

Beugungsunschärfe bei kleinen Blenden, Ja oder Nein, und wenn Ja, warum nicht ?

Von Dipl.-Phys. Ulrich Stute

Vorwort

In vielen fotografischen Publikationen. Fotozeitschriften usw. wird vor der Nutzung kleiner Blenden wegen angeblicher Unschärfe gewarnt. Mir scheint, dass hier, ohne weitere tiefere Auseinandersetzung mit dem Thema, viel voneinander abgeschrieben wird.

Im Zeitalter, in dem sich Kontinentalverschiebungen von mm/Jahr feststellen lassen, sind mit hinreichender Messtechnik auch winzige Lichtbeugungen messbar. Die Frage ist jedoch für den Fotografen:

„Was ist davon auf meinen Fotos sichtbar und merkbar?“

Unabhängig vom Ergebnis der Fragestellung möchte ich hier zwei Zitate voranstellen, denen ich aus voller Überzeugung zustimme, auch wenn einem durch viele Foto-Publikationen das Gegenteil suggeriert wird:

„Bei großartiger Fotografie geht es um Gefühlstiefe, nicht um Schärfentiefe“

(John Dooley, Fotograf)

Der Fotograf Andreas Feiniger, Sohn des Malers Lyonel Feininger meint:

**„Die Tatsache,
dass eine technisch fehlerhafte Fotografie
gefühlsmäßig wirksamer sein kann
als ein technisch fehlerloses Bild,
wird auf jene schockierend wirken,
die naiv genug sind, zu glauben,
dass technische Perfektion
den wahren Wert eines Fotos ausmacht!“**

Insofern wird meines Erachtens die Problemstellung schon einmal sinnvoll relativiert. Ungeachtet dessen ist man als Fotograf natürlich trotzdem bemüht, seine fotografischen Intentionen auch technisch gekonnt zu realisieren.

Daher bin ich der Fragestellung des Titels sowohl theoretisch als auch praktisch nachgegangen.

Theorie

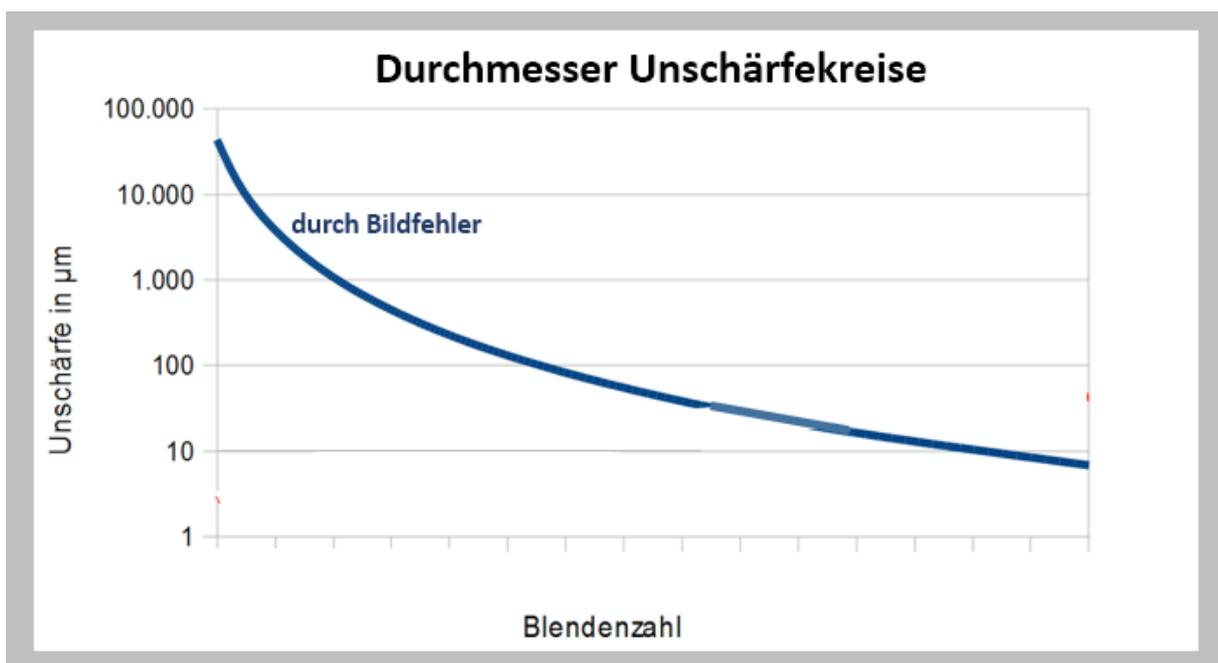
Trotz aller Bemühungen der Objektiv-Hersteller mit unterschiedlichen Linsen, Linsenformen, unterschiedlichen Brechungsindizes bleiben aufgrund physikalischer Phänomene Reste optischer Bildfehler bestehen.

Zur weiteren Eindämmung der verbleibenden Fehler empfiehlt z. B. Canon in seinen Publikationen (Canon Lens Book) für die Fotografen die Verwendung kleinerer Blenden und skizziert in ihrer folgenden Tabelle die Wirkungsweisen auf verschiedene Fehler:

Tabelle 2 Zusammenhang zwischen Blende und Abweichung

Ursache eines Bildqualitätsverlusts	Betroffene Bereiche der Mattscheibe	Verbesserung durch kleinere Blende
Axiale Farbabweichung	Mitte und Kanten	Leichte Wirkung
Vergrößerungsfarbabweichung	Kanten	Keine Wirkung
Sphärische Aberration	Mitte und Kanten	Wirkung vorhanden
Koma	Kanten	Wirkung vorhanden
Astigmatismus	Kanten	Leichte Wirkung
Bildfeldwölbung	Kanten	Leichte Wirkung
Verzeichnung	Kanten	Keine Wirkung
Geisterbilder/Gegenlichtreflexe	Mitte und Kanten	Keine Wirkung
Nachlassen der peripheren Beleuchtung	Kanten	Wirkung vorhanden

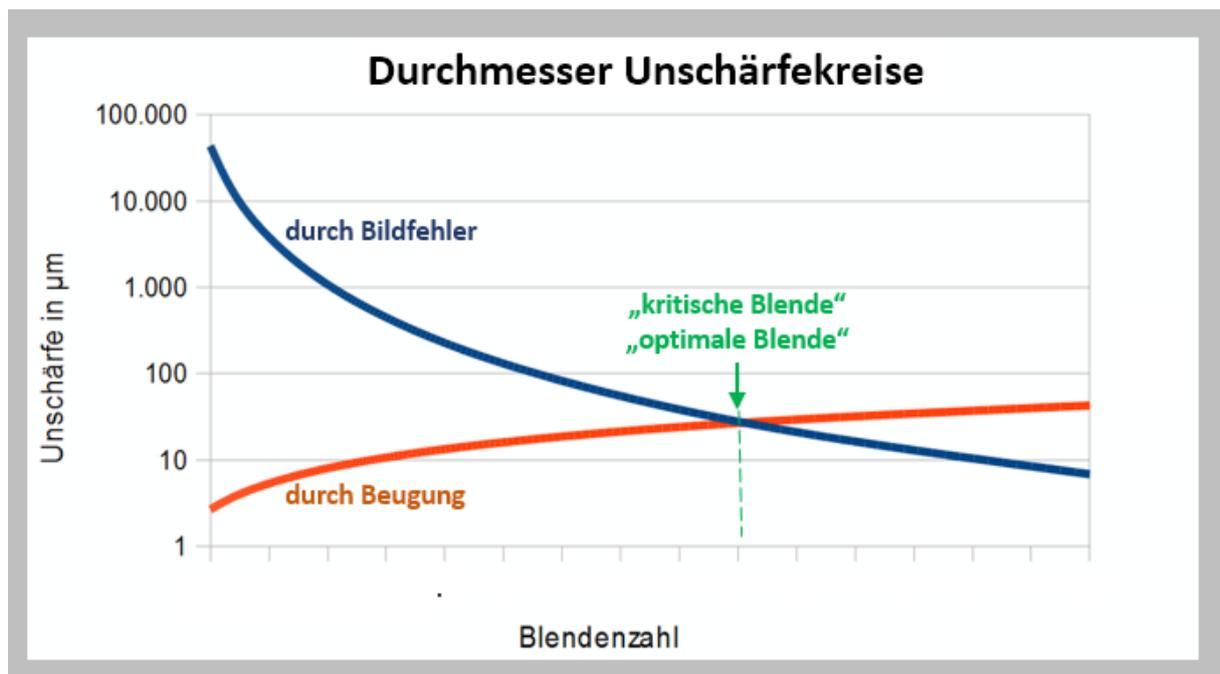
Die Wirkung des Abblendens auf die Schärfe ist besonders bezüglich des Unschärfekreises des Abbildes erheblich, wie man an folgender Grafik (Quelle Wikipedia) erkennen kann, wo der Unschärfekreis [μm] logarithmisch(!) gegen die Blendenstufen aufgetragen ist. Die genauen Werte sind natürlich objektivabhängig.



Dies ist zunächst für eine optimale Schärfentiefe ein starkes Argument zur Nutzung auch sehr kleiner Blenden.

Allerdings lässt sich auch hier die Physik nicht unterdrücken, und die besagt, dass Beugung immer auftritt, wenn Wellen auf Hindernisse stoßen, also auch hier bei kleinen Blenden. (Das gilt aber auch notabene bei größeren Blenden.)

Trägt man auch die Beugungsunschärfe in Abhängigkeit der Blendenstufen in obige Grafik ein ergibt sich folgendes Bild (Quelle: Wikipedia):



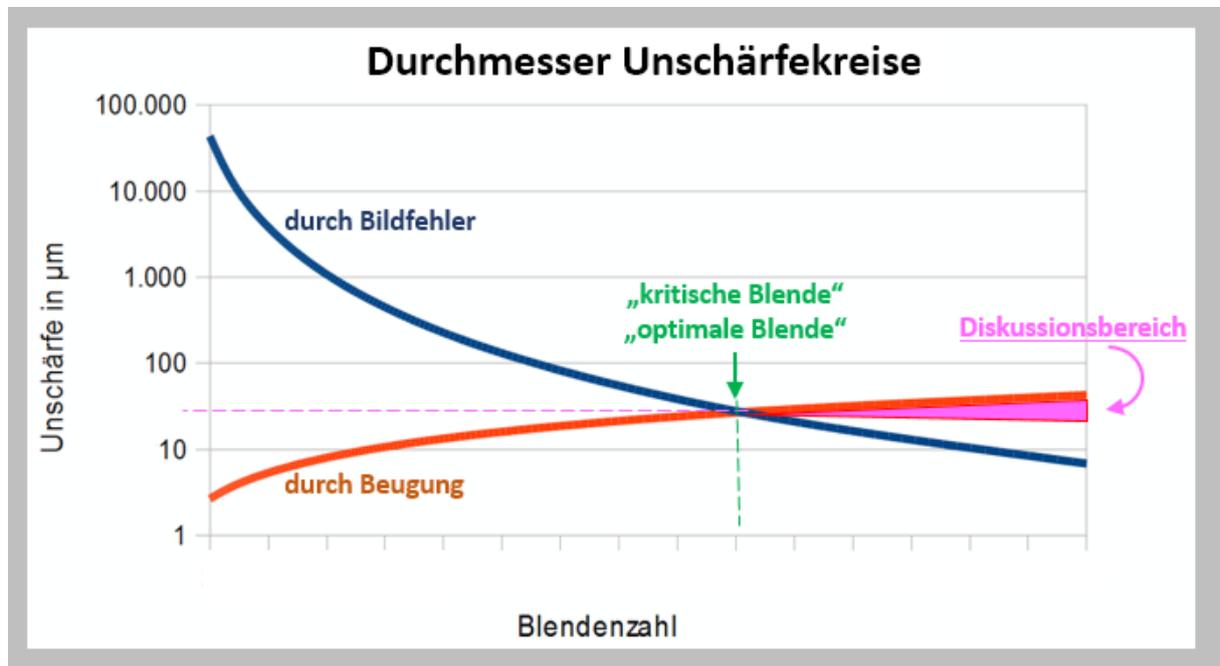
An dieser Grafik ist Folgendes zu erkennen:

1. Die Unschärfe wegen Bildfehler nimmt mit kleiner werdenden Blenden erheblich ab.
2. Die Zunahme der Unschärfe durch die Beugung ist aber geringer als die Abnahme der Bildfehler.
3. Beide Kurven schneiden sich in einem Punkt.

Dieser Schnittpunkt ist interessant, denn davor und dahinter ist die Unschärfe größer. Er ist also der Punkt, sprich die Blende, mit physikalisch maximal erreichbarer Schärfentiefe! Der genaue Blendenwert ist objektivabhängig.

Also müsste man folgern: Kleinere Blenden als die "optimale Blende" führen zwangsläufig zu Unschärfe auf dem Foto und man sollte sie daher vermeiden. Das ist auch die Behauptung, die sich in vielen Fotozeitschriften etc. lesen lässt. Hin zur anderen Richtung der großen Blenden wird dann aber die weitaus größere Unschärfe als Bouquet gepriesen.

Sehen wir uns jedoch die Grafik genauer an und untersuchen unseren „Diskussionsbereich“ genauer, das ist der Bereich jenseits der „optimalen Blende“ hin zu kleineren Blenden.



Hier stellt sich die Frage:

„ist die relativ kleiner werdende Unschärfe im Vergleich zur optimalen Blende nur messtechnisch nachweisbar oder ist sie auch wirklich auf dem Foto merkbar, sprich zu SEHEN?“

Eine erste Antwort darauf liefert wieder die Physik, die besagt:

„Beugung tritt immer auf, wenn Wellen auf Hindernisse stoßen“

Aber:

„Beugungseffekte sind aber nur dann merkbar (!), wenn die Größen der geometrischen Strukturen in der Größenordnung der Wellenlänge liegen.“

Außerdem sind die Effekte im Nahfeld des Hindernisses noch nicht so ausgeprägt.

Diese Aussagen lassen sich in unserem Fall wunderbar überprüfen:

Dazu benötigen wir nur 2 Gleichungen:

- Die Definition der Blendenzahl:

$$\text{Blendenzahl} = \frac{\text{Brennweite } f \text{ [mm]}}{\text{Öffnungsquerschnitt der Blende } d \text{ [mm]}}$$

Daraus ergibt sich

$$\text{Öffnungsquerschnitt der Blende } d \text{ [mm]} = \frac{\text{Brennweite } f \text{ [mm]}}{\text{Blendenzahl}}$$

- Die dimensionslose Fresnel-Zahl N_F , sie gibt an, wie stark eine Beugung eines Lichtstrahls beim Durchgang durch eine Blende ist. Mit

d = Blendendurchmesser,

λ = Wellenlänge des Lichts und

f = Brennweite der Optik,

Ist sie wie folgt definiert:

$$N_F = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2}{\lambda \cdot f}$$

Für das Fernfeld der Beugung gilt: $N_F \ll 1$

Zur Überprüfung nehmen wir das für die Beugung am stärksten betroffene langwellige sichtbare Licht, also Rot, bei einer

Wellenlänge von $700 \text{ nm} = 7 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$

Damit ergeben sich z. B. folgende Werte für 2 angenommene Fälle

- Brennweite = 50 mm, Blende 22**, Daraus folgt:

$$\text{Öffnungsquerschnitt } d \text{ [mm]} = \frac{50 \text{ mm}}{22} = \mathbf{2,27 \text{ mm}},$$

$$N_F = \mathbf{36,8}$$

- Brennweite = 400 mm, Blende 40**, Daraus folgt:

$$\text{Öffnungsquerschnitt } d \text{ [mm]} = \frac{400 \text{ mm}}{40} = \mathbf{10,0 \text{ mm}},$$

$$N_F = \mathbf{89,29}$$

Theoretisches Ergebnis:

- Wir befinden uns im **Nahfeld** ($N_F \gg 1$), wo die Beugung noch nicht so ausgeprägt ist.
- Der Blendendurchmesser liegt im Bereich von mm und ist damit um **4 Größenordnungen größer als die Lichtwellenlänge**.
- Damit sollten sichtbare Beugungseffekte auszuschließen sein.**

Praxis

Das obige theoretische Ergebnis bedarf noch der praktischen Bestätigung.

Dazu wurde als Motivvorlage ein Notenblatt (L.v.Beethoven, "Mondscheinsonate") genommen, weil bei einem reinen schwarz-weiß Motiv -- aber als Farbaufnahme aufgenommen-- Beugungseffekte und Unschärfen am besten festzustellen sind.

Die erste Seite des Notenblatts wurde mit einer Canon 6D Mark II und

1. dem Objektiv Canon EF 24-105 mm, 1:4 L IS II USM bei einer Brennweite von 50 mm und der Blende 22 und Blitz und
2. dem Objektiv Canon EF 100-400 m, 1:4,5-5,6 LIS II USM bei einer Brennweite von 400 mm und der Blende 40 und Blitz aufgenommen.

Aus beiden Aufnahmen wurde dann jeweils ein Teil des Taktes 5 und 6 von der Größe 812 x 812 Pixel bzw. 692 x 692 Pixel aus dem Foto der Seite herauskopiert.

Hier sind die entsprechenden Kopien in Noten-Originalgröße

Blende 22:



Blende 40:



Bei einer 100 % Vergrößerung, d.h. ein Pixel des Fotos entspricht einem Pixel des Bildschirms erhält man Folgendes:

Blende 40:



Praktisches Ergebnis:

Weder bei Blende 22 noch bei Blende 40 lassen sich auch nur Ansätze von Beugung oder Unschärfe erkennen.

Die Physik hat wieder mal Recht behalten und zeigt sowohl theoretisch wie praktisch, dass „sichtbare Beugungseffekte“ bei kleinen Blenden nicht merkbar sind, da die Blendendurchmesser 4 bis 5 Größenordnungen größer als die Wellenlängen sind.