

**Ulrich Paasch**

# **MatheMedien** **für Fotograf(inn)en**

**Ergänzungen zur 4. Auflage**

**Verlag Beruf und Schule**

Alle Rechte vorbehalten

© 2006 by Verlag Beruf und Schule, Postfach 2008, 25510 Itzehoe, Germany  
[www.vbus.de](http://www.vbus.de)

**MatheMedien** enthält zahlreiche Sachgebiete und Aufgabenstellungen, die für Auszubildende in den Berufen Fotograf(in) und Fotomedienlaborant(in) von Interesse sind. Sie finden sich insbesondere in den Kapiteln:

- 1 Mathematische Grundlagen
- 3 Bild, Video und Audio
- 7 Messen und Prüfen
- 8 Optik und Fotografie

Das detaillierte Inhaltsverzeichnis von MatheMedien steht auf der Website des Verlags Beruf und Schule ([www.vbus.de](http://www.vbus.de)) zum Download bereit.

Auf den folgenden Seiten finden Sie einige Ergänzungen und Präzisierungen zum Kapitel Optik und Fotografie, ergänzende Übungsaufgaben (Seite 14 ff) sowie die Lösungen dazu (Seite 17 f).

## Ergänzung zu:

### 8.3.2 Blende und Belichtung

Umgekehrt kann natürlich auch jede Veränderung der Belichtungszeit durch eine entsprechende Veränderung der Blendeneinstellung ausgeglichen werden.

**Beispiel 8-23a:** Eine Aufnahme mit Blende 11 wurde 2 s belichtet. Welche Blende ist einzustellen, wenn die Belichtungszeit auf 0,25 s verkürzt wird?

Die ursprüngliche Belichtungszeit wird auf ein Achtel verkürzt, also durch die Zahl  $8 = 2^3$  geteilt. Entsprechend ist die Blende um drei Stufen zu öffnen, es wird also die Blende 4 eingestellt.

Um die Formel für diese Berechnung zu entwickeln, wird die ursprüngliche Verhältnisgleichung nach  $k_2$  aufgelöst:

$$\frac{t_1}{k_1^2} = \frac{t_2}{k_2^2} \quad | \cdot k_1^2 \cdot k_2^2$$

$$t_1 \cdot k_2^2 = t_2 \cdot k_1^2 \quad | : t_1$$

$$k_2^2 = \frac{t_2 \cdot k_1^2}{t_1} \quad | \sqrt{\quad}$$

$$k_2 = \sqrt{\frac{t_2 \cdot k_1^2}{t_1}}$$

$$\text{F8-16a} \quad k_2 = k_1 \cdot \sqrt{\frac{t_2}{t_1}}$$

Durch Einsetzen der Werte aus Beispiel 8-23a ergibt sich dann:

$$k_2 = 11 \cdot \sqrt{\frac{0,25 \text{ s}}{2 \text{ s}}} = 11 \cdot \sqrt{0,125} \approx 11 \cdot 0,3536 \approx 4$$

Belichtungszeiten unter einer Sekunde werden meist als gemeine Brüche angegeben. In der praxisüblichen Belichtungszeitenreihe sind einige Werte gerundet:

1/2 s 1/4 s 1/8 s 1/15 s 1/30 s 1/60 s 1/125 s 1/250 s 1/500 s 1/1000 s

Da jeder Schritt in dieser Reihe für eine Halbierung bzw. Verdoppelung der Belichtungszeit stehen soll, müssten die Teiler Potenzen mit der Basis 2 sein. Die rechnerisch exakte Reihe sieht also so aus:

1/2 s 1/4 s 1/8 s 1/16 s 1/32 s 1/64 s 1/128 s 1/256 s 1/512 s 1/1024 s

Fürs praktische Fotografieren sind diese Unterschiede irrelevant; das Rechnen wird aber durch Verwendung der exakten Bruchteile etwas erleichtert.

**Beispiel 8-23b:** Eine Aufnahme mit Blende 16 wurde 1/32 s belichtet. Welche Blende ist einzustellen, wenn die Belichtungszeit auf 1/128 s verkürzt wird?

$$k_2 = 16 \cdot \sqrt{\frac{1/128 \text{ s}}{1/32 \text{ s}}} = 16 \cdot \sqrt{\frac{32}{128}} = 16 \cdot \sqrt{\frac{1}{4}} = 16 \cdot \frac{1}{2} = 8$$

### 8.3.2a Lichtwert

Im Lichtwert (*Exposure Value*) sind Blende und Belichtungszeit zu einem Wert zusammengefasst. Bei der Blende  $k = 1$  und der Belichtungszeit  $t = 1$  s beträgt der Lichtwert  $EV = 0$ . Jede Erhöhung der Blendenzahl um eine Stufe der Blendenreihe und jede Halbierung der Belichtungszeit erhöht den Lichtwert um den Summanden 1.

Bei „glatten“ Blendenzahlen und Belichtungszeiten lässt sich der Lichtwert mithilfe der folgenden Tabelle ermitteln. Die unter der jeweiligen Blendenzahl bzw. Belichtungszeit in Sekunden stehenden Werte werden abgelesen und addiert.

**Tabelle 8-2: Zur Ermittlung des Lichtwerts**

<i>Blende</i>	1	1,4	2	2,8	4	5,6	8	11	16	22	32	45					
<i>Wert</i>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>					
<i>Bel.zeit s</i>	64	32	16	8	4	2	1	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/64	1/128	1/256	1/512	1/1024
<i>Wert</i>	<b>-6</b>	<b>-5</b>	<b>-4</b>	<b>-3</b>	<b>-2</b>	<b>-1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>

**Beispiel 8-23a:** Blende 8, Belichtungszeit 1/128 s.

Unter der Blendenzahl 8 wird der Wert 6 abgelesen, unter der Belichtungszeit 1/128 s der Wert 7. Lösung:  $EV = 6 + 7 = 13$

Der Lichtwert kann selbstverständlich auch rein rechnerisch, also ohne Tabelle, ermittelt werden.

**Beispiel 8-23b:** Blende 8, Belichtungszeit 1/128 s.

Zunächst die Berechnung in Einzelschritten.

Die Blendenzahl wird quadriert und als Potenz mit der Basis 2 notiert:

$$8^2 = 64 = 2^6$$

Der Kehrwert der Belichtungszeit in Sekunden wird ebenfalls als Potenz mit der Basis 2 notiert:

$$1 : 1/128 = 128 = 2^7$$

Der Lichtwert ist die Summe der Exponenten der beiden Potenzen:

$$EV = 6 + 7 = 13$$

Der Rechenweg als Formel:

$$\text{F8-16b } EV = \log_2 k^2 + \log_2 \frac{1}{t}$$

$$\text{oder: } EV = \log_2 \left( k^2 \cdot \frac{1}{t} \right)$$

Zum Logarithmus vgl. Abschnitt 1.3.4.  $\log_2$  ist der Logarithmus zur Basis 2.

Beispiel:  $\log_2 16 = 4$  (weil  $2^4 = 16$ )

Durch Einsetzen der Werte aus Beispiel 8-23b ergibt sich:

$$EV = \log_2 8^2 + \log_2 \frac{1}{1/128} = \log_2 64 + \log_2 128 = 6 + 7 = 13$$

$$\text{oder: } EV = \log_2 \left( 8^2 \cdot \frac{1}{1/128} \right) = \log_2 (64 \cdot 128) = \log_2 8192 = 13$$

**Beispiel 8-23c:** Blende 2,8, Belichtungszeit 32 s.

Dieses Beispiel verdeutlicht, dass Lichtwerte auch negativ sein können.

Lösung mit Tabelle 8-2: Unter der Blendenzahl 2,8 wird der Wert 3 abgelesen, unter der Belichtungszeit 32 s der Wert -5.  $EV = 3 + (-5) = -2$

Rechenweg in Einzelschritten:

$$2,8^2 \approx 8 = 2^3$$

$$1 : 32 = 1 : 2^5 = 2^{-5}$$

$$3 + (-5) = -2$$

Dasselbe mit Formel F8-16b:

$$EV = \log_2 2,8^2 + \log_2 \frac{1}{32} \approx 3 + (-5) = -2$$

$$\text{oder: } EV = \log_2 \left( 2,8^2 \cdot \frac{1}{32} \right) \approx \log_2 (8 : 32) = \log_2 \frac{1}{4} = -2$$

Übliche Taschenrechner berechnen zwar Logarithmen zur Basis 10 (dekadische Logarithmen), aber keine Logarithmen zur Basis 2 ( $\log_2$ ). Solange es um „glatte“ Blenden- und Belichtungsstufen geht, können die Exponenten ohne große Mühe im Kopf ermittelt werden. In allen anderen Fällen hilft dieser kleine Umweg über den dekadischen Logarithmus ( $\lg$ ):

$$\log_2 x = \lg x : \lg 2$$

Also zum Beispiel:

$$\log_2 128 = \lg 128 : \lg 2 \approx 2.1072 : 0.3010 \approx 7$$

$$\log_2 8192 = \lg 8192 : \lg 2 \approx 3.9134 : 0.3010 \approx 13$$

**Beispiel 8-23d:** Blende 4, Belichtungszeit 0,2 s.

Ein Beispiel mit „krummer“ Belichtungszeit.

$$4^2 = 16 = 2^4$$

$$\log_2 (1 : 0,2) = \lg (1 : 0,2) : \lg 2 = \lg 5 : \lg 2 \approx 0.6990 : 0.3031 \approx 2,3$$

$$EV = 4 + 2,3 = 6,3$$

Gleiche Lichtwerte können für ganz unterschiedliche Kombinationen aus Blendenzahl und Belichtungszeit stehen. Wenn Lichtwert und entweder Blendenzahl oder Belichtungszeit vorgegeben sind, kann der jeweils andere Wert ausgerechnet werden.

**Beispiel 8-23e:** Lichtwert 14, Blende 5,6. Belichtungszeit?

Lösung mit Tabelle 8-2:

Der unter der Blendenzahl 5,6 abgelesene Wert 5 wird vom Lichtwert subtrahiert, also  $14 - 5 = 9$ . Dann wird in der Tabelle über dem Wert 9 die Belichtungszeit  $1/512$  s abgelesen.

Rechnerische Lösung:

Die Blendenzahl wird quadriert und als Potenz mit der Basis 2 notiert:

$$5,6^2 \approx 32 = 2^5$$

Der Exponent der Potenz wird vom Lichtwert subtrahiert:

$$14 - 5 = 9$$

Diese Differenz wird zum Exponenten einer Potenz mit der Basis 2:

$$2^9 = 512$$

Der Kehrwert davon ist die Belichtungszeit in Sekunden:

$$t = (1 : 512) \text{ s} = 1/512 \text{ s}$$

**Beispiel 8-23f:** Lichtwert 14, Belichtungszeit  $1/64$  s. Blendenzahl?

Lösung mit Tabelle 8-2:

Der unter der Belichtungszeit  $1/64$  s abgelesene Wert 6 wird vom Lichtwert subtrahiert, also  $14 - 6 = 8$ . Dann wird in der Tabelle über dem Wert 8 die Blende 16 abgelesen.

Rechnerische Lösung:

Der Kehrwert der Belichtungszeit wird als Potenz mit der Basis 2 notiert:

$$1 : 1/64 = 64 = 2^6$$

Der Exponent wird vom Lichtwert subtrahiert:

$$14 - 6 = 8$$

Diese Differenz wird zum Exponenten einer Potenz mit der Basis 2:

$$2^8 = 256$$

Die Quadratwurzel daraus ist die gesuchte Blendenzahl:

$$k = \sqrt{256} = 16$$

Beide Rechenwege als Formeln:

$$\text{F8-16c} \quad t = \frac{1}{2^{EV - \log_2 k^2}} \text{ s}$$

$$\text{F8-16d} \quad k = \sqrt{2^{EV - \log_2 \frac{1}{t}}}$$

Durch Einsetzen der Werte aus den Beispielen 8-23e und 8-23f ergibt sich:

$$t = \frac{1}{2^{14 - \log_2 5,6^2}} \text{ s} \approx \frac{1}{2^{14-5}} \text{ s} = \frac{1}{2^9} \text{ s} = 1/512 \text{ s}$$

$$k = \sqrt{2^{14 - \log_2 \frac{1}{1/64}}} = \sqrt{2^{14-6}} = \sqrt{2^8} = 16$$

### 8.3.2b Belichtungskorrektur und Filterfaktor

Belichtungs-Korrekturwerte, die an Kameras mit automatischer Belichtungsregelung manuell eingestellt werden, funktionieren nach der Logik des Lichtwerts, allerdings mit umgekehrtem Vorzeichen. Ein Korrekturwert von zum Beispiel +1 bewirkt, dass sich die Belichtungszeit um eine Stufe – also auf das Doppelte – erhöht oder die Blende um eine Stufen geöffnet wird, zum Beispiel von 11 auf 8. Das entspricht aber einer *Verringerung* des Lichtwerts um 1. Beim negativen Korrekturwert gilt dasselbe in umgekehrter Richtung: Mit einem Korrekturwert von –1 wird die Belichtungszeit um eine Stufe – also auf die Hälfte – verringert oder die Blende um eine Stufe geschlossen und damit der Lichtwert um 1 erhöht.

**Beispiel 8-23g:** Die Belichtungsautomatik der Kamera hat Blende 8, Belichtungszeit  $1/256$  s, eingestellt. Welche Veränderungen von Blende bzw. Belichtungszeit ergeben sich bei den Belichtungs-Korrekturwerten +2 und –2, wenn die jeweils andere Größe unverändert bleibt?

Zuerst werden die Korrekturwerte in Faktoren umgewandelt:

$$2^{+2} = 4$$

$$2^{-2} = \frac{1}{2^2} = \frac{1}{4}$$

Die Belichtungszeit wird einfach mit dem jeweiligen Faktor multipliziert.

Belichtungszeit bei Korrekturwert +2 (Blende unverändert):

$$1/256 \text{ s} \cdot 4 = 1/64 \text{ s}$$

Belichtungszeit bei Korrekturwert –2 (Blende unverändert):

$$1/256 \text{ s} \cdot \frac{1}{4} = 1/1024 \text{ s}$$

Die Blendenzahl wird durch die Quadratwurzel des jeweiligen Faktors geteilt.

Blende bei Korrekturwert +2 (Belichtungszeit unverändert):

$$8 : \sqrt{4} = 8 : 2 = 4$$

Blende bei Korrekturwert –2 (Belichtungszeit unverändert):

$$8 : \sqrt{\frac{1}{4}} = 8 : \frac{1}{2} = 16$$

Die erforderliche Verlängerung der Belichtungszeit oder weitere Öffnung der Blende bei der Verwendung von Filtern wird durch den Filterfaktor gekennzeichnet. Hier wird die Belichtungszeit einfach mit dem Faktor multipliziert bzw. die Blendenzahl durch die Quadratwurzel des Faktors dividiert.

**Beispiel 8-23h:** Ein Polarisationsfilter hat den Filterfaktor 4. Wie muss die Belichtungszeit bzw. Blende verändert werden, wenn ohne Filter 1/128 s bei Blende 11 belichtet wurde?

Neue Belichtungszeit (Blende unverändert):

$$1/128 \text{ s} \cdot 4 = 1/32 \text{ s}$$

Neue Blende (Belichtungszeit unverändert):

$$11 : \sqrt{4} \approx 5,6$$

### Ergänzung zu:

### 8.3.3 Bildweite, Abbildungsfaktor und Belichtungszeit

Auf Basis der Belichtungszeit bei „unendlicher“ Gegenstands Entfernung kann die aktuelle Belichtungszeit auch anhand von Bild- oder Gegenstandsweite ermittelt werden.

Da  $a' = f$ , gilt hier die Formel

$$\text{F8-20a} \quad t_1 = t_0 \cdot \left( \frac{a'}{f} \right)^2$$

Durch Umformen der Linsengleichung von Descartes (F8-14) ergibt sich:

$$a' = af : (a - f)$$

Durch Einsetzen in Formel F8-20a ergibt sich dann zunächst:

$$t_1 = t_0 \cdot \left( \frac{af : (a - f)}{f} \right)^2 = t_0 \cdot \left( \frac{af}{(a - f) \cdot f} \right)^2$$

Und schließlich:

$$\text{F8-20b} \quad t_1 = t_0 \cdot \left( \frac{a}{a - f} \right)^2$$

**Beispiel 8-27a:** Bei der Entfernungseinstellung „unendlich“, Brennweite 50 mm, beträgt die Belichtungszeit 1/250 s. Welche Belichtungszeit ist bei der Bildweite 90 mm erforderlich?

$$t_1 = \frac{1}{250} \text{ s} \cdot \left( \frac{90 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} \right)^2 = \frac{1}{250} \text{ s} \cdot 3,24 = \frac{1}{250 : 3,24} \text{ s} \approx \frac{1}{77} \text{ s}$$

**Beispiel 8-27b:** Bei der Entfernungseinstellung „unendlich“, Brennweite 100 mm, beträgt die Belichtungszeit 1/16 s. Welche Belichtungszeit ist bei der Gegenstandsweite 0,5 m erforderlich?

$$t_1 = \frac{1}{16} \text{ s} \cdot \left( \frac{500 \text{ mm}}{500 \text{ mm} - 100 \text{ mm}} \right)^2 = \frac{1}{16} \text{ s} \cdot 1,5625 = \frac{1}{16 : 1,5625} \text{ s} \approx \frac{1}{10} \text{ s}$$

## Ergänzung zu:

### 8.3.4 Schärfentiefe

Formel 8-22 zur Berechnung der Entfernung des hinteren scharf abgebildeten Gegenstandspunkts  $a_h$  ist nur anwendbar, wenn die eingestellte Gegenstands-entfernung  $a$  kleiner ist als die hyperfokale Distanz  $b$ .

Sind  $a$  und  $b$  gleich, so kann keine Division ausgeführt werden, da sich unter dem Bruchstrich  $b - a = 0$  ergibt. Die Division durch Null ist mathematisch nicht definiert! Ist  $a$  größer als  $b$ , so ergibt die Berechnung nach Formel 8-22 eine negative Entfernung, also ein offensichtlich unsinniges Ergebnis.

In beiden Fällen ist gar keine Berechnung nötig: Wenn eingestellte Gegenstands-entfernung und hyperfokale Distanz gleich sind, liegt der hintere scharf abgebildete Gegenstandspunkt im „Unendlichen“. Das ist natürlich erst recht der Fall, wenn die eingestellte Gegenstands-entfernung größer ist als die hyperfokale Distanz. Es gilt also:

$$\mathbf{F\ 8-23a} \quad a_h = \infty \quad \text{für } a \geq b$$

Im Sonderfall  $a = b$  vereinfacht sich die Berechnung der Entfernung des vorderen scharf abgebildeten Gegenstandspunkts  $a_v$  (Formel 8-22).

$$a_v \approx \frac{b \cdot a}{b + a} \quad | \quad a = b$$

$$a_v \approx \frac{b \cdot b}{b + b} = \frac{b \cdot b}{2 \cdot b} = \frac{b}{2}$$

$$\mathbf{F\ 8-22a} \quad a_v \approx b : 2 = a : 2 \quad \text{für } a = b$$

**Beispiel 8-31a:** Entfernungseinstellung auf 7,8 m, hyperfokale Distanz 7,8 m.

Da  $a = b$ , kann  $a_v$  mit Formel 8-22a ausgerechnet werden.

$$a_v \approx 7,8 \text{ m} : 2 = 3,9 \text{ m}$$

$$a_h = \infty \quad (\text{weil } a = b)$$

**Beispiel 8-31b:** Entfernungseinstellung auf 11 m, hyperfokale Distanz 7,8 m.

$$a_v \approx \frac{7,8 \text{ m} \cdot 11 \text{ m}}{7,8 \text{ m} + 11 \text{ m}} \approx 4,56 \text{ m}$$

$$a_h = \infty \quad (\text{weil } a > b)$$

Für Aufnahmen im Nahbereich, also für Gegenstandsweiten unterhalb etwa der zehnfachen Brennweite, sollten anstelle der Näherungsformeln F8-22, F8-23 und F8-27 die folgenden exakten Formeln verwendet werden.

$$\mathbf{F8-22b} \quad a_v = \frac{b \cdot a}{b + a - f}$$

$$\mathbf{F8-23b} \quad a_h = \frac{b \cdot a}{b - a + f}$$

$$\text{F8-27a} \quad k = \frac{f^2}{u} \cdot \frac{a_h - a_v}{2 \cdot a_v \cdot a_h - f \cdot (a_v + a_h)}$$

**Beispiel 8-31c:** Brennweite 50 mm, Entfernungseinstellung auf 100 mm, hyperfokale Distanz 7800 mm.

Exakte Berechnungen mit den Formeln F8-22b und F8-23b:

$$a_v = \frac{7800 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm}}{7800 \text{ mm} + 100 \text{ mm} - 50 \text{ mm}} \approx 99,4 \text{ mm}$$

$$a_h = \frac{7800 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm}}{7800 \text{ mm} - 100 \text{ mm} + 50 \text{ mm}} \approx 100,6 \text{ mm}$$

Angenäherte Ergebnisse mit den Formeln F8-22 und F8-23:

$$a_v \approx \frac{7800 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm}}{7800 \text{ mm} + 100 \text{ mm}} \approx 98,7 \text{ mm}$$

$$a_h \approx \frac{7800 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm}}{7800 \text{ mm} - 100 \text{ mm}} \approx 101,3 \text{ mm}$$

**Beispiel 8-35a:** Brennweite 50 mm, Unschärfekreis-Durchmesser 0,02 mm; welche Blende ist einzustellen, wenn die Schärfentiefe von 150 mm bis 154 mm reichen soll?

Exakte Berechnung mit Formel F8-27a:

$$k = \frac{50^2 \text{ mm}^2}{0,02 \text{ mm}} \cdot \frac{154 \text{ mm} - 150 \text{ mm}}{2 \cdot 150 \text{ mm} \cdot 154 \text{ mm} - 50 \text{ mm} \cdot (150 \text{ mm} + 154 \text{ mm})} \approx 16,1$$

Das mit Näherungsformel F8-27 errechnete Ergebnis weicht um etwas mehr als eine Blendenstufe davon ab:

$$k \approx \frac{50^2 \text{ mm}^2}{0,02 \text{ mm}} \cdot \frac{154 \text{ mm} - 150 \text{ mm}}{2 \cdot 150 \text{ mm} \cdot 154 \text{ mm}} \approx 10,8$$

### 8.3.4a Beugung und förderliche Blende

An der Kante der Blendenöffnung werden Lichtstrahlen gebeugt; sie durchqueren die Blende nicht geradlinig, sondern breiten sich hinter der Blende divergent aus. Durch Überlagerung (Interferenz) der divergierenden Lichtstrahlen entstehen im Bild kleine Beugungsscheibchen aus hellen und dunklen konzentrischen Ringen. Sie sind umso größer, je kleiner die Blendenöffnung (je größer die Blendenzahl) und je länger die Bildweite (je größer der Abbildungsmaßstab) ist. Ihre Größe hängt außerdem von der Wellenlänge des Lichts ab; je größer die Wellenlänge, desto größer sind auch die Beugungsscheibchen.

Für mittlere Wellenlängen um 550 nm kann der Durchmesser der Beugungsscheibchen näherungsweise mit einer dieser Formeln ermittelt werden:

$$d_b \approx \frac{1}{1500} \text{ mm} \cdot k \cdot \frac{a'}{f} \quad d_b \approx \frac{1}{1500} \text{ mm} \cdot k \cdot (V + 1)$$

Solange die Beugungsscheibchen sehr klein sind, treten keine sichtbaren Qualitätsprobleme auf. Zu große Beugungsscheibchen beeinträchtigen aber die Bildschärfe ähnlich wie zu große Unschärfekreise aufgrund mangelnder Schärfentiefe. Mit diesem Problem ist vor allem bei verhältnismäßig großen Maßstäben (langen Bildweiten) zu rechnen. Um übermäßig große Beugungsscheibchen zu vermeiden, darf hier nicht zu stark abgeblendet werden.

Die Blendenzahl, die nicht überschritten werden sollte, wird förderliche Blende genannt. Bei Aufnahmen mit der förderlichen Blende entspricht der Durchmesser der Beugungsscheibchen dem Durchmesser  $u$  der Unschärfekreise, die der Berechnung der Schärfentiefe zugrunde liegen. Die förderliche Blende  $k_f$  wird näherungsweise mit einer dieser Formeln berechnet:

$$\text{F8-27b} \quad k_f \approx \frac{1500/\text{mm} \cdot u \text{ mm} \cdot f}{a'}$$

$$\text{F8-27c} \quad k_f \approx \frac{1500/\text{mm} \cdot u \text{ mm}}{V + 1}$$

**Beispiel 8-35b:** Bildweite  $a' = 200$  mm, Brennweite  $f = 80$  mm, Unschärfekreis-Durchmesser  $u = 0,02$  mm.

$$k_f \approx \frac{1500/\text{mm} \cdot 0,02 \text{ mm} \cdot 80 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} = 12$$

**Beispiel 8-35b:** Maßstab  $V = 3$ , Unschärfekreis-Durchmesser  $u = 0,02$  mm.

$$k_f \approx \frac{1500/\text{mm} \cdot 0,02 \text{ mm}}{3 + 1} = 7,5$$

## Ergänzung zu:

### 8.4.1 Allgemeinempfindlichkeit

Jede Verdopplung des numerischen Empfindlichkeitswerts wird durch die Erhöhung des Lichtwerts um 1 ausgeglichen, jede Halbierung des Empfindlichkeitswerts durch die Verringerung des Lichtwerts um 1.

**Beispiel 8-38b:** Numerische Empfindlichkeit 50, Lichtwert 12. Mit welchem Lichtwert ist bei der numerischen Empfindlichkeit 400 zu belichten?

Division des neuen Empfindlichkeitswerts durch den ursprünglichen; das Ergebnis wird als Potenz mit der Basis 2 notiert.

$$\frac{400}{50} = 8 = 2^3$$

Der Exponent wird zum ursprünglichen Lichtwert addiert:

$$EV = 12 + 3 = 15$$

**Beispiel 8-38c:** Numerische Empfindlichkeit 400, Lichtwert 12. Mit welchem Lichtwert ist bei der numerischen Empfindlichkeit 50 zu belichten?

$$\frac{50}{400} = \frac{1}{8} = 2^{-3}$$

$$EV = 12 + (-3) = 9$$

Jede Erhöhung des logarithmischen Empfindlichkeitswerts um 3 wird durch die Erhöhung des Lichtwerts um 1 ausgeglichen, jede Verringerung des Empfindlichkeitswerts um 3 durch die Verringerung des Lichtwerts um 1.

**Beispiel 8-38d:** Logarithmische Empfindlichkeit 18°, Lichtwert 12. Mit welchem Lichtwert ist bei der Empfindlichkeit 27° zu belichten?

Subtraktion des ursprünglichen Empfindlichkeitswerts vom neuen:

$$27 - 18 = 9$$

Das Ergebnis wird durch 3 dividiert und zum ursprünglichen Lichtwert addiert:

$$9 : 3 + 12 = 3 + 12 = 15$$

**Beispiel 8-38e:** Logarithmische Empfindlichkeit 27°, Lichtwert 12. Mit welchem Lichtwert ist bei der Empfindlichkeit 18° zu belichten?

$$18 - 27 = -9$$

$$(-9) : 3 + 12 = (-3) + 12 = 9$$

Die Rechenwege als Formeln:

$$\text{F8-30a} \quad EV_2 = EV_1 + \log_2 \frac{S_2}{S_1}$$

$$\text{F8-30b} \quad EV_2 = EV_1 + \frac{S_2^\circ - S_1^\circ}{3}$$

## 8.5 Blitz-Leitzahl

Die Leitzahl kennzeichnet die Leistungsfähigkeit von Blitzleuchten. Sie ist das Produkt aus dem Abstand  $a$  der Blitzleuchte vom beleuchteten Objekt in Meter und der Blendenzahl  $k$ , die zur korrekten Belichtung des Films oder Sensors führt. Die Leitzahl bezieht sich auf die maximale Blitzleistung und normalerweise auf die Allgemeinempfindlichkeit ISO 100/21°. Sie wird meist ohne Einheit angegeben; streng genommen hat sie die Einheit Meter, da sie das Produkt aus dimensionsloser Blendenzahl und Strecke in Meter ist.

**Beispiel 8-42:** Das Objekt ist 3,5 m von der Blitzleuchte entfernt; die korrekte Belichtung wird mit Blende 8 (Allgemeinempfindlichkeit ISO 100/21°) erreicht. Leitzahl der Blitzleuchte?

$$3,5 \cdot 8 = 28$$

Mithilfe der Leitzahl lassen sich zwei Fragen beantworten:

- Welche Blendenzahl  $k$  kann bei gegebenem Abstand  $a$  zwischen Blitzleuchte und Objekt höchstens eingestellt werden?
- Wie groß darf der Abstand  $a$  der Blitzleuchte vom Objekt bei gegebener Blendenzahl  $k$  höchstens sein?

**Beispiel 8-43:** Leitzahl 34, Entfernung zum Objekt 6 m. Maximale Blendenzahl?

$$34 : 6 \approx 5,7$$

**Beispiel 8-44:** Leitzahl 34, Blende 11. Maximaler Abstand zum Objekt?

$$34 : 11 \approx 3,1 \text{ m}$$

Die Rechenwege als Formeln:

$$\text{F8-38} \quad LZ \text{ m} = a \text{ m} \cdot k$$

$$\text{F8-39} \quad k = LZ \text{ m} : a \text{ m}$$

$$\text{F8-40} \quad a \text{ m} = LZ \text{ m} : k$$

Die Leitzahl bezieht sich auf eine bestimmte Film- oder Sensorempfindlichkeit; wenn die tatsächlich benutzte Empfindlichkeit davon abweicht, muss also die Leitzahl entsprechend umgerechnet werden. Dasselbe gilt beim Leistungsvergleich von Blitzleuchten, wenn sich die angegebenen Leitzahlen auf unterschiedliche Empfindlichkeiten beziehen. Insbesondere bei kleinen, leistungsschwachen Blitzleuchten beziehen sich die von den Herstellern angegebenen Leitzahlen oft nicht auf ISO100/21°, sondern auf höhere Empfindlichkeiten.

**Beispiel 8-44:** Leitzahl 36 für ISO 400/27°; wie hoch ist die Leitzahl für die Empfindlichkeit ISO 100/21°?

Der numerische Empfindlichkeitswert für die gesuchte Leitzahl wird durch den Wert für die angegebene Leitzahl dividiert:

$$100 : 400 = 0,25$$

Aus dem Divisionsergebnis wird die Quadratwurzel gezogen und mit der angegebenen Leitzahl multipliziert:

$$\sqrt{0,25} \cdot 36 = 0,5 \cdot 36 = 18$$

Der Rechenweg als Formel:

$$\text{F8-41} \quad LZ_2 = LZ_1 \sqrt{\frac{S_2}{S_1}}$$

## Übungsaufgaben (Lösungen ab Seite 17)

### Zu 8.3.2 Blende und Belichtung

1. Bei Blende 16 beträgt die Belichtungszeit  $1/16$  s. Welche Blende ist einzustellen, um die Belichtungszeit auf a)  $1/64$  s b)  $1/256$  s zu verkürzen?
2. Eine Aufnahme mit Blende 8 wurde  $1/4$  s belichtet. Errechnen Sie bitte die Blenden für die Belichtungszeiten a) 1 s b)  $1/16$  s c) 2 s d)  $1/64$  s.

### Zu 8.3.2a Lichtwert

1. Errechnen Sie bitte jeweils den Lichtwert:
  - a) Blende 8, Belichtungszeit  $1/64$  s
  - b) Blende 16, Belichtungszeit  $1/256$  s
  - c) Blende 4, Belichtungszeit 1 s
  - d) Blende 11, Belichtungszeit  $1/4$  s
  - e) Blende 2, Belichtungszeit 64 s
  - f) Blende 5,6, Belichtungszeit 32 s
  - g) Blende 8, Belichtungszeit 3 s
  - h) Blende 16, Belichtungszeit 0,7 s
2. Wie lang ist jeweils die Belichtungszeit?
  - a) Lichtwert 8, Blende 4
  - b) Lichtwert 15, Blende 16
  - c) Lichtwert 1, Blende 2,8
  - d) Lichtwert  $-3$ , Blende 4
3. Ermitteln Sie bitte die Blendenzahlen:
  - a) Lichtwert 14, Belichtungszeit  $1/128$  s
  - b) Lichtwert 9, Belichtungszeit  $1/8$  s
  - c) Lichtwert 6, Belichtungszeit 4 s
  - d) Lichtwert  $-2$ , Belichtungszeit 32 s

### Zu 8.3.2b Belichtungskorrektur und Filterfaktor

1. Errechnen Sie bitte die Belichtungszeiten bei unveränderter Blende.
  - a) Belichtungszeit  $1/256$  s, Korrekturwert +1
  - b) Belichtungszeit  $1/32$  s, Korrekturwert  $-2$
  - c) Belichtungszeit  $1/64$  s, Filterfaktor 3
2. Welche Blende ergibt sich jeweils bei unveränderter Belichtungszeit?
  - a) Blende 11, Korrekturwert +1
  - b) Blende 4, Korrekturwert  $-2$
  - c) Blende 16, Filterfaktor 8

### Zu 8.3.3 Bildweite, Abbildungsfaktor und Belichtungszeit

1. Brennweite 80 mm, Belichtungszeit bei Gegenstandsentsfernung „unendlich“  $1/64$  s. Welche Belichtungszeiten sind in folgenden Fällen erforderlich?
  - a) Abbildungsfaktor 0,5
  - b) Bildweite 200 mm
  - c) Gegenstandsweite 400 mm
2. Wie lang ist jeweils die Belichtungszeit? Brennweite 30 mm, Belichtungszeit bei Gegenstandsentsfernung „unendlich“  $1/8$  s.
  - a) Bildweite 45 mm
  - b) Gegenstandsweite 60 mm
  - c) Bildweite 75 mm
  - d) Gegenstandsweite 33 cm

### Zu 8.3.4 Schärfentiefe

1. In welchen Entfernungen befinden sich jeweils vorderer und hinterer gerade noch ausreichend scharf abgebildeter Gegenstandspunkt, wenn die hyperfokale Distanz 5,4 m beträgt und die Kamera auf die Gegenstandsentsfernung a) 2,5 m b) 5,4 m c) 10 m eingestellt ist?
2. Errechnen Sie bitte die genauen Entfernungen von vorderem und hinterem gerade noch ausreichend scharf abgebildetem Gegenstandspunkt; Brennweite 40 mm, hyperfokale Distanz 7,1 m, Entfernungseinstellung 0,4 m.
3. Brennweite 120 mm, Entfernungseinstellung 300 mm, hyperfokale Distanz 31,8 m; errechnen Sie bitte die Entfernungen von vorderem und hinterem gerade noch ausreichend scharf abgebildetem Gegenstandspunkt sowohl näherungsweise als auch genau.
4. Die Schärfentiefe soll von 470 mm bis 500 mm reichen; Brennweite 40 mm, Unschärfekreis-Durchmesser 0,015 mm. Errechnen Sie die Blende bitte exakt.
5. Die Schärfentiefe soll von 60 cm bis 64 cm reichen. Brennweite 80 mm, Unschärfekreis-Durchmesser 0,02 mm.
  - a) Auf welche Gegenstandsentsfernung ist die Kamera einzustellen?
  - b) Welche Blende ist einzustellen? Bitte sowohl näherungsweise als auch genau ausrechnen.

### Zu 8.3.4a Beugung und förderliche Blende

1. Ermitteln Sie bitte jeweils die förderliche Blende für den Unschärfekreis-Durchmesser 0,02 mm:
  - a) Bildweite 250 mm, Brennweite 50 mm
  - b) Abbildungsfaktor 1,2
  - c) Bildweite 180 mm, Brennweite 100 mm
  - d) Abbildungsfaktor 3
2. Errechnen Sie bitte die förderlichen Blenden für folgende Abbildungsverhältnisse; der Unschärfekreis-Durchmesser beträgt in jedem Fall 0,02 mm.
  - a) 10 : 1
  - b) 1 : 1
  - c) 1 : 10
  - d) 1 : 100

### Zu 8.4.1 Allgemeinempfindlichkeit

1. Für die Empfindlichkeit ISO 100/21° zeigt der Belichtungsmesser den Lichtwert 14 an. Ermitteln Sie bitte die entsprechenden Lichtwerte für
  - a) ISO 50/18°
  - b) ISO 200/24°
  - c) ISO 800/30°
2. Der Lichtwert für ISO 400/27° beträgt 2.  
Wie hoch sind die entsprechenden Lichtwerte für
  - a) ISO 800/30°
  - b) ISO 50/18°?

### Zu 8.5 Blitz-Leitzahl

1. Welche Leitzahl muss die Blitzleuchte mindestens haben, wenn beim Fotografieren eines 7,5 m weit entfernten Gegenstands nicht weiter als bis zur Blende 5,6 aufgeblendet werden soll?
2. Welche Blendenzahl kann höchstens eingestellt werden?
  - a) Leitzahl 36, Entfernung zum Objekt 9 m
  - b) Leitzahl 12, Entfernung 3,5 m
  - c) Leitzahl 28, Entfernung 5 m
3. Bis zu welcher Entfernung werden die Objekte ausreichend beleuchtet?
  - a) Leitzahl 23, Blende 4
  - b) Leitzahl 48, Blende 11
  - c) Leitzahl 15, Blende 5,6
4. Für eine Blitzleuchte ist die Leitzahl 42 bezogen auf ISO 100/21° angegeben. Wie hoch ist die entsprechende Leitzahl für
  - a) ISO 400/27°
  - b) ISO 50/18°?

## Lösungen

### Zu 8.3.2 Blende und Belichtung

1. a) 8  
b) 4
2. a) 16  
b) 4  
c) 22  
d) 2

### Zu 8.3.2a Lichtwert

1. a) 12  
b) 16  
c) 4  
d) 9  
e) -4  
f) 0  
g) 7,58  
h) 7,49
2. a)  $1/16$  s  
b)  $1/128$  s  
c) 4 s  
d) 128 s
3. a) 5,6  
b) 11  
c) 16  
d) 2,8

### Zu 8.3.2b Belichtungskorrektur und Filterfaktor

1. a)  $1/128$  s  
b)  $1/128$  s  
c)  $1/21$  s
2. a) 8  
b) 8  
c) 5,6

### Zu 8.3.3 Bildweite, Abbildungsfaktor und Belichtungszeit

1. a) 1/28 s  
b) 1/10 s  
c) 1/41 s
2. a) 1/3,6 s  
b) 1/2 s  
c) 1/1,3 s  
d) 1/6,6 s

### Zu 8.3.4 Schärfentiefe

1. a)  $\alpha_v = 1,71 \text{ m}$  (Formel 8-22)     $\alpha_h = 4,66 \text{ m}$  (Formel 8-23)  
b)  $\alpha_v = 2,70 \text{ m}$  (Formel 8-22a)     $\alpha_h = \infty$  (Formel 8-23a)  
c)  $\alpha_v = 3,51 \text{ m}$  (Formel 8-22)     $\alpha_h = \infty$  (Formel 8-23a)
2.  $\alpha_v = 380,7 \text{ mm}$  (Formel 8-22b)     $\alpha_h = 421,4 \text{ mm}$  (Formel 8-23b)
3.  $\alpha_v = 297,2 \text{ mm}$  (Formel 8-22)     $\alpha_h = 302,9 \text{ mm}$  (Formel 8-23)  
 $\alpha_v = 298,3 \text{ mm}$  (Formel 8-22b)     $\alpha_h = 301,7 \text{ mm}$  (Formel 8-23b)
4. 7,4 (Formel 8-27a)
5. a) 61,9 cm  
b) 16,7 (Formel 8-27)    19,1 (Formel 8-27a)

### Zu 8.3.4a Beugung und förderliche Blende

1. a) 6  
b) 13,6  
c) 16,7  
d) 7,5
2. a) 2,7  
b) 15  
c) 27,3  
d) 29,7

### Zu 8.4.1 Allgemeinempfindlichkeit

1. a) 13  
b) 15  
c) 17
2. a) 3  
b) -1

### Zu 8.5 Blitz-Leitzahl

1. 42
2. a) 4  
b) 3,4  
c) 5,6
3. a) 5,75 m  
b) 4,36 m  
c) 2,68 m
4. a) 84  
b) 29,7