oder wenn die Innenmessung zu wenig empfindlich bzw. für den extremen Nahbereich weniger gut geeignet ist. Im allgemeinen errechnet man die Belichtungsverlängerung nach der einfachen Formel:

$$\text{Verlängerungsfaktor} = (\text{Abbildungsmaßstab} + 1)^2$$

$$\text{oder: } v = (m + 1)^2$$

(in diesem Beitrag bedeuten  $v$  = Verlängerungsfaktor für die Belichtungszeit;  $m$  = Abblidungsmaßstab).

Nach der vorstehenden Beziehung sind auch die meisten im Umlauf befindlichen Tabellen errechnet. So ermittelte Werte für die Belichtungsverlängerung gelten jedoch nur exakt für symmetrisch aufgebaute Objektive. Namentlich in Kleinbild-Spiegelreflexkameras werden aber heute überwiegend unsymmetrisch aufgebaute Objektive verwendet (Retrofokus- und Tele-Systeme mit verlängerter Schnittweite bzw. verkürzter Bauweise). Rechnet man die Belichtungsverlängerung für stark unsymmetrische Objektive nach obiger Formel aus, muß z. B. beim Abblidungsmaßstab 1:1 von Belichtungsfehlern in der Größenordnung von mehr als einer Blendenstufe ausgegangen werden. Um diese Fehler zu vermeiden, führt man in die Rechnung – als Maß für die Unsymmetrie des Systems – das „Pupillenverhältnis“ ein. Man schaut durch das auf einen mittleren Wert abgeblendete Objektiv gegen einen hellen Hintergrund (beispielsweise einen Leuchtkasten) und mißt den Durchmesser der freien Blendenöffnung. Erscheint der Durchmesser der gleichen Blendenöffnung von vorne und von hinten

betrachtet annähernd gleich groß, so ist das Pupillenverhältnis nahe 1 (symmetrisches Objektiv) und man erhält mit vorgenannter Formel zutreffende Ergebnisse für die Belichtungsverlängerung. Sieht man den Durchmesser der Blendenöffnung von vorne und hinten unterschiedlich groß, muß das Pupillenverhältnis in die Rechnung eingeführt werden (unsymmetrisches Objektiv). Schon an dieser Stelle sei bemerkt, daß die Unsymmetrie eines optischen Systems auch einen merkbaren Einfluß auf die Ausdehnung der Schärfentiefe und auf die freien Abstände zwischen Objektiv und Objekt ausübt.

### Messung des Pupillenverhältnisses

Für eine praxisbezogene Genauigkeit genügt es, das Objektiv auf einen mittleren Blendenwert abzublenden und die Pupillen-Durchmesser (Durchmesser der freien Blendenöffnungen) von vorne und hinten mit einem Lineal zu messen. Der Wert für das Pupillenverhältnis ergibt sich dann folgendermaßen:

$$\text{Pupillenverhältnis} = \frac{\text{Durchmesser der Austrittspupille (von hinten)}}{\text{Durchmesser der Eintrittspupille (von vorne)}}$$

oder:

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

( $P$  = Pupillenverhältnis).

Wer die Pupillenverhältnisse eines ganzen Objektivsatzes exakter feststellen möchte, kann auch eine fotografische Methode anwenden. Man fotografiert dazu mit feststehendem Abblidungsmaßstab (Scharfeinstellung nur durch Verändern des Objektabstandes) die Objektive von vorne und von hinten auf einem Leuchtkasten. Auch dazu werden alle Objektive auf einen mittleren Wert abgeblendet. Die Scharfeinstellung erfolgt jeweils auf die Eintritts- bzw. Austritts-

Pupillen. Auf dem Negativ lassen sich dann die Durchmesserwerte bequem und genau messen. Dabei ist es unerheblich, wenn die Pupillen-Durchmesser nicht exakt im Abblidungsmaßstab 1:1 aufgenommen wurden. Wichtig ist nur, daß der Abblidungsmaßstab zwischen den Aufnahmen keinesfalls verändert wurde. Es kommt letztlich ja ausschließlich auf das Durchmesser-Verhältnis an. Grundsätzlich ergeben sich für Retrofokus-Weitwinkel-Objektive Pupillenverhältnisse über 1 und für „echte Tele-Objektive“ (kurzgebaute Systeme) Pupillenverhältnisse unter 1. In Tabelle 1 (S. 468) wurden die Pupillenverhältnisse einiger Objektive zusammengestellt. Man kann daraus entnehmen, daß:

- die Pupillenverhältnisse von Retrofokus-Weitwinkel-Objektiven etwa zwischen 1,35 und 2,28 liegen. Die Leica-Objektive Summicron und Summaron 35 mm sind keine Retrofokus-Typen und weisen deshalb Pupillenverhältnisse um 1 auf.
- kurzgebaute Tele-Objektive mit Pupillenverhältnissen von etwa 0,8 bis etwa 0,4 aufwarten. Man kann also direkt vom Pupillenverhältnis auf die Relation zwischen Brennweite und Baulänge schließen.
- Objektivköpfe für Balgengeräte (bis auf wenige, sehr langbrennweitige Ausnahmen), Vergrößerungs- und Re-pro-Objektive sowie Lupen- und Makro-Objektive (mit Ausnahme der kürzesten Brennweiten) ziemlich symmetrisch aufgebaut sind und Pupillenverhältnisse um etwa 1 zeigen.

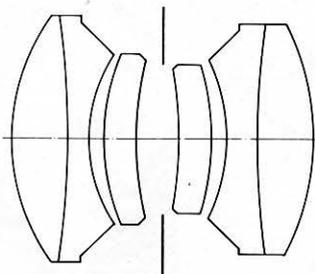
### Pupillenverhältnis und Belichtungsverlängerung

Bei unsymmetrischen Objektiven errechnet sich der Verlängerungsfaktor für die Belichtungszeit aus dem Abblidungsmaßstab und dem Pupillenverhältnis. Dabei ist die Gebrauchsstellung des Objektivs ausschlaggebend. Für die normale Stellung des Objektivs (Gravurseite zum Objekt bei Abblidungsmaßstäben kleiner als 1:1) gilt die Beziehung:

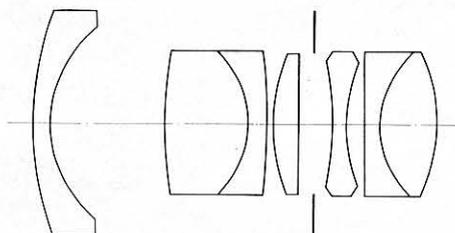
$$v = \left( \frac{m}{P} + 1 \right)^2$$

Benutzt man bei Abblidungsmaßstäben größer als 1:1 das Objektiv in der sogenannten „Retrostellung“ (also umgekehrt, mit der Gravurseite zum Film), muß nach dieser Formel gerechnet werden:

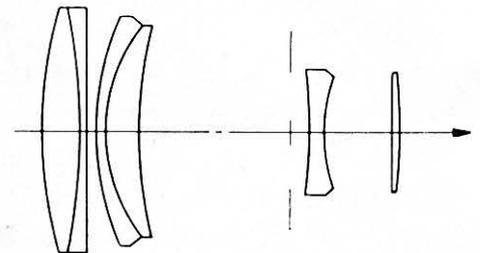
$$v = \left( \frac{1}{P} + m \right)^2$$



Schneider Symmar, ein bekanntes Großbild-Objektiv mit annähernd symmetrischem Aufbau (Pupillenverhältnis nahe 1)



Weitwinkel-Objektiv in Retrofokus-Bauweise mit langer Schnittweite (Leitz Elmarit-R 1,2,8/35 mm, Pupillenverhältnis 1,47)



„Echtes“ Tele-Objektiv mit verkürzter Bauweise (Minnolta Tele-Rokkor 1,3,5/200 mm, Pupillenverhältnis 0,52)

## Einflüsse des Pupillenverhältnisses bei Nah- und Lupenaufnahmen

Tabelle 1

### Pupillenverhältnisse einiger Objektivs

(nach Brennweiten geordnet)

|                                 |                        |
|---------------------------------|------------------------|
| Leitz Photar 1,9/12,5 mm        | -1,28 - * <sub>1</sub> |
| Minolta Rokkor 2,8/24 mm        | -2,28                  |
| Leitz Photar 2,5/ 25 mm         | -0,91 - * <sub>1</sub> |
| Minolta Rokkor 2,5/28 mm        | -1,97                  |
| Minolta Rokkor 3,5/28 mm        | -1,60                  |
| Schneider Curtagon 4/28 mm      | -1,56                  |
| Leitz Summicron 2/35 mm         | -0,99                  |
| Leitz Summaron 2,8/35 mm        | -1,10                  |
| Minolta Rokkor 1,8/35 mm        | -1,65                  |
| Minolta Rokkor 2,8/35 mm        | -1,40                  |
| Schneider Curtagon 2,8/35 mm    | -1,35                  |
| Schneider PA-Curtagon 4/35 mm   | -1,52                  |
| Leitz Summicron 2/50 mm         | -1,02                  |
| Leitz Elmar 2,8/50 mm           | -1,15                  |
| Leitz Summicron-R 2/50 mm       | -1,12                  |
| Leitz Photar 4/50 mm            | -0,93 - * <sub>1</sub> |
| Leitz Photar 2,8/50 mm          | -1,15 - * <sub>1</sub> |
| Leitz Focotar 4,5/50 mm         | -1,08 - * <sub>2</sub> |
| Minolta Macro-Rokkor 3,5/50 mm  | -0,97                  |
| Schneider Xenon 1,9/50 mm       | -1,05                  |
| Schneider Xenar 2,8/50 mm       | -0,89                  |
| Zeiss Distagon 4/50 mm          | -1,78 - * <sub>3</sub> |
| Minolta Rokkor 1,7/55 mm        | -1,02                  |
| Schneider Repro-Claron 8/55 mm  | -1,00 - * <sub>4</sub> |
| Minolta Rokkor 1,4/58 mm        | -0,94                  |
| Leitz Elmar 3,5/65 mm           | -1,33                  |
| Schneider Comparon 4,5/75 mm    | -0,94 - * <sub>4</sub> |
| Leitz Photar 4,5/80 mm          | -1,00 - * <sub>1</sub> |
| Minolta Rokkor 1,7/85 mm        | -0,92                  |
| Leitz Summicron 2/90 mm         | -1,07                  |
| Leitz Elmarit 2,8/90 mm         | -1,12                  |
| Leitz Summicron-R 2/90 mm       | -0,82                  |
| Leitz Macro-Elmar 4/100 mm      | -1,06 - * <sub>4</sub> |
| Minolta Rokkor 2,5/100 mm       | -0,78                  |
| Minolta Macro-Rokkor 3,5/100 mm | -0,86                  |
| Minolta Balgen-Rokkor 4/100 mm  | -0,95 - * <sub>4</sub> |
| Schneider Xenar 3,5/100 mm      | -0,95 - * <sub>4</sub> |
| Schneider Xenar 4,5/105 mm      | -0,95 - * <sub>4</sub> |
| Schneider Comparon 4,5/105 mm   | -0,97 - * <sub>4</sub> |
| Leitz Photar 5,6/120 mm         | -1,00 - * <sub>1</sub> |
| Zeiss S-Planar 5,6/120 mm       | -1,05 - * <sub>3</sub> |
| Leitz Elmarit 2,8/135 mm        | -0,63                  |
| Leitz Tele-Elmar 4/135 mm       | -0,66                  |
| Leitz Elmarit-R 2,8/135 mm      | -0,63                  |
| Minolta Rokkor 2,8/135 mm       | -0,67                  |
| Minolta Rokkor 3,5/135 mm       | -0,66                  |
| Schneider Tele-Xenar 3,5/135 mm | -0,39                  |
| Schneider Repro-Claron 8/135 mm | -1,00 - * <sub>4</sub> |
| Schneider Xenar 4,5/135 mm      | -0,94 - * <sub>4</sub> |
| Schneider Comparon 5,6/150 mm   | -0,97 - * <sub>4</sub> |
| Schneider Xenar 4,5/150 mm      | -0,94 - * <sub>4</sub> |
| Zeiss Sonnar 4/150 mm           | -0,75 - * <sub>3</sub> |
| Leitz Elmarit-R 2,8/180 mm      | -0,52                  |
| Leitz Telyt 4/200 mm            | -0,64                  |
| Minolta Rokkor 3,5/200 mm       | -0,52                  |
| Minolta Rokkor 4,5/200 mm       | -0,46                  |
| Schneider Tele-Xenar 5,5/200 mm | -0,50                  |
| Schneider Tele-Arton 5,5/240 mm | -0,54 - * <sub>4</sub> |
| Leitz Telyt 4,8/280 mm          | -0,65                  |

\*<sub>1</sub> — Photare sind Spezialobjektive für den Lupen- bzw. Makrobereich

\*<sub>2</sub> — Vergrößerungs- und Repro-Objektiv ohne Einstellfassung

\*<sub>3</sub> — Objektiv für das 6x6-Format

\*<sub>4</sub> — Objektivköpfe für Balgengeräte

außer den mit \*<sub>3</sub> gekennzeichneten Objektiven sind alle genannten Objektivs für das Kleinbildformat vorgesehen. Es handelt sich jeweils um die neuesten uns bekannten Konstruktionen. Ältere Objektivs gleichen Namens sowie auch Neurechnungen können abweichende Pupillenverhältnisse besitzen.

Tabelle 2

### Verlängerungsfaktoren für die Belichtungszeit

#### A) Normale Objektivstellung

| Abbildungs-<br>maßstäbe | Pupillenverhältnisse der Objektivs |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------------|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                         | 0,4                                | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 |
| 1:10                    | 1,6                                | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| 1: 7                    | 1,8                                | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 |
| 1: 5                    | 2,3                                | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| 1: 4                    | 2,6                                | 2,0 | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,2 |
| 1: 3                    | 3,4                                | 2,4 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,3 |
| 1: 2                    | 5,1                                | 3,4 | 2,6 | 2,3 | 2,0 | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,5 |
| 1: 1,5                  | 7,1                                | 4,5 | 3,4 | 2,8 | 2,4 | 2,2 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,7 |
| 1: 1                    | 12,3                               | 7,1 | 5,1 | 4,0 | 3,4 | 2,9 | 2,6 | 2,4 | 2,3 | 2,1 |

#### B) Umgekehrte Objektivstellung (Retrostellung)

| Abbildungs-<br>maßstäbe | Pupillenverhältnisse der Objektivs |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                         | 0,4                                | 0,6   | 0,8   | 1,0   | 1,2   | 1,4   | 1,6   | 1,8   | 2,0   | 2,2   |
| 1 :1                    | 12,3                               | 7,1   | 5,1   | 4,0   | 3,4   | 2,9   | 2,6   | 2,4   | 2,3   | 2,1   |
| 1,5:1                   | 16,0                               | 10,0  | 7,6   | 6,3   | 5,4   | 4,9   | 4,5   | 4,2   | 4,0   | 3,8   |
| 2 :1                    | 20,3                               | 13,4  | 10,6  | 9,0   | 8,0   | 7,4   | 6,9   | 6,5   | 6,3   | 6,0   |
| 3 :1                    | 30,3                               | 21,8  | 18,1  | 16,0  | 14,7  | 13,8  | 13,1  | 12,6  | 12,3  | 11,9  |
| 4 :1                    | 42,3                               | 32,1  | 27,6  | 25,0  | 23,4  | 22,2  | 21,4  | 20,8  | 20,3  | 19,8  |
| 5 :1                    | 56,3                               | 44,4  | 39,1  | 36,0  | 34,0  | 32,7  | 31,6  | 30,9  | 30,3  | 29,8  |
| 7 :1                    | 90,3                               | 75,1  | 68,1  | 64,0  | 61,4  | 59,5  | 58,1  | 57,1  | 56,3  | 55,6  |
| 10 :1                   | 156,3                              | 136,1 | 126,6 | 121,0 | 117,4 | 114,8 | 112,9 | 111,4 | 110,3 | 109,3 |
| 15 :1                   | 306,3                              | 277,8 | 264,1 | 256,0 | 250,7 | 246,9 | 244,1 | 242,0 | 240,3 | 238,8 |

Abweichend vom eigentlichen Thema sei hier festgestellt, daß unsymmetrische Objektivs im Interesse bestmöglicher Bildqualität bei vergrößernden Abbildungsmaßstäben (größer als 1:1) unbedingt in Retrostellung verwendet werden sollten. Symmetrisch aufgebaute Objektivs reagieren in dieser Hinsicht weniger kritisch.

Es ist nicht jedermanns Sache, vor jeder Nah- oder Lupenaufnahme nach den o. g. Formeln zu rechnen. Deshalb haben wir auf einer modernen elektronischen Rechenanlage zwei Tabellen (Tabelle 2A und 2B) für den gesamten in Frage kommenden Bereich von Pupillenverhältnissen und Abbildungsmaßstäben fertig ausgerechnet. Entsprechend praktischen Gepflogenheiten geht die Tabelle 2A (normale Objektivstellung) bis zum Abbildungsmaßstab 1:1 und die Tabelle 2B (Retrostellung) beginnt mit der Abbildung in natürlicher Größe. Beide Tabellen geben anschaulich darüber Auskunft, wie unterschiedliche Pupillenverhältnisse die Belichtungsverlängerung beeinflussen. Der nächste Schritt wären dann Tabellen mit speziellem Zuschnitt für einen bestimmten Objektivsatz. Diese Tabellen müßten eigentlich von den Objektivherstellern kommen, aber leider hat sich diesbezüglich bisher wenig getan. Im Minolta-Buch („Das Minolta-Buch“ von J. Scheibel, Heering-Verlag 1972) wurden erstmals solche „systembezogenen Tabellen“ veröffentlicht. Um einen Eindruck davon zu geben und gleichzeitig als Anregung für Fotografen, die sich selbst eine solche Tabelle zusammenstellen möchten, veröffentlichen wir zwei dieser Tabellen. Auffallend ist, daß der Begriff des Pupillenverhältnisses (und die zugehörigen Werte) in

diesen Tabellen nicht mehr auftaucht. Man kann ihn vergessen, weil die Rubriken fest auf bestimmte Objektivkonstruktionen bezogen sind. Weiterhin konnten unrealistische, weil praktisch nicht erreichbare Abbildungsmaßstäbe gleich ausgelassen werden. Andererseits geht Tabelle 3A über den Abbildungsmaßstab 1:1 hinaus, um auch den annähernd symmetrisch aufgebauten Objektivs gerecht zu werden, die für vergrößernde Abbildungsmaßstäbe nicht unbedingt umgedreht werden müssen (Vorteil: In Normalstellung bleibt die automatische Springblende und gegebenenfalls die Belichtungsmesserkupplung für Offenblendmessungen in Funktion).

Übrigens kann man die errechneten Belichtungsverlängerungen sehr schön mit der Belichtungsmessung durch das Objektiv überprüfen. Die dabei erzielte Genauigkeit ist allerdings bei behelfsmäßigen Testaufbauten nicht sehr hoch. Es könnte auch möglich sein, daß die betreffende Belichtungsmessung durch das Objektiv im Bereich der extremen Nahaufnahmen und der Lupenaufnahmen Mängel zeigt (z. B. bedingt durch verringerte Meßgenauigkeit bei schwachem Licht oder wegen des oft auftretenden Spiegelbeschnitts). Vorsicht ist auch bei Meßsystemen angebracht, die nicht exakt in der Sucherbildebene bzw. Filmebene sondern etwas davor oder dahinter messen.

Aus den Tabellen wird die Tatsache deutlich, daß die Verlängerungsfaktoren für Retrofokus-Weitwinkel-Objektivs generell kleiner, für kurzgebaute Tele-Systeme generell größer ausfallen als für symmetrische Objektivs.

## Einflüsse des Pupillenverhältnisses bei Nah- und Lupenaufnahmen

Weiterhin zeigt es sich, daß bei umgedrehten Objektiven (Retrostellung) der Einfluß des Pupillenverhältnisses geringer ist als bei normaler Objektivstellung. Die Verlängerungsfaktoren sind unabhängig von der Brennweite des Objektivs. Formeln und Tabellen gelten also letztlich für beliebige Objektivbrennweiten und Aufnahmeformate; die Verlängerungsfaktoren ergeben sich nur aus Abbildungsmaßstab und Pupillenverhältnis. Da heutzutage häufiger Vorsatzoptiken zur Qualitätsverbesserung im Nahbereich eingesetzt werden (z. B. Leitz ELPRO-Nahvorsätze oder Minolta Vorsatz-Achromate), ist noch die folgende Überlegung von Bedeutung: Bei Kombinationen von Auszugsverlängerungen und optischen Vorsatzteilen ist nur die Belichtungsverlängerung anzuwenden, die für die Auszugsverlängerung allein erforderlich wäre. Das optische Vorsatzteil verändert zwar den Abbildungsmaßstab, verursacht aber keine zusätzlichen Belichtungsverlängerungen. Ist beispielsweise die Auszugsverlängerung unerheblich und wird die Naheinstellung vorwiegend durch das optische Vorsatzteil erreicht, kommt man ohne Belichtungsverlängerungen aus.

### Pupillenverhältnis und Schärfentiefe

Üblicherweise geht man in der fotografischen Praxis davon aus, daß die Schärfentiefe im extremen Nahbereich ausschließlich von Abbildungsmaßstab und Blende abhängig ist. Weniger bekannt ist die Abhängigkeit der Schärfentiefe vom Pupillenverhältnis. Dieser Einfluß ist nämlich für die Praxis unwesentlich, da es sich bei der Festlegung des Schärfentiefebereichs ohnehin um eine willkürliche Abgrenzung durch den frei gewählten Basiswert des Zerstreuungskreises handelt. In der Regel verzichtet man deshalb darauf, diese Tatsache in praxisorientierte Veröffentlichungen einzubeziehen. Auf ausführliche Formeln und Tabellen möchten wir hier ebenfalls verzichten. Interessant ist aber, zu wissen, in welcher Tendenz das Pupillenverhältnis die Schärfentiefe beeinflußt. Hier ein durchgerechnetes Beispiel:

Abbildungsmaßstab 1:1; Blende 16; Zerstreuungskreis-Durchmesser 0,03 mm  
 Schärfentiefebereich für symmetrisches Objektiv: 1,92 mm  
 Schärfentiefebereich für Retrofokus-System (Pupillenverhältnis 2,0): 1,44 mm  
 Schärfentiefebereich für Tele-System (Pupillenverhältnis 0,6): 2,56 mm  
 Resultat: Mit Retrofokus-Systemen erhält man einen kleineren, mit Tele-Systemen einen größeren Schärfentiefebereich gegenüber symmetrischen Objektiven. Bei größeren Abbildungsmaßstäben als 1:1 und umgedrehten Objektiven ist der Einfluß des Pupillenverhältnisses weniger stark als bei normaler Objektivstellung.

### Pupillenverhältnis und freie Arbeitsabstände

In normaler Stellung ist der freie Arbeitsabstand zwischen Objektiv und Objekt grundsätzlich bei Retrofokus-Systemen kleiner und bei Tele-Systemen größer als mit symmetrischen Objektiven. Selbstverständlich spielt dabei die Fassungs Ausführung mindestens eine ebensogroße Rolle wie die Unsymmetrie des Objektivs.

Benutzt man die Objektive in umgekehrter Stellung, ist der freie Arbeitsabstand bei Retrofokus-Weitwinkel-Objektiven (Pupillenverhältnisse über 1) besonders groß, bei Tele-Systemen dagegen geringer. Auch bei umgekehrter Objektivstellung ist die Art der Fassungskonstruktion von erheblicher Bedeutung. Und zwar wird sie im allgemeinen die durch Unsymmetrie der optischen Systeme gegebenen Unterschiede noch zusätzlich unterstreichen. Jeder Fassungskonstrukteur wird bestrebt sein, die Hinterlinse eines Retrofokus-Objektivs so weit wie möglich nach außen (hinten) zu legen. Benutzt man diese Objektive umgekehrt, steht die Fassung nicht oder nur wenig über den Linsenscheitel hin-

aus und verkürzt folglich den freien Abstand nicht zusätzlich. Bei Tele-Systemen ist es eher umgekehrt. Alle Vergleiche gelten jeweils für gleiche Abbildungsmaßstäbe! Übrigens: Wenn ein Objektiv für das Kamera-Auflagemaß von beispielsweise 45 mm bestimmt ist, wird bei Retrostellung der Abstand zwischen Objekt und Objektiv nur wenig kleiner als dieser Wert ausfallen können. Vielmehr würden bei unendlich vergrößerter Abbildung mit theoretischem Abbildungsmaßstab  $\infty : 1$  etwa 40 mm als freier Arbeitsabstand erreicht. Bei endlichen Vergrößerungsmaßstäben ist der Abstand zwischen Objekt und Fassungskante des Objektivs immer merklich größer als das Auflagemaß.

Tabelle 3

### Exakte Verlängerungsfaktoren für die Belichtungszeit

Berechnet unter Berücksichtigung der verschiedenen optischen Konstruktionen (Pupillenmaßstäbe).

#### A) Objektive in Normalstellung

| Abbildungsmaßstäbe | Verlängerungsfaktoren für die Belichtungszeit |      |      |      |      |      |      |     |      |
|--------------------|---|------|------|------|------|------|------|-----|------|
|                    | 1   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8   | 9    |
| 1 :10              | 1,1   | 1,1  | 1,2  | 1,2  | 1,2  | 1,3  | 1,3  | 1,4 | 1,5  |
| 1 : 5              | 1,3   | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,9 | 2,1  |
| 1 : 3              | 1,4   | 1,5  | 1,8  | 1,8  | 1,9  | 2,0  | 2,3  | 2,7 | 3,0  |
| 1 : 2              | 1,7   | 1,8  | 2,2  | 2,3  | 2,5  | 2,7  | 3,1  | 3,8 | 4,4  |
| 1 : 1              | 2,6   | 2,9  | 4,0  | 4,3  | 4,7  | 5,2  | 6,3  | 8,5 | 10,1 |
| 1,5 : 1            | 3,6   | 4,3  | 6,2  | 6,8  | 7,5  | 8,5  | 10,6 | -   | -    |
| 2 : 1              | 4,9   | 5,9  | 9,0  | 9,8  | 11,1 | 12,7 | 16,1 | -   | -    |
| 2,5 : 1            | 6,3   | 7,8  | 12,2 | 13,5 | 15,3 | 17,7 | -    | -   | -    |
| 3 : 1              | 7,9   | 9,9  | 16,0 | 17,7 | 20,1 | 23,5 | -    | -   | -    |
| 4 : 1              | 11,7  | 14,9 | 25,0 | 27,8 | 31,9 | 37,6 | -    | -   | -    |
| 5 : 1              | 16,2  | 20,9 | -    | -    | -    | -    | -    | -   | -    |

Die Rubriken gelten für folgende Objektive:

1 = Rokkor 1,8/35 mm; 2 = Rokkor 2,8/35 mm; 3 = Macro-Rokkor 3,5/50 mm und Rokkor 1,7/55 mm; 4 = Bellows-Rokkore 4/100 mm und 4/135 mm, sowie Rokkor 1,4/58 mm und Tele-Rokkor 1,7/85 mm; 5 = Macro-Rokkor 3,5/100 mm; 6 = Tele-Rokkor 2,5/100 mm; 7 = Tele-Rokkore 3,5/135 mm und 2,8/135 mm; 8 = Tele-Rokkor 3,5/200 mm; 9 = Tele-Rokkor 4,5/200 mm.

#### B) Objektive in umgekehrter Stellung (Retro-Stellung), mit Gravurseite zum Film

| Abbildungsmaßstäbe | Verlängerungsfaktoren für die Belichtungszeit |       |       |      |      |
|--------------------|---|-------|-------|------|------|
|                    | 1   | 2     | 3     | 4    | 5    |
| 1 :1               | -   | -     | 2,9   | 4,0  | 4,3  |
| 1,5:1              | -   | 4,5   | 4,9   | 6,2  | 6,6  |
| 2 :1               | 6,3   | 6,8   | 7,4   | 9,0  | 9,4  |
| 2,5:1              | 9,0   | 9,7   | 10,3  | 12,3 | 12,7 |
| 3 :1               | 12,3  | 13,1  | 13,8  | 16,0 | 16,5 |
| 4 :1               | 20,3  | 21,3  | 22,2  | 25,0 | 25,6 |
| 5 :1               | 30,3  | 31,5  | 32,7  | 36,0 | 36,8 |
| 6 :1               | 42,3  | 43,7  | 45,1  | 49,0 | -    |
| 7 :1               | 56,4  | 58,0  | 59,5  | -    | -    |
| 8 :1               | 72,4  | 74,2  | 75,9  | -    | -    |
| 9 :1               | 90,4  | 92,4  | 94,4  | -    | -    |
| 10 :1              | 110,4   | 112,6 | 114,8 | -    | -    |

Die Rubriken gelten für folgende Objektive:

1 = Rokkor 2,5/28 mm; 2 = Rokkore 3,5/28 mm und 1,8/35 mm; 3 = Rokkor 2,8/35 mm; 4 = Macro-Rokkor 3,5/50 mm und Rokkor 1,7/55 mm; 5 = Rokkor 1,4/58 mm.