

Schärfe und Schärfentiefe bei der e-1

Klaus Schröder
Nov 2003

Im August 2002 habe ich einen Artikel veröffentlicht, der sich mit dem Problem der Schärfe und der Schärfentiefe bei den e-10 und e-20 Kameras befasst. Auf dieser Grundlage ist dieser überarbeitete Artikel für die e-1 entstanden. Berücksichtigt habe ich dabei den größeren Zerstreuungskreisdurchmesser, der sich aufgrund des größeren CCD Chips mit einer Diagonalen von 22 mm ergibt.

1. Schärfentiefe

Das menschliche Auge kann im Schnitt Punkte auflösen, die maximal 137 Bogensekunden auseinanderliegen. Dieser Wert wurde empirisch gefunden und wird in allen Schärfetiefenrechner und Tabellen verwendet. Darunter sieht das Auge sie als einen Punkt. Aus dieser Angabe ergibt sich, dass der Zerstreuungskreisdurchmesser z maximal 1/1500tel der Bilddiagonalen betragen darf, damit er als einzelner Punkt noch dargestellt werden kann.

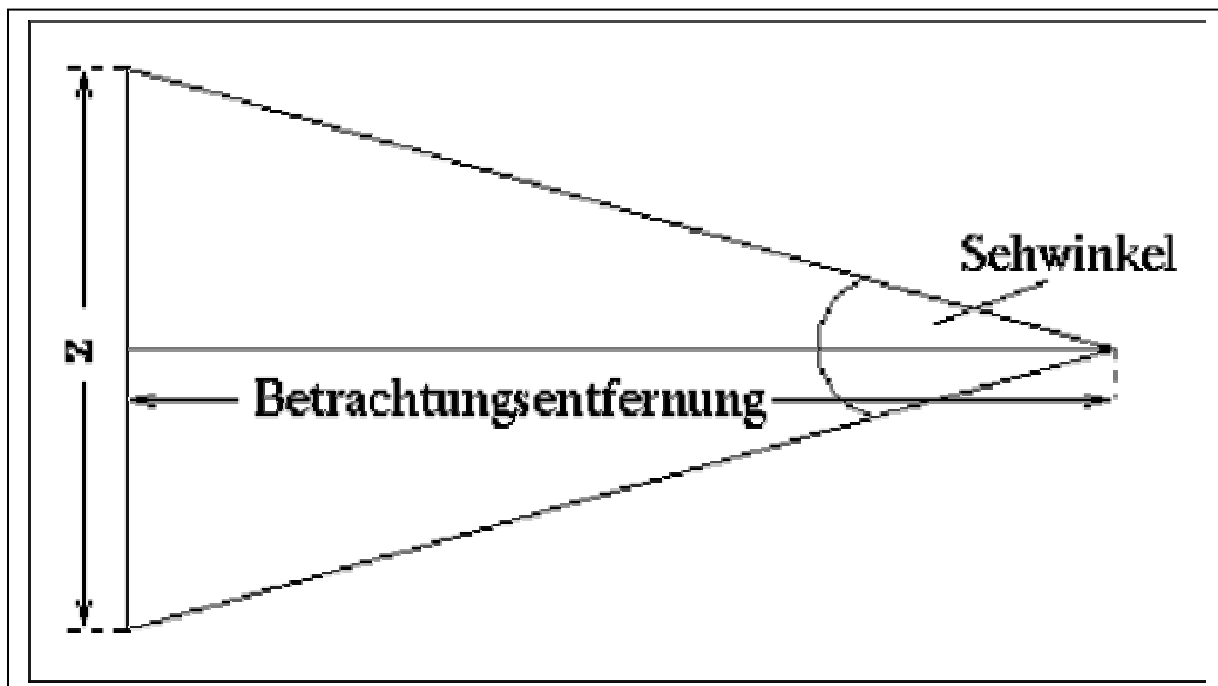


Abb.1 Sehwinkel, Betrachtungsentfernung, Zerstreuungskreisdurchmesser z

Dieser Wert ergibt sich aus

$$\tan(\alpha/2) = z/2 \times \text{Betrachtungsentfernung} \text{ mit } \alpha = 137 \text{ Bogensekunden}$$

Unter dem Zerstreuungskreis mit dem Durchmesser z wird eine Scheibe verstanden, die vor und hinter der Bildebene entsteht, wenn ein Gegenstandspunkt genau scharf in der Bildebene abgebildet wird. (2 Kegel mit Spitzen in der Bildebene)

Kennt man nun den maximalen Zerstreuungskreisdurchmesser, kann man mittels einfacher Linsengesetze den jeweiligen Fern- und Nahpunkt berechnen, bei dem der Zerstreuungskreisdurchmesser obigen Wert von $1/1500$ der Bilddiagonalen nicht überschreitet und damit ein Bild als „scharf“ wahrgenommen wird.

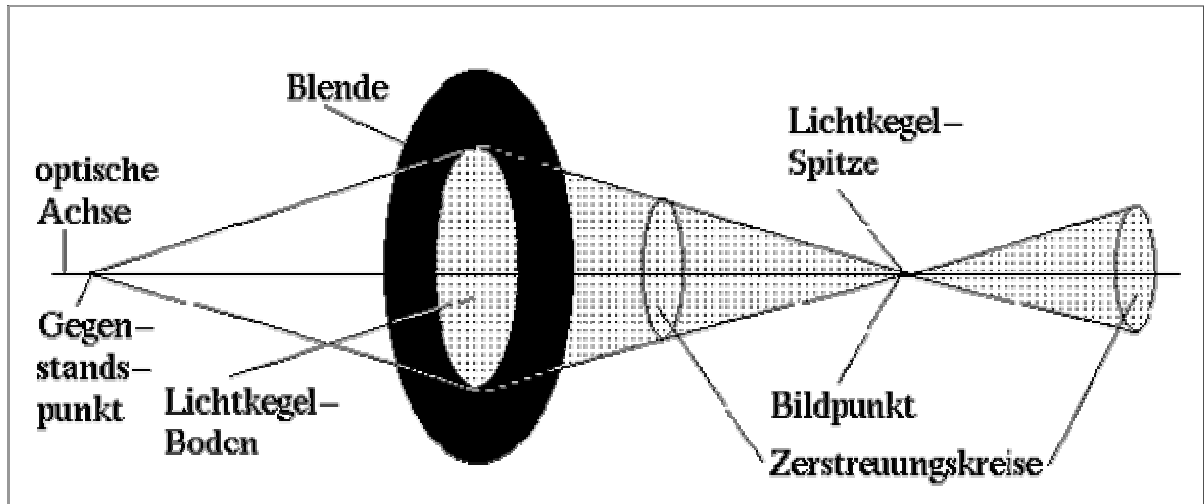


Abb.2. Zerstreuungskreise, jeweils vor und hinter der Bildebene

Als Schärfentiefe wird nun der Bereich benannt, innerhalb dessen Bildpunkte auf dem CCD so abgebildet werden, dass ihr Zerstreuungskreisdurchmesser nicht größer wird als $1/1500$ tel der Bilddiagonale. Die folgende Abbildung verdeutlicht dies.

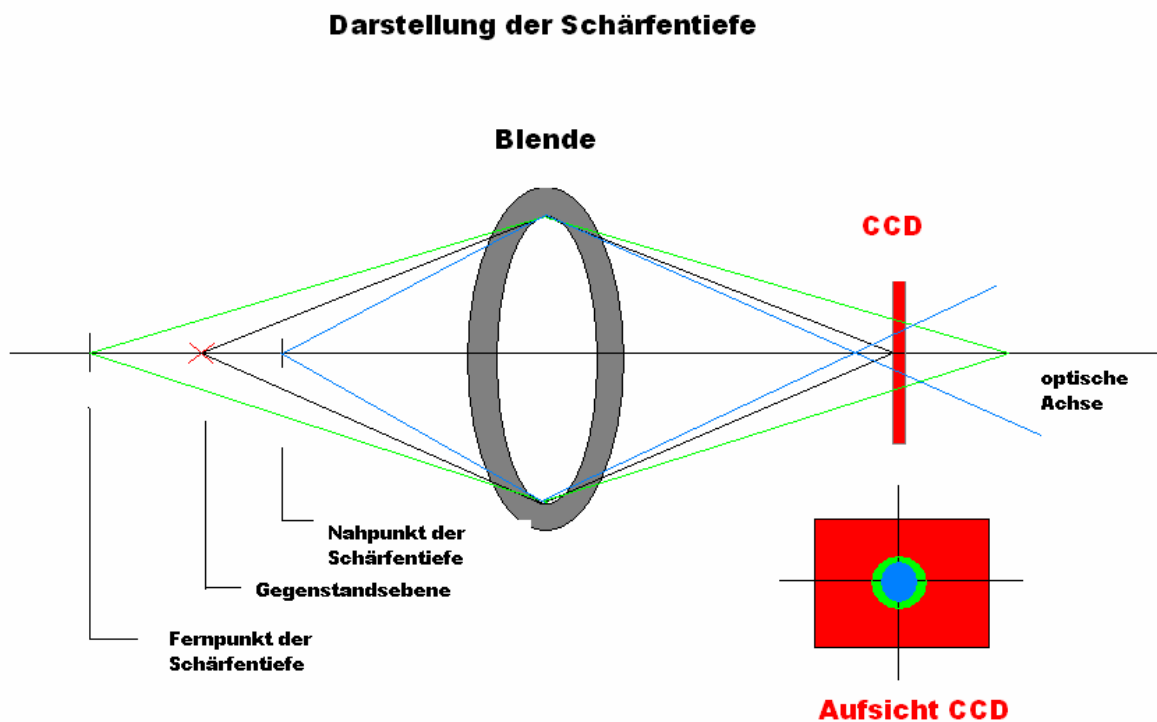


Abb.3 Darstellung der Schärfentiefe

Abbildung 3 zeigt die geometrische Darstellung der Schärfentiefe: Ein Punkt in der Gegenstandsebene wird als Punkt in der Bildebene, also auf dem CCD chip abgebildet. Die Gegenstandsebene ist also korrekt fokussiert. Als Fernpunkt der Schärfentiefe wird nun die Ebene definiert, bei der ein Punkt so abgebildet wird, dass sein Zerstreuungskreisdurchmesser auf dem CCD nicht größer wird als 1/1500tel der Bilddiagonale. Die korrekte (fokussierte) Abbildungsebene für diesen Punkt liegt vor dem CCD. Entsprechend verhält es sich mit dem Nahpunkt der Schärfentiefe, nur liegt hier die fokussierte Abbildungsebene hinter dem CCD. Man erkennt klar aus dieser Geometrie, was passieren würde, wenn man die Blende schließt (d.h. zu größeren Blendenzahlen geht): da sich an den Fokuspunkten nichts ändert, verlaufen die Strahlengänge flacher an der optischen Achse und die Zerstreuungskreisdurchmesser werden kleiner, die Schärfe nimmt zu.

1.1. Benennungen

Es seien

x= Multiplikatorzeichen

g= Gegenstandsweite, besser bekannt als Entfernung

f= Brennweite

k= Blendenzahl

z= Zerstreuungskreisdurchmesser

1.2 Nahpunkt der Schärfentiefe

Der Nahpunkt der Schärfentiefe lässt sich über die Linsengesetze herleiten zu

$$g_{nah} = \frac{f \cdot x \cdot g}{f \cdot x + k \cdot z \cdot (g - f)}$$

1.3 Fernpunkt der Schärfentiefe

$$g_{fern} = \frac{f \cdot x \cdot g}{f \cdot x - k \cdot z \cdot (g - f)}$$

1.4 Schärfentiefe T

Daraus leitet sich dann die Schärfentiefe T ab als $T = g_{fern} - g_{nah}$ oder eingesetzt

$$T = 2 \cdot x \cdot k \cdot z \cdot \frac{g \cdot x \cdot (g - f)}{f \cdot x - (k \cdot z \cdot (g - f)) \cdot (k \cdot z \cdot (g - f))}$$

Mit obiger Angabe des Zerstreungskreisdurchmessers als maximal 1/1500tel der Bilddiagonale und einer Bilddiagonalen von 22 mm bei der e-1 ergibt sich für den Zerstreungskreisdurchmesser z ein Wert von 0,0147 mm. Bei Kleinbildkameras liegt dieser Wert wegen der Bilddiagonalen von 43 mm bei rund 0,029 und ist damit (exakt über den Umrechnungsfaktor von 2 wie tatsächliche Brennweite zu KB-Brennweite größer. Eine Mittelformat (6x6 cm) Kamera würde demnach Zerstreungskreise von 0,057 mm besitzen.

Wie groß anschließend, sei es vom KB oder vom 6x6 Dia oder vom CCD vergrößert wird, spielt keine Rolle mehr, weil der Betrachtungsabstand proportional mit dem Vergrößerungsfaktor wächst. Dies ist der Vorteil der Angabe des Zerstreungskreisdurchmessers in Einheiten der Bilddiagonalen.

Es lässt sich aus obiger Formel für die Schärfentiefe folgendes ableiten

- **Die Schärfentiefe nimmt bei langen Brennweiten stark ab, weil die Brennweite im Quadrat im Nenner steht und bei großen Nennern der Bruch (= die Schärfentiefe) klein wird. Bei sonst gleichbleibenden Parametern wächst der Nenner mit zunehmender Brennweite stärker als der Zähler. Umgekehrt gilt: Je kürzer die Brennweite, desto größer ist die Schärfentiefe.**
- **Mit zunehmender Gegenstandsweite nimmt die Schärfentiefe zu. Mit wachsender Gegenstandsweite vergrößert sich der Zähler und der Nenner hingegen verkleinert sich.**
- **Je größer die Blendenzahl, desto größer ist die Schärfentiefe. Auf der einen Seite wächst der Zähler und zum anderen verringert sich der Nenner.**

2. Beispiele

Ein Objekt befindet sich 1000 mm vor der Kamera. Wir nehmen einmal eine Zoomeinstellung von f=54 mm und dann die Weitwinklereinstellung von f=14 mm und jeweils Blende 3,5 und dann 22

Brennweite	Blende	Fernpunkt mm	Nahpunkt mm	Schärfentiefe mm
54 mm	3,5	1017	984	33
54 mm	22	1117	905	212
14 mm	3,5	1349	794	555
14 mm	22	unendlich	381	k.A.

Man erkennt deutlich, dass im Nahbereich mit Zoom die Schärfentiefe sehr gering ist und praktisch bei offener Blende (kleinen Blendenwerten) nur 15 mm nach vorne und hinten beträgt.

3. Vergleich mit Kleinbild

Natürlich hat man schon oft gehört, dass Digicams eine größere Schärfentiefe besitzen als 35 mm Kleinbildkameras. Ich habe deshalb in obige Formeln mal die entsprechenden Werte für eine KB-Kamera eingegeben, jeweils für die äquivalenten Werte der Brennweite. Das Ergebnis überrascht nicht:

Brennweite KB Äquivalent	Blende	Olympus e-1			Kleinbild 35 mm		
		Fernpunkt mm	Nahpunkt mm	Schärfentiefe mm	Fernpunkt mm	Nahpunkt mm	Schärfentiefe mm
108 mm	3,5	1017	984	33	1008	992	16
108 mm	22	1117	905	212	1051	953	98
28 mm	2,8	1261	828	433	1144	888	256
28 mm	22	unendlich	381	k.A.	4784	558	4226

Die Schärfentiefe der e-1 ist also rund doppelt so gross wie die von 35 mm KB Kameras. Man kann es auch anders sehen: mit Digitalkameras ist es schwieriger, gezielt Unschärfe- z.B. bei Portraitaufnahmen- einzusetzen. Dies ist mit e-10 und e-20 schwieriger als mit der e-1. Will man mit der e-1 gezielt Unschärfe bei Portraits erzeugen, sollte man zu langer Brennweite und offener Blende greifen. Das war auch schon bei Kleinbild so, nur ist bei unserer e-1 der Effekt nicht so stark.

4. Zusammenfassung

Der wegen des kleinen CCDs kleine Zerstreuungskreisdurchmesser führt zu höherer Schärfentiefe der e-1 im Vergleich zu Kleinbild. Dabei ist die erzielbare Schärfentiefe jedoch geringer als bei der e-10/e-20. Portraits mit gezieltem Einsatz der Hintergrundunschärfe sind daher mit der e-1 leichter zu erstellen.

5. Schärfentieferechner

Ein Excel Arbeitsblatt für die e-1 kann beim Autor angefragt werden.

Der Autor kann erreicht werden unter:
Klaus.schraeder@t-online.de