

## Abbildungsschärfe I:

### Optik, geometrische Schärfe und Schärfentiefe

#### Schärfentiefe und Blende

Abblenden erhöht die Schärfentiefe und die Berechnungen auf der nächsten Seite erklären das Verhalten wie folgt: Eine größere Blendenzahl vergrößert den Nenner in der Berechnung von  $D_v$  und verringert ihn in der Berechnung von  $D_h$ . Im Ergebnis verringert sich  $D_v$  und  $D_h$  vergrößert sich. Allerdings wächst  $D_h$  stärker als  $D_v$ , so daß der akzeptable scharfe Bereich hinter dem Fokuspunkt überproportional stark zunimmt. Die Tabelle 2 zeigt dies deutlich für einen größeren Blendenbereich.

Warum kleinere Blenden für größere Schärfentiefe sorgen, können wir uns neben der mathematischen Herleitung auch noch auf einem praktischen Weg vergegenwärtigen. Zunächst machen wir uns einmal klar, was die Blendenzahl bedeutet.  $f/5,6$  gibt das Verhältnis zwischen Brennweite  $f$  und Größe der Eintrittspupille an. Bei einem 50 mm

Objektiv beträgt diese freie Öffnung  $50/5,6 = 8,93$  mm, bei einem 100 mm Objektiv  $100/5,6 = 17,86$  mm – richtig, das doppelte des zuvor errechneten Werts. Das muss so sein, weil sich mit der Verdoppelung der Brennweite der Blickwinkel der Optik halbiert und damit auch nur noch halb so viel Licht zur Belichtung zur Verfügung steht. Ganz streng genommen bestimmt also der Blickwinkel des Objektivs über die Blendengröße und in jedem verzerrungsfreien Objektiv ist dieser umgekehrt proportional zur Brennweite. Die Blendengröße wiederum verhält sich umgekehrt proportional zum Blickwinkel. Bei Weitwinkelobjektiven hingegen hängt der Blickwinkel auch von der Bauart ab. 16 mm Optiken gibt es beispielsweise mit 180° Blickwinkel (Vollformat-Fischaugen) oder mit 95° Blickwinkel und die Fischaugen kommen mit einer kleineren Öffnung aus. Bei ihnen ergibt sich die Blendengröße nicht aus einer einfachen umgekehrtproportionalen Funktion. Vielmehr sind komplizierte Winkel-funktionen beteiligt.

Kleine Blendenzahlen stehen für große effektive Öffnungen. Große Blendenzahlen repräsentieren umgekehrt kleine Öffnungen.

Von einer ganzen Stufe zur Nächsten unterscheiden sich die Blendenwerte um den Faktor Wurzel aus 2 (=

**Tabelle 2 Schärfentiefe und Blende**

$f=50$  mm,  $D=10$  mm

Blende	Nahpunkt $D_v$	Fernpunkt $D_h$	Schärfentiefe
1,8	8,2 m	12,7 m	4,5 m
2	8,1 m	13,1 m	5,1 m
2,8	7,5 m	15,0 m	7,5 m
4	6,8 m	19,1 m	12,4 m
5,6	6,0 m	30,2 m	24,2 m
8	5,1 m	223,2 m	218,1 m
11	4,3 m	unendlich	unendlich

Geometrie und Berechnung der Schärfentiefe  
Schärfentiefe und Blende

Berechnung der vorderen und hinteren Grenze der Schärfentiefe (Sv und Sh) für die Kombination f=50 mm, G=5000 mm, f/5,6, z=0,03 mm

$$S_v = \frac{Gf^2}{(f^2 + Nz(G - f))}$$

$$S_v = \frac{5000 * 50^2}{(50^2 + 5,6 * 0,03 * (5000 - 50))}$$

$$S_v = \frac{12500000}{(2500 + 0,168 * 4950)}$$

$$S_v = \frac{12500000}{(2500 + 831,6)}$$

$$S_v = \frac{12500000}{3331,6}$$

$$S_v = 3751,95 \text{ mm} = 3,75 \text{ m}$$

$$S_h = \frac{Gf^2}{(f^2 - Nz(G - f))}$$

$$S_h = \frac{5000 * 50^2}{(50^2 - 5,6 * 0,03 * (5000 - 50))}$$

$$S_h = \frac{12500000}{(2500 - 0,168 * 4950)}$$

$$S_h = \frac{12500000}{(2500 - 831,6)}$$

$$S_h = \frac{12500000}{1668,4}$$

$$S_h = 7492,2 \text{ mm} = 7,49 \text{ m}$$

Berechnung der vorderen und hinteren Grenze der Schärfentiefe (Sv und Sh) für die Kombination f=50 mm, G=5000 mm, f/8, z=0,03 mm

$$S_v = \frac{Gf^2}{(f^2 + Nz(G - f))}$$

$$S_v = \frac{5000 * 50^2}{(50^2 + 8 * 0,03 * (5000 - 50))}$$

$$S_v = \frac{12500000}{(2500 + 0,24 * 4950)}$$

$$S_v = \frac{12500000}{(2500 + 1188)}$$

$$S_v = \frac{12500000}{3688}$$

$$S_v = 3369,37 \text{ mm} = 3,39 \text{ m}$$

$$S_h = \frac{Gf^2}{(f^2 - Nz(G - f))}$$

$$S_h = \frac{5000 * 50^2}{(50^2 - 8 * 0,03 * (5000 - 50))}$$

$$S_h = \frac{12500000}{(2500 - 0,248 * 4950)}$$

$$S_h = \frac{12500000}{(2500 - 1188)}$$

$$S_h = \frac{12500000}{1312}$$

$$S_h = 9527,4 \text{ mm} = 9,53 \text{ m}$$

## Abbildungsschärfe I:

### Optik, geometrische Schärfe und Schärfentiefe

1,4142...), weil wir hier mit einem Flächenmaß arbeiten und die Lichtmenge mit dem Quadrat des Öffnungsdurchmessers wächst. Aus diesem Grund ergibt sich die folgende Reihe der ganzen Blendenwerte, die von Stufe zu Stufe immer halb soviel bzw. doppelt so viel Licht durchlassen:

1,0 1,4 2,0 2,8 4,0 5,6 8 1 16  
22 32 45 ...

Bevor jetzt einer schreit: „Das ist zu ungenau“ gebe ich es lieber gleich zu: In der korrekten Formel steht statt Verhältnis zwischen Brennweite und Pupillengröße in Wirklichkeit Verhältnis zwischen Bildweite und Pupillengröße. Die Bildweite ist nicht gleich der Brennweite, sondern hängt auch von der Gegenstandsweite ab. In der praktischen Photographie kann dieser Unterschied aber vernachlässigt werden,

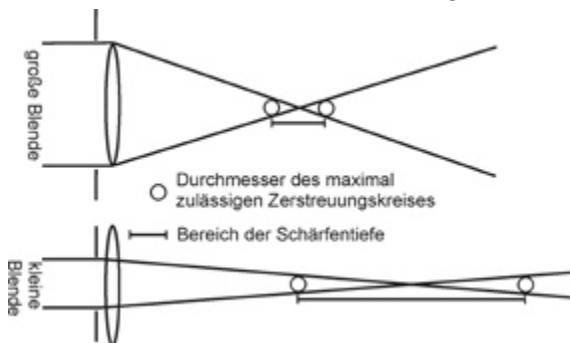


Abb. 28: Blendengröße und Schärfentiefe

denn erst bei extremen Nahaufnahmen weichen die Werte so stark voneinander ab, daß ein Korrekturfaktor für die Belichtung berücksichtigt werden muss. Sofern Sie *TTL*, also durchs Objektiv messen, brauchen Sie sich darum aber nicht zu kümmern, denn die Messelektronik berücksichtigt ihn automatisch. Die Blendengröße, die Sie erkennen, wenn Sie durchs Objektiv schauen oder die Sie messen, wenn Sie die Optik zerlegen, kann sich von dem errechneten Wert unterscheiden. Er wäre korrekt, wenn sich die Blende direkt vor dem Frontelement befinden würde. Sitzt sie aber weiter hinten im Strahlengang, kann sie kleiner ausfallen. In jedem Fall bleibt das Verhältnis zwischen den einzelnen Stufen aber dasselbe.

Nun wissen wir, was Blendenzahl und Blende sind und wenden uns ihrer optischen Bedeutung in der Bildentstehung zu, wie sie in Abb. 28 dargestellt ist. Dort sehen wir, daß die Blende die durch das Objektiv fallende Lichtmenge verringert, indem sie den Strahlengang vom Rand her beschneidet. Eine kleine Blende engt ihn stärker ein als eine große, sie verschlankt ihn quasi. Dadurch sind die Zerstreuungskreise bei selber Entfernung und Fokuseinstellung ebenfalls kleiner und bleiben über einen größeren Bereich vor bzw. hinter der Fokalebene in einem uns

scharf erscheinenden Maß. Die genaue Größe dieses Bereichs hängt natürlich vom Durchmesser des zugrunde gelegten Zerstreungskreises ab. Wenn wir die richtige Blende für einen vorausbestimmten Bereich der Schärfentiefe berechnen wollen, so können wir das mit Formel 15 tun:

**Formel 15**

$$N = \frac{f^2 * (S_h - S_v)}{z * 2 * S_v * S_h}$$

Für den praktischen Fall aus  $f = 50$  mm,  $D_h = 7$  m,  $D_v = 3$  m,  $z = 0,03$  mm ergibt sich:

$$N = \frac{50^2 * (7000 - 3000)}{0,03 * 2 * 3000 * 7000}$$

$$N = \frac{10000000}{1260000} = 7,94$$

Und demzufolge ist unsere gesuchte Blende angenähert  $f/8$ .