

Berechnung der Schärfentiefe bis in den Makrobereich

**ohne und mit der Verwendung
von Zwischenringen und Nahlinsen**

insbesondere für das Objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 60mm 1:2.8 Macro

und

**Ermittlung passender
Focus-Bracketing/Stacking Einstellwerte,
„Focus-Steps“ für Olympus-Capture und Makroschlitten**

für Aufnahmeserien zum Stacken von Fotos

und

als Grundlage für den

Makro-ST-Rechner

von Gerhard Rohde, 2015, **Version 1.2.1**

Dokumenthistorie

Wesentliche Änderungen gegenüber Version 1.2 dieses Dokuments:

- Abschnitten 2.6:
 - Anpassung der Daten und Koeffizienten für die Formel zur Ermittlung der Schrittweite für die Capture-Steps
- Abschnitt 2.8:
 - Anpassung der Beschreibung zur Vorgehensweise bei der Ermittlung der Fokusunterschiede und der Zahl der Aufnahmen.
 - Geänderte bzw. neue Diagramme.

Wesentliche Änderungen gegenüber Version 1.1 dieses Dokuments:

- Abschnitt 2.8 zum Fokusbracketing neu eingefügt

Inhalt

1	Motivation	4
2	Berechnungsformeln	5
2.1	Optische Basisformeln für Linsen/Objektive	5
2.2	Anpassung der Formeln bei Verwendung von Zwischenringen und Vorsatzachromaten	7
2.2.1	Verwendung von Zwischenringen	7
2.2.2	Verwendung von Nahlinsen/Vorsatzachromaten	8
2.3	Bestimmung der Hauptebenen eines Objektivs	9
2.3.1	Lage der bildseitigen Hauptebene H'	9
2.3.2	Lage der gegenstandsseitigen Hauptebene H	10
2.4	Berechnung der „Förderlichen Blende“	11
2.5	Optische Werte des M.Zuiko ED 60mm 1:2.8 Macro	12
2.5.1	Ermittlung der Abbildungsmaßstäbe in Abhängigkeit der Entfernung	12
2.5.2	Ermittlung des Hauptebenenabstandes und der Brennweite in Abhängigkeit d. Entfernung	13
2.6	Ermittlung der Olympus-Capture-Steps	15
2.7	Ermittlung des Drehwinkels für Makroschlitten-Triebknopf	16
2.8	Ermittlung von Focus-Bracketing/Stacking Einstellwerten	17
3	Schärfentiefe-Rechner mit Einbeziehung von Focus- BKT/Stacking Einstellwerten sowie Focus-Steps für Olympus Capture und Makroschlitten (Makro-ST-Rechner)	22
3.1	Bestandteile des Schärfentiefe-Rechners	22
3.1.1	Eingabewerte	22
3.1.2	Ausgabewerte	22
3.1.3	Programmierung des Schärfentiefe-Rechners	22
	Literaturverzeichnis	23
	Hinweis	23
	Urheberrecht	23

1 Motivation

Zur Ermittlung der Schärfentiefe in der Fotografie sind im Internet zahlreiche Rechner für die gebräuchlichen Sensorformate zu finden. Die meisten von ihnen müssen aber bei Abbildungsmaßstäben größer als etwa 1:10, d. h. im Makrobereich, passen. Sie rechnen zwar auch dort noch weiter, liefern dann aber zumeist falsche Ergebnisse. Die Ursache hierfür ist bekannt: Die Rechner setzen die Entfernung zum Sensor mit der Gegenstandsweite gleich, was für Entfernungen mit Abbildungsmaßstäben kleiner 1:10 unschädlich ist (Wagner R. , 2012). Es gibt auch Schärfentiefe-Rechner für den Makrobereich (z.B. von www.unfoto.de (Nierhoff) oder www.erik-krause.de (Krause, 2009)). Diese bieten aber entweder keine individuellen Zerstreungskreisdurchmesser oder erfordern Eingaben von Parametern, die oft nicht vorliegen oder – wenn überhaupt – recht mühsam ermittelt werden müssten. Der Umstand, dass zahlreiche Objektive Innenfokussierung mit „Floating Elements“ aufweisen, durch deren Verschiebung sich insbesondere im Nahbereich die Brennweite verändert, macht die Sache mit der Berechnung der Schärfentiefe nicht leichter. Zu diesen Vertretern gehört auch das M.Zuiko Digital ED 60 mm 1:2.8 Macro.

Neben der Berechnung der Schärfentiefe im Makrobereich an sich, stellt die Berücksichtigung von Zwischenringen und Nahlinsen (wegen der besseren optischen Eigenschaften i.d.R. Vorsatzachromaten) eine weitere Herausforderung dar. Der Rechner auf www.erik-krause.de erlaubt die Berücksichtigung von Nahlinsen, der Einsatz von Zwischenringen wird jedoch nicht unterstützt.

Aus den vorstehenden Erkenntnissen ist bei mir die Motivation erwachsen, einen Schärfentiefe-Rechner für den Makro-Bereich zu „basteln“ und dabei für das M.Zuiko 60 mm 1:2.8 Macro, dessen spezielle Eigenschaften zu berücksichtigen. Warum diese spezielle Betrachtung gerade für dieses Objektiv? Weil es für mich im MFT-Bereich aus der Summe seiner Eigenschaften das Makroobjektiv schlechthin ist. Und weil ich es selbst besitze.

In das **Pflichtenheft** habe ich mir geschrieben:

1. Verwendung für ein Objektiv an sich
2. Verwendung mit Zwischenringen (auch kombiniert mit Vorsatzachromat)
3. Verwendung mit Vorsatzachromat (auch kombiniert mit Zwischenringen)
4. Variable Eingabe des Zerstreungskreisdurchmessers
5. Berücksichtigung der Beugung (Förderliche Blende)
6. Einfach zu bedienender Rechner mit möglichst wenig Eingabeparametern
7. Verwendung des Rechners über Browser ohne spezielle Software

Beim **Stacken** im Makro-Bereich ist die jeweilige Schärfentiefe zwar eine wichtige Größe. In Verbindung mit der Verwendung des tollen Tools **Olympus-Capture** ist allerdings eigentlich interessant, welche Einstellung für den **Step-Wert** jeweils die richtige ist und wie viele Aufnahmen erforderlich sind. Also kam zusätzlich in das Pflichtenheft:

8. Ausgabe der Capture-Step-Einstellung, die der jeweiligen Schärfentiefe am nächsten liegt
9. Nach Eingabe der Objektiefe Ausgabe der Anzahl der erforderlichen Aufnahmen bei dem ermittelten Step-Wert

Der Punkt 9 ist dabei natürlich am einfachsten zu lösen, ist hierbei doch lediglich die Objektiefe durch die Step-Weite zu dividieren. Die Punkte 1 bis 8 sind dagegen weniger trivial, aber dazu mehr in den nächsten Kapiteln.

Wer sich als Anwender nur für den Einsatz des Rechners interessiert, kann von hier gleich zum [Kapitel 3](#) springen. Für alle anderen wird im [Kapitel 2](#) vielleicht deutlich, warum Makro-Schärfentiefen-Rechner mit den vorstehenden Randbedingungen eine echte Herausforderung darstellen. Sollte jemand im Netz hierzu bereits fündig geworden sein, bitte sofort bei mir (romotto) im Oly-Forum melden. ;-)



2 Berechnungsformeln

2.1 Optische Basisformeln für Linsen/Objektive

Für die Formeln und Berechnungen gibt die nachfolgende Grafik Orientierung:

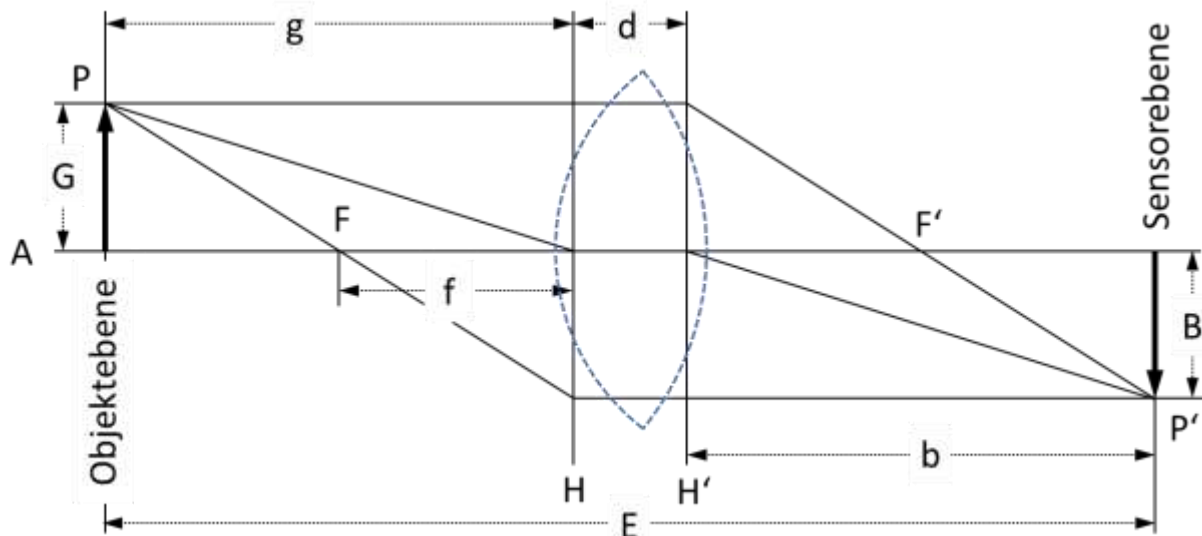


Abbildung 2.1: Strahlenverlauf bei einer dicken Linse oder einem Objektiv

A	Optische Achse	H	Gegenstandsseitige Hauptebene
F	Gegenstandsseitiger Brennpunkt	H'	Bildseitige Hauptebene
F'	Bildseitiger Brennpunkt	f	Brennweite
G	Gegenstandshöhe	g	Gegenstandsweite
B	Bildhöhe	d	Hauptebenenabstand
P	Gegenstandspunkt	b	Bildweite
P'	Bildpunkt	E	Entfernung Objekt - Sensor

Mit Hinweis auf (Baumann, 2003) ist Ausgangspunkt für alle weiteren Berechnungen die Linsenformel

$$(2.01) \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g}$$

Daraus leiten sich ab:

$$(2.02) \quad b = \frac{f \cdot g}{g - f} \quad (2.03) \quad g = \frac{f \cdot b}{b - f}$$

Der Abbildungsmaßstab β kann anhand der Gegenstandsweite und der Brennweite mit

$$(2.04) \quad \frac{B}{G} = \beta = \frac{f}{g - f} \quad \text{oder} \quad (2.04a) \quad \beta = \frac{b + f}{f}$$

ermittelt werden. Durch Umformung ergibt sich für die Gegenstandsweite

$$(2.05) \quad g = f \cdot \frac{\beta + 1}{\beta}$$

Die übliche Formel für Berechnung der Schärfentiefe T lautet:

$$(2.06) \quad T = 2 \cdot k \cdot z \cdot \frac{g \cdot (g - f)}{f^2 - (k \cdot z \cdot \frac{g - f}{f})^2}$$

Dabei ist k die **Blendenzahl** und z der **Zerstreuungskreisdurchmesser**. In der Regel ist E statt g bekannt. Mit der folgenden Formel kann g aus E ermittelt werden:

$$(2.07) \quad g = \frac{E}{2} + \sqrt{\left(\frac{E}{2}\right)^2 - f \cdot E}$$

Leider hat diese vereinfachte Formel den Nachteil, dass sie nur für $E \geq 4 \cdot f$ angewandt werden kann (da sonst der Ausdruck unter der Wurzel negativ würde). Für die Anwendung im Nahbereich, also bei Makroaufnahmen, ist daher die umfangreichere Formel unter Verwendung von d anzuwenden:

$$(2.08) \quad g = \frac{E - d}{2} + \sqrt{\left(\frac{E - d}{2}\right)^2 - f \cdot (E - d)}$$

Allerdings kann die Schärfentiefe durch Einsetzen von (2.05) in (2.06) und anschließendem Umformen statt über die Gegenstandsweite oder E und d auch über den Abbildungsmaßstab ermittelt werden:

$$(2.09) \quad T = 2 \cdot k \cdot z \cdot \frac{f^2(\beta + 1)}{(f \cdot \beta)^2 - (k \cdot z)^2}$$

In (2.09) enthalten ist auch die Brennweite f . Diese ist bei Objektiven zwar prinzipiell bekannt. Es gibt aber auch Ausnahmen. Diese Ausnahmen treffen gerade im Nahbereich zu, d.h. bei kleinen Entfernungen bis hin zur Naheinstellgrenze verändern viele Objektive, insbesondere Makroobjektive, ihre Brennweite. Bei der Innenfokussierung werden „Floating Elements“ eingesetzt, durch die die Brennweite deutlich reduziert werden kann. Leider ist die Brennweitenveränderung nach meinem Kenntnisstand praktisch nicht dokumentiert.

Für die Schärfetiefenberechnung im Nahbereich ist die Brennweite aber auch nicht erforderlich, wenn die Formel (2.09) unter Vernachlässigung des Gliedes $(k \cdot z)^2$ verwendet wird. Bei üblicherweise zu verwendenden Zerstreuungskreisdurchmessern (etwa 1/1500 bis 1/4000 der Bilddiagonale) übt

dieses Glied praktisch keinen Einfluss mehr aus und die Brennweite kürzt sich aus der Formel heraus. Die vereinfachte Formel lautet in diesem Fall:

$$(2.09a) \quad T = 2 * k * z * \frac{\beta + 1}{\beta^2}$$

Wenn auch für die vorstehende Berechnung der Schärfentiefe nicht erforderlich, so wird im Abschnitt 2.5 dennoch eine Methode gezeigt, wie beispielhaft für das M.Zuiko ED 60mm 1:2.8 Macro die notwendigen Kenndaten des Objektivs, d.h. insbesondere die reduzierte Brennweite f bis zur Naheinstellgrenze und – korrespondierend – der sich ändernde Abstand d der Hauptebenen ermittelt werden kann. Die reduzierte Brennweite wird später für die Ermittlung des Abbildungsmaßstabes in Verbindung mit Vorsatzachromaten in Abschnitt 2.2 benötigt.

Für die Ermittlungen in Abschnitt 2.5 war es erforderlich, dass die Brennweite f aus der Entfernung E , dem Hauptebenen-Abstand d und dem Abbildungsmaßstab β ermittelt werden kann.

Da ich eine fertige Formel hierfür nicht gefunden habe, musste zunächst eine Ableitung dieser Formel erfolgen.

Ausgangspunkt waren die Formeln (2.05) und 2.08). Durch Gleichsetzen folgt:

$$f * \frac{\beta + 1}{\beta} = \frac{E - d}{2} + \sqrt{\left(\frac{E - d}{2}\right)^2 - f * (E - d)}$$

Nach mehrfachem Umformen ermittelt sich f mit:

$$(2.10) \quad f = \frac{E - d}{\beta + \frac{1}{\beta} + 2} \quad \text{oder} \quad (2.11) \quad E = f * \left(\beta + \frac{1}{\beta} + 2\right) + d$$

2.2 Anpassung der Formeln bei Verwendung von Zwischenringen und Vorsatzachromaten

2.2.1 Verwendung von Zwischenringen

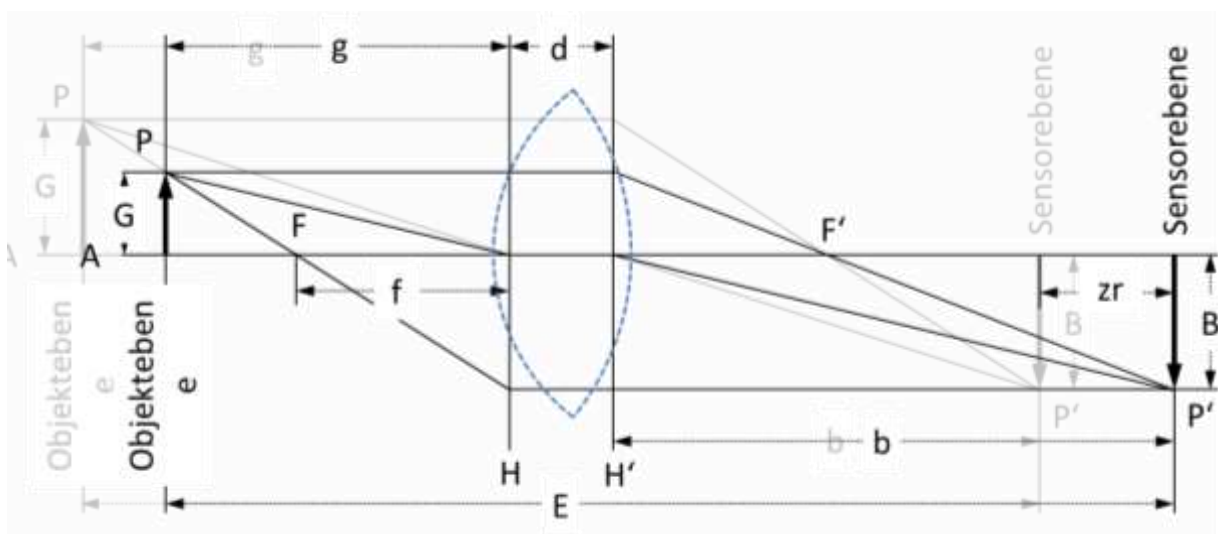


Abbildung 2.2: Strahlenverlauf unter Verwendung eines Zwischenringes

Beim Einsatz von Zwischenringen verlängern diese die Bildweite b um die Länge zr des jeweiligen Zwischenrings. Die verlängerte Bildweite b_{zr} berechnet sich zu:

$$(2.12) \quad b_{zr} = b + zr$$

Bei weiteren Berechnungen ist schlicht b_{zr} anstelle von b in die entsprechenden Formeln (2.01)ff. einzusetzen.

2.2.2 Verwendung von Nahlinen/Vorsatzachromaten

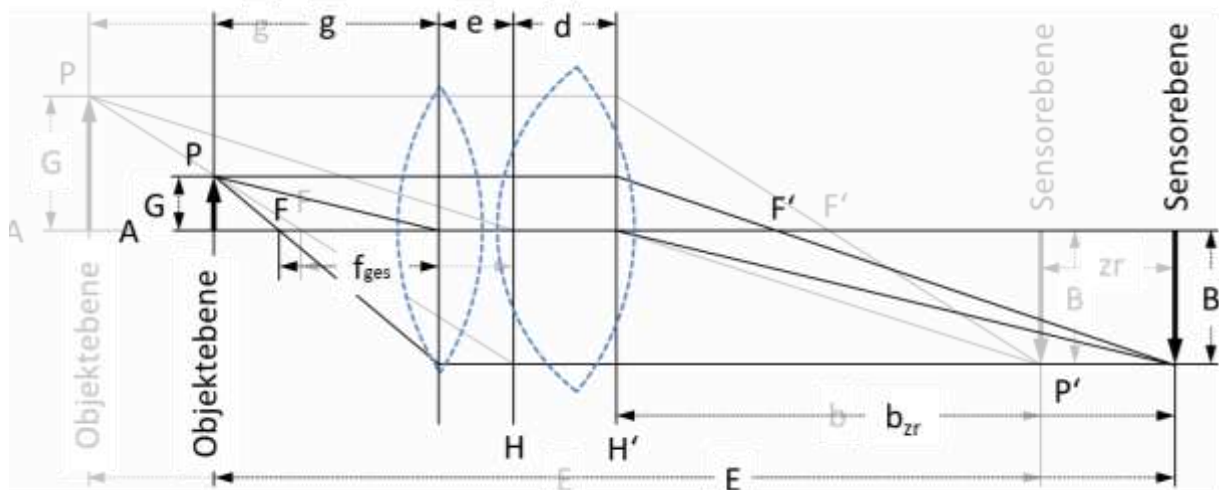


Abbildung 2.3: Strahlenverlauf unter Verwendung eines Zwischenrings und einer Nahlinse

Bei der Verwendung von Nahlinen, die wegen Korrektur von Abbildungsfehlern meistens als Vorsatzachromaten daher kommen, ist der entscheidende Effekt die Verkürzung der Brennweite entsprechend der Brechkraft D_{va} (in Dioptrien) der Nahlinse.

Die Brechkraft in einem optischen System aus z. B. zwei Komponenten (Linsen) ergibt sich aus der Summe der Brechkraften der einzelnen Komponenten. Zu berücksichtigen ist zusätzlich der Einfluss aus dem Abstand e der beiden Linsen. Die Brechkraft ist wiederum der Kehrwert der Brennweite. Damit folgt mit der Brechkraft $D_{va} = \frac{1}{f_{va}}$ (in Dioptrien) der Nahlinse und dem Linsenabstand e für die Brennweite f_{ges} des Gesamtsystems (Wagner P.)

$$(2.13) \quad \frac{1}{f_{ges}} = \frac{1}{f} + \frac{1}{f_{va}} - \frac{e}{f * f_{va}} \quad \text{oder} \quad D_{ges} = D + D_{va} - e * D * D_{va}$$

$$(2.13a) \quad f_{ges} = f * \frac{f_{va}}{f + f_{va} - e}$$

Bei weiteren Berechnungen ist somit f_{ges} anstelle von f in die Formeln einzufügen. Liegen die beiden Linsen sehr dicht zusammen, so kann ggf. auf das Korrekturglied

$-e * D * D_{va}$ verzichtet werden (bei den nachfolgenden Betrachtungen wird das Korrekturglied jedoch berücksichtigt). In der Konsequenz verkürzt sich die Gegenstandsweite, je nach Brechkraft der Vorsatzlinse, durch die reduzierte

Brennweite ganz erheblich. Ein bekannter Effekt, der dazu führt, dass es häufig schwierig ist, noch genügend Licht an das Objekt zu bekommen.

Für die Berechnung der Schärfentiefe ist der Abbildungsmaßstab erforderlich, der sich bei Verwendung der Nahlinse ergibt.

Durch Einsetzen von f_{ges} in Formel (2.04a) folgt:

$$(2.14) \quad \beta_{ges} = \frac{b-f_{ges}}{f_{ges}} \quad \text{oder} \quad (2.14a) \quad \beta_{ges} = \frac{f_{ges}}{g_{ges}-f_{ges}}$$

Oder bei gleichzeitiger Verwendung von Zwischenringen mit (2.12):

$$(2.14b) \quad \beta_{ges} = \frac{b+zr-f_{ges}}{f_{ges}}$$

Durch Gleichsetzen von (2.14) und (2.14a) und Umformung ermittelt sich die Gegenstandsweite g_{ges} bei Verwendung der Nahlinse:

$$(2.15) \quad g_{ges} = f_{ges} + f_{ges}^2/(b - f_{ges})$$

Oder bei gleichzeitiger Verwendung von Zwischenringen mit (2.12):

$$(2.15a) \quad g_{ges} = f_{ges} + f_{ges}^2/(b + zr - f_{ges})$$

2.3 Bestimmung der Hauptebenen eines Objektivs

Die in den vorhergehenden Abschnitt 2.1 angegebenen Formeln (2.08) und (2.10) verwenden den Abstand d der Hauptebenen eines Objektivs. Dieser Abstand wird von den Objektivherstellern i.d.R. nicht angegeben. Es gibt aber eine recht einfache Methode, um d zumindest für die Entfernungseinstellung „unendlich“ (∞) zu ermitteln.

2.3.1 Lage der bildseitigen Hauptebene H'

In der Entfernungseinstellung ∞ liegt die bildseitige Hauptebene H' im Abstand der Brennweite von der Sensorebene entfernt, d.h. $b = f$

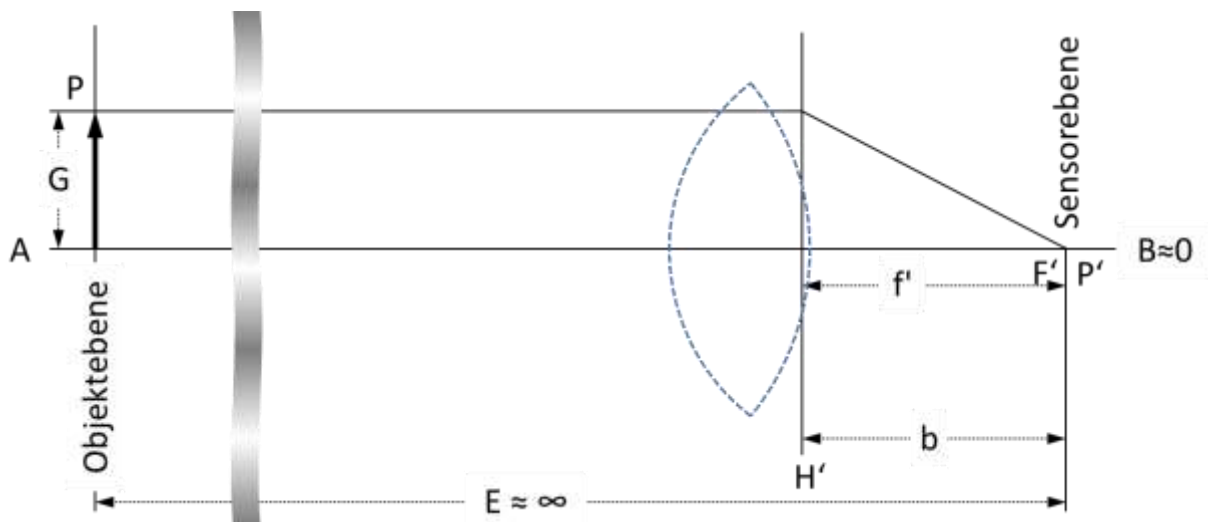


Abbildung 2.4: Strahlenverlauf bei ∞ Stellung zur Ermittlung der bildseitigen Hauptebene H'

2.3.2 Lage der gegenstandsseitigen Hauptebene H

1. Zur Ermittlung der gegenstandsseitigen Hauptebene H wird ein Zwischenring (z.B. $zr = 26 \text{ mm}$) hinter das Objektiv gesetzt, womit sich die Bildweite um die Länge des Zwischenrings zr verlängert: $b_{zr} = b + zr$.

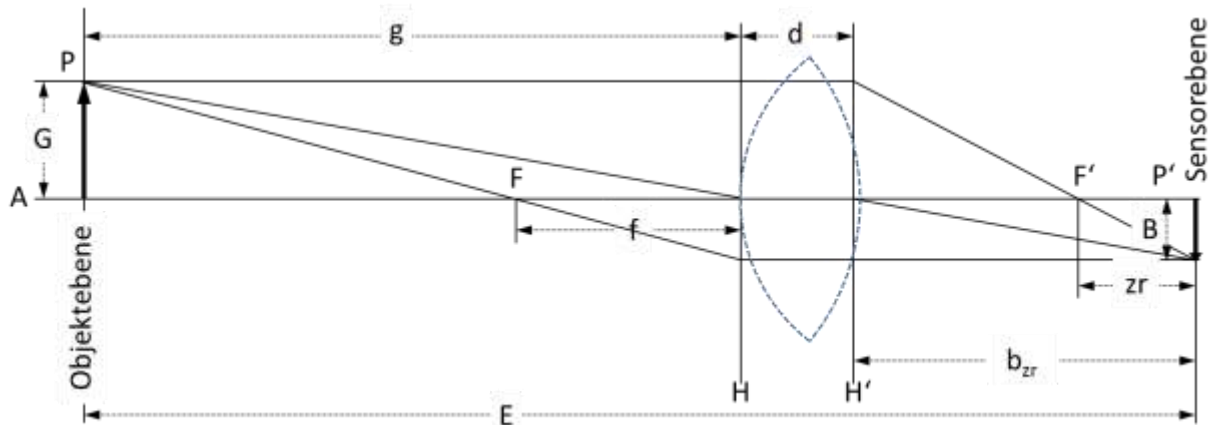


Abbildung 2.5: Strahlenverlauf bei ∞ Stellung mit Zwischenring zur Ermittlung der gegenstandsseitigen Hauptebene H

2. Am Objektiv wird die Entfernung ∞ eingestellt.
3. Dann wird unter Verwendung einer gut scharf zu stellenden – planen – Vorlage (z.B. ein mit kleiner Schrift bedrucktes Blatt, das an eine senkrechte Fläche geklebt ist) das Objektiv, ohne die Entfernungseinstellung am Objektiv selbst zu verändern, solange von dem verwendeten Blatt nach hinten bewegt (hilfreich ist natürlich ein Stativ mit Makroschlitten), bis die Vorlage scharf abgebildet ist.
4. Anschließend wird die Entfernung E zwischen Vorlage und Sensor gemessen.
5. Mit der Formel (2.03) wird die Gegenstandsweite g ermittelt, in dem dort für b die Größe b_{zr} eingesetzt wird. Da für die Stellung ∞ die Bildweite die Summe aus Brennweite und Länge der Zwischenringe ist, d. h.

$$(2.16) \quad b_{zr} = f + zr$$

kann b_{zr} durch diese beiden bekannten Größen ersetzt werden.

Aus (2.03) wird somit nach Umformen

$$(2.17) \quad g = f * \left(\frac{f}{zr} + 1 \right)$$

6. Der Abstand der Hauptebene H vom Sensor errechnet sich dann mit

$$E - g$$

7. Da die Hauptebene H' aktuell, d. h. bei Stellung ∞ , um die verlängerte Bildweite b_{zr} vom Sensor entfernt liegt, ermittelt sich als Differenz der Hauptebenenabstand d_{∞} mit:

$$(2.18) \quad d_{\infty} = E - g - b_{zr}$$

(alle Angaben in mm)

In Abschnitt 2.5.2 gibt es ein Beispiel hierfür.

2.4 Berechnung der „Förderlichen Blende“

Um die Schärfeverhältnisse innerhalb eines Bildes zu beschreiben, genügt es nicht, sich lediglich mit der Schärfentiefe zu beschäftigen. Ein weiterer zu betrachtender Aspekt, insbesondere bei kleinen Blenden, ist die Beugung des Lichts an den Kanten mechanischer Bauteile, insbesondere an den Lamellen der Irisblende eines Objektivs. (näheres siehe z.B. (Baumann, 2003), (Swissonline))

Der Effekt der Beugung wird über die „Förderliche Blende“ beschrieben. Das ist der Blendenwert, ab dem der Durchmesser des durch die Beugung erzeugten „Beugungsscheibchens“ größer wird, als der Zerstreuungskreisdurchmesser bei der Ermittlung der Schärfentiefe.

Die förderliche Blende k_f ermittelt sich aus dem Zerstreuungskreisdurchmesser z (siehe Abschnitt 2.1), dem Abbildungsmaßstab β und der Lichtwellenlänge λ (mittlerer Wert) wie folgt (z.B. (Swissonline)):

$$(2.19) \quad k_f = \frac{z}{1,22 * \lambda * (\beta + 1)}$$

Für λ wird eine mittlere Wellenlänge von 550 nm angenommen.

Sobald der so ermittelte förderliche Blendenwert kleiner ist, als der am Objektiv eingestellte Blendenwert, verschlechtert sich die durch den noch zulässigen Zerstreuungskreisdurchmesser vorgegebene Schärfe (genauer: die Kernschärfe am eingestellten Schärfepunkt) infolge Beugung. In dem Fall ist entweder am Objektiv ein kleinerer Blendenwert einzustellen oder die Schärfeanforderung ist durch Wahl eines größeren Zerstreuungskreisdurchmessers abzusenken.

Soweit dennoch mit hohen Blendenwerten gearbeitet wird, was in manchen Fällen durch sinnvoll sein kann, erhöht sich zwar die Schärfentiefe und ein größerer Bildbereich kann „scharf“ abgebildet werden. Die die Kernschärfe im Schärfepunkt selbst verschlechtert sich jedoch, d. h. der maximale Schärfeeindruck geht zurück.

Dieser „unschöne“ Effekt lässt sich in manchen Fällen, insbesondere bei großen Abbildungsmaßstäben und in Verbindung mit Zwischenringen und Vorsatzachromaten, bei Einzelaufnahmen mit angemessenen Schärfentiefen schlicht nicht vermeiden. Um die gewünschte Kernschärfe zu halten, kann das **Stacken** von Einzelaufnahmen mit unterschiedlichen Schärfeebenen helfen. Hierbei kann als Blendenwert etwa der Wert der förderlichen Blende eingestellt werden. Dies geht allerdings nur bis zur „Kritischen Blende“ des Objektivs. D. h. bis zu der Blende, ab der im Offenblendenbereich ein geringeres Auflösungsvermögen des Objektivs einen negativen Einfluss auf die Bildschärfe ausübt.

Bei den meisten Objektiven liegt der Kritische Blendenwert etwa zwei Blendenstufen über dem Wert der Offenblende (z.B. bei einem 2.8er Objektiv bei 5.6). Neuere hochwertige MFT-Objektive (z.B. das Olympus M.Zuiko 12-40mm 1:2.8 oder das Olympus M.Zuiko 40-150mm 1:2.8) haben allerdings nach eigener Erfahrung bereits bei Offenblende ein derart hohes Niveau, so dass ein Abblenden um 1 bis 2 Stufen bei der Schärfe keine größeren Verbesserungen mehr bringt. Bei Olympus M-Zuiko 60mm 1:2.8 Macro scheint der kritische Blendenwert bei etwa 5.0-5.6 zu liegen.

2.5 Optische Werte des M.Zuiko ED 60mm 1:2.8 Macro

Bei einer Brennweite von 60mm müsste sich nach der Formel (2.11) für den Abbildungsmaßstab 1:1 eine Entfernung Objekt - Sensor von 240 mm + Hauptebenenabstand ermitteln. Tatsächlich beträgt die **Entfernung bei Abbildung 1:1** aber lediglich etwa **184 mm** (am Objektiv angegeben: 0,19 m). Daraus folgt zwangsläufig, dass das Objektiv im Nahbereich die Brennweite durch die Innenfokussierung mit Floating Elements merklich verkürzt.

2.5.1 Ermittlung der Abbildungsmaßstäbe in Abhängigkeit der Entfernung

Auf dem Objektiv selbst befinden sich bereits näherungsweise Angaben von Abbildungsmaßstäben und Entfernungen von 1:1 bis 1:4.

Unter Verwendung eines fein gegliederten Lineals oder ähnlichem und einem Stativ (möglichst mit Makroschlitten) kann für bestimmte Abbildungsmaßstäbe die zugehörige Entfernung Lineal - Sensor ermittelt werden. Dabei ist selbstverständlich auf eine rechtwinklige Ausrichtung des Lineals zur Objektivachse zu achten. Wird die im Sucher der Kamera über die Bildbreite gemessene Skalendifferenz des Lineals durch die Sensorbreite 17,31 mm dividiert, erhält man den Abbildungsmaßstab.

Durch Messen der Entfernungen für die Abbildungsmaßstäbe 1:1, 1:2, 1:4 u.s.w. bis 1:32, Eintragen der Messwerte in eine Excel-Tabelle und Ermitteln einer Trendfunktion über die Messwerte hinweg, ergibt sich folgende Formel (Polynom 2. Grades):

$$(2.19) \quad \beta = 1/(0,7690026 * E^3 - 3,624888 * E^2 + 21,305374 * E - 2,80950) \quad [E \text{ in m}]$$

Oder in grafischer Darstellung:

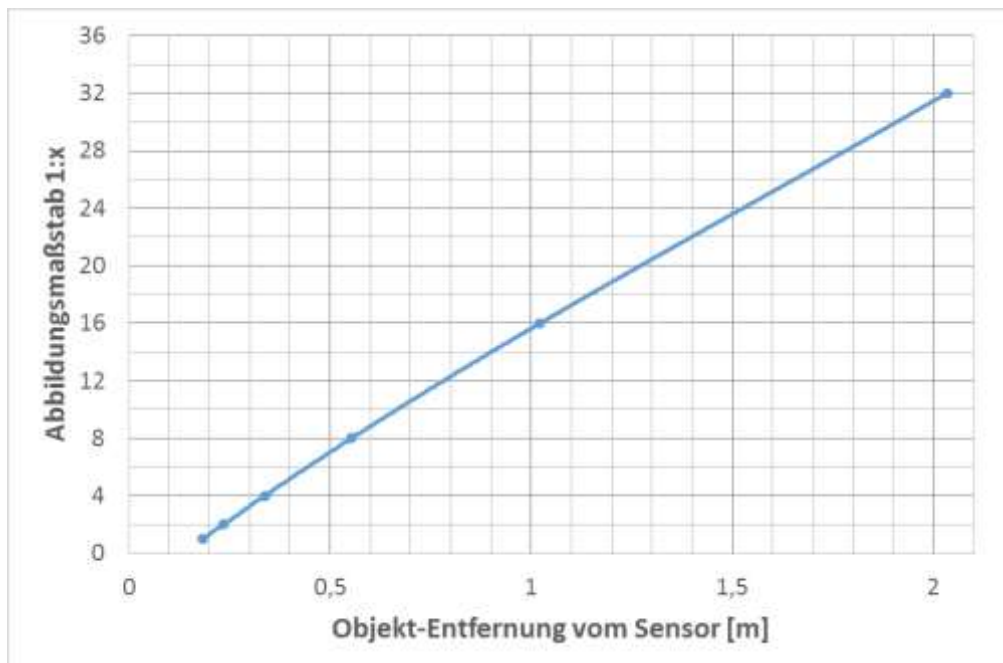


Abbildung 2.6: Objektentfernungen für Abbildungsmaßstäbe von 1:1 bis 1:32 beim M.Zuiko 60 mm

Oberhalb der Entfernung, bei der keine Brennweitenverkürzung mehr stattfindet, d. h. die Brennweite bis unendlich bei 60 mm liegt, errechnet sich der Abbildungsmaßstab über die Formel (2.04).

2.5.2 Ermittlung des Hauptebenenabstandes und der Brennweite in Abhängigkeit d. Entfernung

Nach der in Abschnitt 2.3 beschriebenen Methode ergeben sich bei Verwendung eines Zwischenrings von 26 mm folgende Verhältnisse:

1. $b_{zr} = 60 \text{ mm} + 26 \text{ mm} = 86 \text{ mm}$
2. ...
3. ...
4. $E = 277 \text{ mm}$
5. $g = 60 \text{ mm} * \left(\frac{60 \text{ mm}}{26 \text{ mm}} + 1 \right) = 198,5 \text{ mm}$
6. $E - g = 277 \text{ mm} - 198,5 \text{ mm} = 78,5 \text{ mm}$
7. $d_{\infty} = 78,5 \text{ mm} - 86 \text{ mm} = -7,5 \text{ mm}$

Der Abstand der Hauptebenen bei der Entfernung ∞ ermittelt sich mit einem negativen Wert von $-7,5 \text{ mm}$. Dies ist zunächst insoweit erstaunlich, als dass danach die bildseitige Hauptebene vor der gegenstandsseitigen Hauptebene liegt. Dies kann bei speziellen Objektivkonstruktionen aber durchaus vorkommen.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Verhältnisse Maßstabsgetreu:

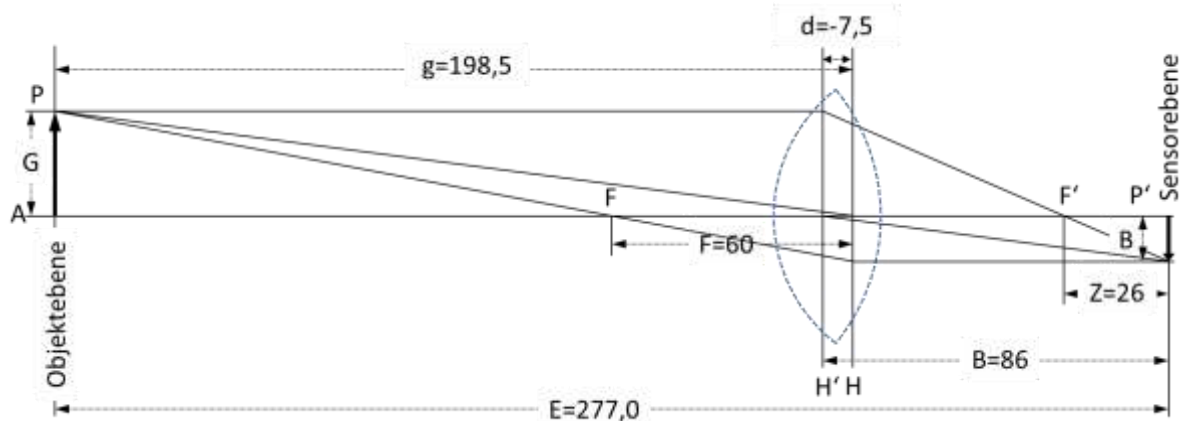


Abbildung 2.7: Bestimmung der Hauptebenen beim M.Zuiko 60 mm

Da sich bei dem Objektiv beim Fokussieren bestimmte Linsenelemente offenbar, um die Brennweitenverkürzung zu erreichen, in Richtung der Hinterlinsen verschieben, verschiebt sich damit auch die bildseitige Hauptebene nach hinten.

Unter der plausibel erscheinenden Annahme, dass durch die Verschiebung entsprechender Linsenelemente die Verkürzung der Brennweite bis zur Nahgrenze gleichzeitig der Vergrößerung des Hauptebenenabstandes entspricht, d. h.

$$(2.20) \quad d_{nah} - d_{\infty} = f_{\infty} - f_{nah}$$

Folgt für f_{nah} nach Umstellung:

$$(2.21) \quad f_{nah} = f_{\infty} - d_{nah} + d_{\infty}$$

Durch gleichsetzen von (2.10) mit (2.18) wird an der Nahgrenze (Abbildungsmaßstab $\beta = 1$):

$$(2.22) \quad \frac{E-d_{nah}}{4} = f_{\infty} - d_{nah} + d_{\infty}$$

Nach Auflösung nach d_{nah} :

$$(2.23) \quad d_{nah} = \frac{4*(f_{\infty}+d_{\infty})-E_{nah}}{3} = \frac{4*(60 \text{ mm}-7,5 \text{ mm})-184 \text{ mm}}{3} = 8,67 \text{ mm}$$

Damit wird mit (2.21) die Brennweite an der Nahgrenze :

$$(2.24) \quad f_{nah} = 60 - 8,67 - 7,5 = 43,83 \text{ mm}$$

Aus Formel (2.10) ($f = \frac{E-d}{\beta+\frac{1}{\beta}+2}$) und der unter (2.19) dargestellten Funktion für

den Abbildungsmaßstab folgt, dass – bei einem Hauptebenenabstand bei ∞ von -7,5 mm – die Brennweite bis etwa 2 m bei 60 mm liegt und sich darunter bis zur Naheinstellgrenze (1:1) auf bis zu ca. **44 mm** verkürzt.

Mit der Annahme aus (2.20) kann für beliebige Abbildungsmaßstäbe und Entfernungen der Hauptebenenabstand und die Brennweite allgemein wie folgt ermittelt werden:

$$(2.20a) \quad d - d_{\infty} = f_{\infty} - f$$

$$(2.21a) \quad f = f_{\infty} - d + d_{\infty}$$

Durch Gleichsetzen von (2.10) mit (2.18a) folgt:

$$(2.22a) \quad \frac{E-d}{\beta+\frac{1}{\beta}+2} = f_{\infty} - d + d_{\infty}$$

Durch Auflösen nach d und und mehrfachem Umformen ergibt sich:

$$(2.23a) \quad d = \frac{(\beta+1)^2*(f_{\infty}+d_{\infty})-\beta*E}{\beta^2+\beta+1}$$

Die Brennweite f ermittelt sich dann leicht mit (2.21a).

Mit den vorstehenden Ergebnissen ist nachfolgend für das M.Zuiko ED 60mm 1:2.8 Macro der Verlauf der Brennweite im unteren Entfernungsbereich dargestellt:

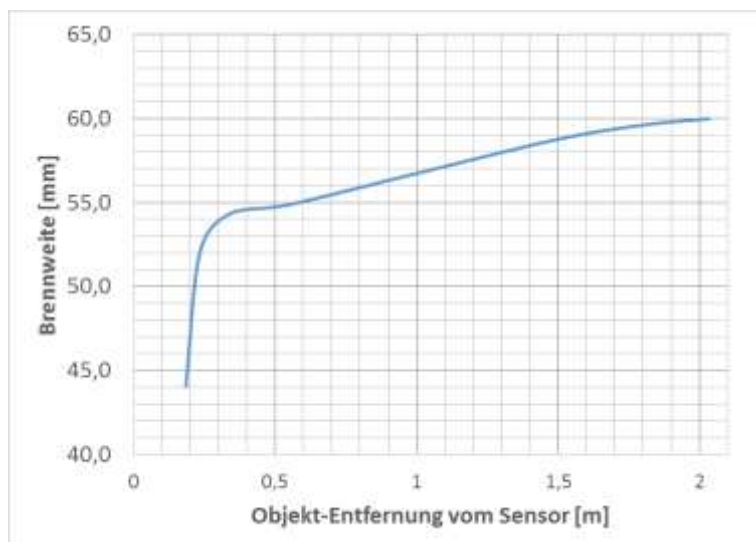


Abbildung 2.8: Veränderung der Brennweite beim M.Zuiko 60 mm

Aus der Abbildung kann man übrigens sehr schön sehen, warum es einen speziell einzustellenden Fokusbereich unterhalb von 0,4 m gibt.

Die Formeln in diesem Abschnitt dienen der Berechnung des Abbildungsmaßstabes und damit auch der Schärfentiefe bei der Verwendung einer Nahlinse (siehe Abschnitt 2.2). Für die Berechnungen in Verbindung mit dem Einsatz des „nackten“ Objektivs wären sie nicht erforderlich.

2.6 Ermittlung der Olympus-Capture-Steps

Die Software Olympus-Capture erlaubt das Verwenden von Fokus-Steps in kleinen (<...>), mittleren (<<...>>) und großen (<<<...>>>) Step-Weiten. Diese können jeweils mit Schieberegler in einem Bereich von +/- 2 (klein) +/- 5 (mittel) und +/- 4 (groß) eingestellt werden. Die einzelnen Step-Weiten von der kleinsten (< -2 >) bis zur größten (<<< +4 >>>) stehen in bestimmten – konstanten – Verhältnissen zueinander. An dieser Stelle mein Dank an die Forenten *Kabe* und *fotofirnix*, die im Oly-Forum bereits im Herbst letzten Jahres wichtige Erkenntnisse gewonnen haben. (Oly-Forum, Oly-Forum (Kabe im Thread "Capture Pro - Focus Steps" und fotofirnix im Thread "Capture Focus-Steps für ...", 2014) sowie (Oly-Forum, Oly-Forum (Kabe im Thread "Stacking-Erweiterung für Olympus Capture unter OS X", 2014)

Ausgehend von 100% bei der größtmöglichen Step-Weite (<<< +4 >>>) ergeben sich folgende prozentualen Step-Verhältnisse:

Verhältnisse der Olympus-Capture Fokus-Steps zueinander												
Step-Einstellung	<-2>	<-1>	<0>	<+1>	<+2>	<+3>	<+4>	<<-2>>	<<-1>>	<<0>>	<<+1>>	<<+2>>
Step-Verhältnis [%]	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18

Tabelle 2.1: Prozentuale Abstufungen der Olympus-Capture Fokus-Step-Einstellwerte

Gut zu erkennen ist dabei, dass sich die Step-Bereiche „klein“ und „mittel“ sowie „mittel“ und „groß“ überlappen.

Die betragsmäßige Auswirkung der Fokus-Steps längs der optischen Achse in mm ist abhängig von der Objektentfernung und vom Objektiv.

Bei dem M.Zuiko 60 mm konnte ich folgende Step-Weiten [mm] für die Step-Einstellung <<< +4 >>> (100%) für Entfernungen von der Naheinstellgrenze bis 1000 mm ermitteln:

Objekt-Entfernung [mm]	185	235	285	335	535	750	1000
Step-Weite [mm] bei <<< +4 >>> (100%)	1,57	7,93	16,46	27,51	91,91	195,99	355,26

Tabelle 2.2: Step-Weiten beim M.Zuiko 60 mm 1: 2.8 Macro für verschiedene Objekt-Entfernungen

Aus den so ermittelten Werten konnte die folgende quadratische Trendfunktion für die Step-Weite SW für <<< +4 >>> bei Verwendung des M.Zuiko 60 mm abgeleitet werden:

(2.24)

$$SW_{\lll+4}} = -0,00000008285 * E^3 + 0,00052034 * E^2 - 0,08168 * E - 0,542$$

Mit der vorstehenden Funktion und der Tabelle 2.1 kann für eine zuvor ermittelte Schärfentiefe für eine bestimmte Entfernung die passende (nächst gelegene) Olympus-Capture Focus-Step Einstellung ermittelt werden.

Als Darstellung im Rechner wird folgende Form gewählt (Beispiel: Mittlere Step-Weite mit Schieberegler in Capture-Einstellungen auf +2):

<<+2 >>

2.7 Ermittlung des Drehwinkels für Makroschlitten-Triebknopf

In freier Natur dürfte Olympus Capture in den meisten Fällen nicht für Stacking-Aufnahmen zur Verfügung stehen. Hier ist eine Makroschiene sicherlich das geeignete Werkzeug.¹ Bei Schärfentiefen und damit Schlittenbewegungen pro Step oberhalb von 1 Millimeter, liefert die an der Schiene angebrachte Skala die notwendige Information für den Vortrieb. Bei geringen Schärfentiefen unterhalb eines Millimeters – und die kommen bei Makroaufnahmen an der Naheinstellgrenze leider sehr häufig vor – ist der Triebknopf nur geringfügig zu verstellen. Die Schlitten-Skala hilft einem dann kaum weiter. In diesen Fällen interessiert dann, um welchen Drehwinkel der Triebknopf des Schlittens verstellt werden muss, um einen Vortrieb in Höhe der Schärfentiefe zu erhalten. Die Triebknöpfe der mit bekannten Makroschlitten haben hierfür allerdings keine Skala.

In der Praxis wird dem Makro-Fotografen jedoch eine Angabe, wie z. B. „117 Grad“ oder „0,325 Umdrehungen“ nicht wirklich weiterhelfen. Gradgenau kann der Triebknopf per Hand ohnehin nicht verstellt werden (+/- 5-10 Grad dürften die Untergrenze sein). Auch die Übersetzung der Angaben in Drehbewegungen erfordert erst einmal einen eher lästigen **Denkprozess**. Eine praxisgerechte Darstellung der Triebknopf-Verstellung stellt daher die größte Herausforderung dar.

? 117 Grad ... also mehr als eine Viertelumdrehung ... aber dichter an einer Viertel- als an einer halben Umdrehung ... also so etwa Ost-Südost ...?

¹ Eine auf langjährige Erfahrung des Makro-Gurus „EyeView“ basierende hervorragende Empfehlung zu geeignetem „Werkzeug“ für gute Makroaufnahmen findet sich auf www.pen3.de (Rückert, 2015). Dort sind auch verschiedene Makroschienen genannt.

Die Berechnung des Drehwinkels gestaltet sich zunächst einfach. Bei einer Schärftiefe T und einer Gangweite gw des Triebknopfes ermittelt sich der Drehwinkel Ω mit

$$(2.25) \quad \Omega = \frac{T}{gw} * 360$$

Bei Schärfentiefen oberhalb der Gangweite ist Ω größer als 360 Grad, d. h. es ist mehr als eine volle Umdrehung erforderlich.

Um vor Ort das Ergebnis nicht durch lästiges Nachdenken „übersetzen“ zu müssen, ist folgende **grafische Darstellung** im Rechner vorgesehen:



Linke Grafik: Drehwinkel **117 Grad**



Rechte Grafik: Drehwinkel **432 Grad**
(**eine** volle Umdrehung + **72 Grad**).

2.8 Ermittlung von Focus-Bracketing/Stacking Einstellwerten

(seit Version 1.2)

Seit Herbst 2015 bietet Olympus in mehreren OM-D Kameras die Funktion Focus-Bracketing(BKT) und bei bestimmten Modellen zusätzlich auch eine Focus-Stacking-Funktion an. Damit können mittels des elektronischen Verschlusses automatisch Aufnahmeserien von statischen Objekten mit unterschiedlichen Fokuspunkten erzeugt werden.

Ausgehend vom zum Sensor nächstgelegenen scharf abzubildenden Objektpunkt können mittels der **Focus-BKT-Funktion** *so bis zu 999 Aufnahmen* mit sich in Richtung unendlich bewegendem Fokuspunkt geschossen werden. Der jeweils angemessene *Fokusunterschied* kann auf einer Skala von 1 bis 10 eingestellt werden. Die Aufnahmen werden einzeln auf der Speicherkarte abgelegt und können später mit einer speziellen Stacking-Software zusammengefügt werden

Bei der **Stacking-Funktion**, die in bestimmten Kameramodellen eingebaut ist, werden, ausgehend von einem etwa mittig liegenden Fokuspunkt, durch automatisches verstellen des Fokuspunktes nach hinten und nach vorn acht Aufnahmen erzeugt. Diese verarbeitet die Kamera direkt und liefert als Ergebnis ein aus acht Einzelbildern „gestacktes“ Foto.

Bei beiden Funktionen stellen sich vor der Aufnahme, neben die üblichen Fragen zur Bildgestaltung, insbesondere zwei Fragen:

1. Welchen Wert stelle ich bei „Anzahl der Aufnahmen“ ein?
2. Wie groß wähle ich den einzustellenden Fokusunterschied?

Um Antworten bzw. Vorschläge für diese beiden Einstellungen zu liefern, habe ich den Makro-ST-Rechner um eine entsprechende Funktion erweitert. Damit ist man derzeit zumindest beim M.Zuiko 60 mm 1: 2.8 Macro im Makrobereich nicht mehr allein auf's Probieren angewiesen und bekommt für die unterschiedlichsten Ausgangsparameter (Schärfeanforderung, Blende, Objektentfernung, Zwischenringe u.s.w.) die passenden Einstellwerte geliefert.

Vor der Programmanpassung waren zunächst einige Messungen erforderlich, um das Verhalten der Kamera bei der Fokus-BKT-Funktion herauszufinden. Die

Messungen wurden mit E-M1 und M.Zuiko 60 mm 1: 2.8 Macro durchgeführt und bei folgenden Parametern variiert:

- Aufnahmeentfernung (Nahgrenze 1:1=ca. 185 mm bis 1000 mm in sechs Schritten)
- Blende (1:2,8 bis 1:11 – kleinere Blenden machen wegen der Beugung wenig Sinn)
- Fokusunterschied (1 bis 10, gemessen bei 1, 3, 5, 7 und 10)

Während die Abhängigkeit der Schrittlängen von der Aufnahmeentfernung sich erwartungsgemäß als nichtlinear ergab, liegen bei der Blende und den Fokusunterschieden lineare Abhängigkeiten vor.

(Erste Ermittlungen für die Programmversion 1.2 kurz nach Erscheinen der neuen Firmware 4.0 für die E-M1, ergaben zunächst leichte Nichtlinearitäten bei Blende und Fokusunterschieden. Veränderungen beim Messvorgang und den Berechnungen haben dann jedoch lineare Abhängigkeiten gezeigt, wodurch sich die nachfolgenden Berechnungen etwas einfacher gestalteten.)

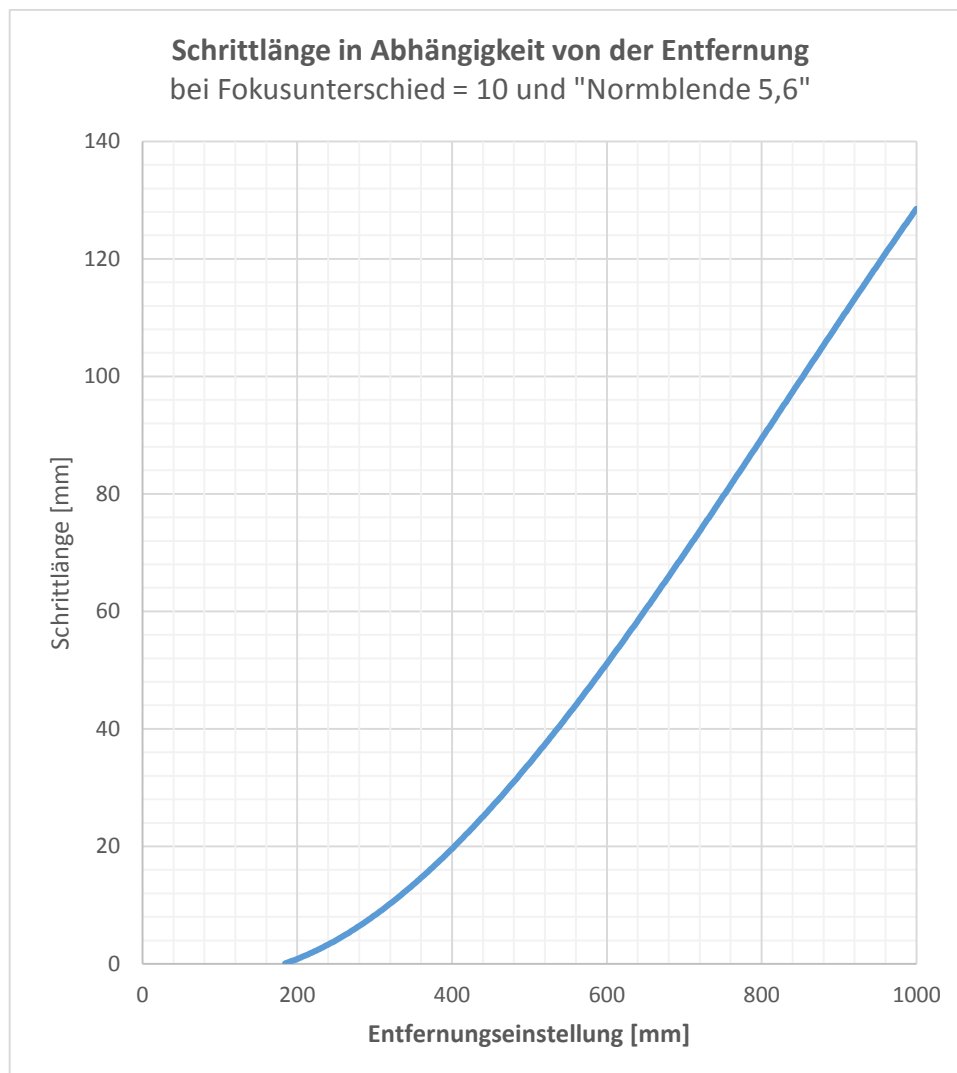


Abbildung 2.9
Schrittlänge in Abhängigkeit der Entfernungseinstellung für das
M.Zuiko 60 mm 1: 2.8 Macro

Daraus sind zumindest zwei interessante Erkenntnisse zu entnehmen:

- Die Fokusschritte (bei gleichem eingestelltem Fokusunterschied) sind sowohl entfernungsabhängig (was zu erwarten war) als auch blendenabhängig. Durch die Blendenabhängigkeit ergeben sich praktisch keine Veränderungen bei der jeweils sinnvollen Einstellung des Fokusunterschieds.
- Die Skala 1-10 der Fokusunterschiede ist linear. Die Bandbreite der Unterschiede beträgt dementsprechend 9. (Die Bandbreite der einstellbaren Schrittweiten bei der Software Olympus-Capture beträgt übrigens 99 (von <-2> bis <<<+4>>>)). Dabei liegt die Skala der Fokusunterschiede für die Blende 5,6 innerhalb der Olympus-Capture Skalenwerte von ca. 4 bis 40. Die größere Bandbreite bei den Capture-Einstellungen ist auch einleuchtend, da hier unterschiedliche Blendeneinstellungen keine Veränderungen bei den Schrittweiten bewirken.

Der Ablauf im Programm gestaltet sich dann wie folgt:

1. Ermittlung der auf die Fokusschrittweite 10 bezogenen Schrittweite in Abhängigkeit zur Entfernung für „Normblendenwert“ 5,6 (Abbildung 2.9)
2. Anbringen der Korrekturfaktoren für den jeweiligen Blendenwert.
3. Ermittlung des Prozentsatzes des Schärfentiefenwertes (Schärfentiefe, die sich ohne Verwendung von Zwischenringen bzw. Vorsatzlinsen ergeben würde) gegenüber der aus Nr. 2 für die gewählte Entfernung ermittelten Schrittweite bei Fokusunterschied 10.
4. Ermittlung des Fokusunterschieds (unrunder Zwischenwert) aus dem unter Nr. 3 ermittelten Prozentsatzes (Division durch 10)
5. Ermittlung des gerundeten Wertes aus Nr. 4 für den in der Kamera einzustellenden Fokusunterschied (von 1 bis 10)
6. Ermittlung des Prozentsatzes (gegenüber des Fokusunterschieds 10) für die gerundete Fokusschrittweite aus Nr. 5
7. Ermittlung aller Schrittweiten und Zahl der Aufnahmen vom Nahpunkt des Objektes über die gesamte Objektiefe hinweg, d. h. bis zum Erreichen der Entfernung die sich aus „Entfernung Nahpunkt“ + „Objektiefe“ ergibt. Am Ende steht die Zahl der benötigten Aufnahmen fest. Durch diese Vorgehensweise wird der Umstand der mit zunehmender Entfernung größer werdenden Schrittweiten berücksichtigt. In der Programmversion 1.2 ermittelte sich die Zahl der Aufnahmen aus den Verhältnissen ausschließlich am Nahpunkt. Dies führt insbesondere bei größeren Objektiefen zu einer zu hohen Zahl der Aufnahmen.
8. Bei Verwendung von Zwischenringen und/oder Vorsatzachromaten gestalten sich die Verhältnisse naturgemäß noch etwas komplizierter. Hier war zu berücksichtigen, dass sich Veränderungen an den Entfernungseinstellungen des Objektivs nur deutlich gedämpft auf Veränderungen der Gegenstandsweite bzw. der Entfernung Sensor-Objekt auswirken. Durch Berücksichtigung entsprechender Faktoren (hier „Fokussierungsverlängerungsfaktoren“ genannt, siehe Abbildungen 2.10 und 2.11 für Zwischenringe) lassen sich die passenden Schrittweiten ermitteln. Hierbei wurde lediglich der Entfernungsbereich unterhalb von ca. 340 mm

betrachtet, da größere Entfernungen zu Abbildungsmaßstäben führen würden, die auch mit „nacktem“ Objektiv zu erzielen sind.

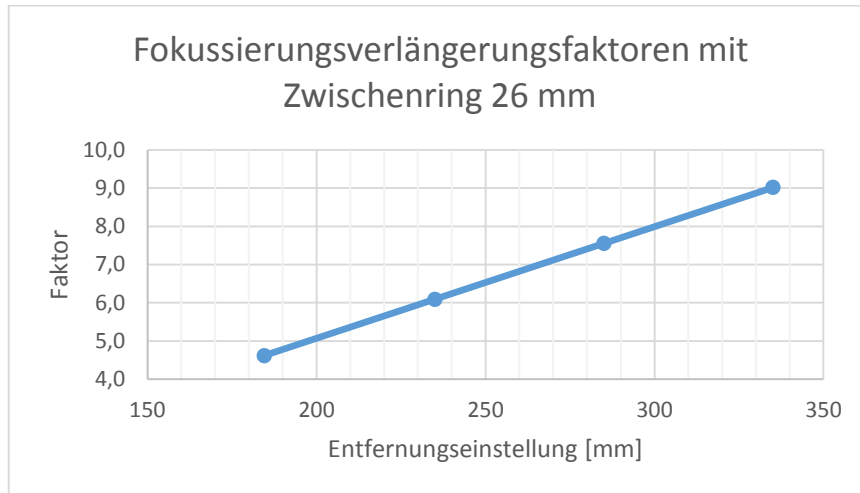


Abbildung 2.10

Es zeigt sich eine lineare Abhängigkeit von der Entfernung

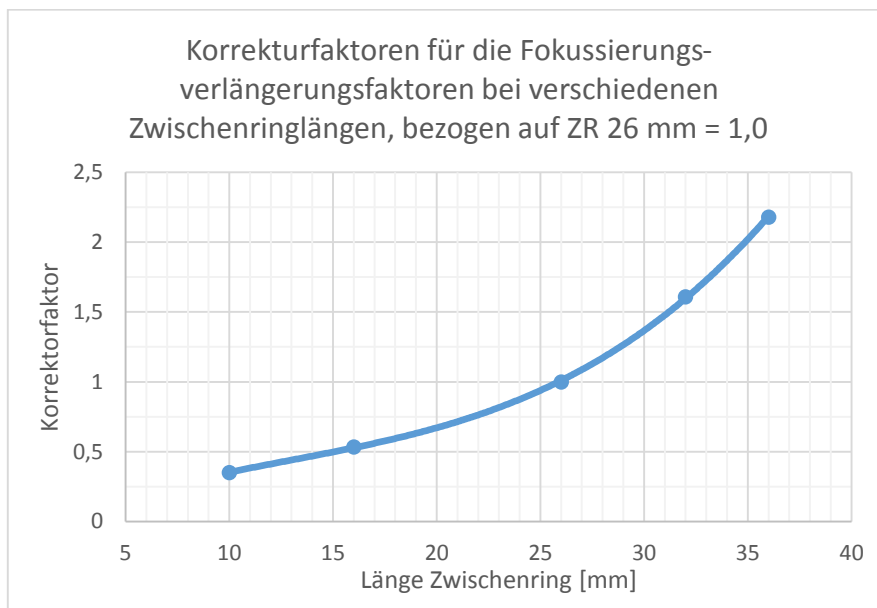


Abbildung 2.11

Faktoren für Zwischenringe von 10 bis 36 mm. Längere Zwischenringe machen bei dem M.Zuiko 60 mm 1: 2.8 Macro keinen Sinn, da dieses im Nahbereich eine verkürzte Brennweite (ca. 44 mm) aufweist und Zwischenringlängen nahe der Brennweite keine brauchbare Anwendung mehr ermöglichen.

Klingt alles recht kompliziert, ist es auch – ist aber nötig, um die verschiedenen Parameter zu berücksichtigen.

Als **Ergebnisse** werden die **Anzahl der Aufnahmen** (für eine zuvor gewählte Objektiefe) und der sinnvolle **Fokusunterschied** im Programm ausgegeben.

Die ermittelten Werte unterliegen naturgemäß Messunsicherheiten. Das gilt insbesondere für die Ergebnisse unter Verwendung von Zwischenringen und Vorsatzachromaten. Dies sollte bei der Anwendung des Makro-ST-Rechners

beachtet werden. Einzelne Stichprobentests ergaben, dass die sich aus den Ergebnissen (Anzahl der Aufnahmen) ableitenden Werte i.d.R. unterhalb von 10 % bleiben.

Spezielle Daten von Olympus für die vorgenommenen Ermittlungen haben mir nicht zur Verfügung gestanden.

Die Ergebnisse dürften zwar nicht bezüglich der absoluten Zahlen aber prinzipiell auf andere MFT/FT-Objektive übertragbar sein.

3 Schärfentiefe-Rechner mit Einbeziehung von Focus-BKT/Stacking Einstellwerten sowie Focus-Steps für Olympus Capture und Makroschlitten (Makro-ST-Rechner)

3.1 Bestandteile des Schärfentiefe-Rechners

3.1.1 Eingabewerte

Als variable Eingabewerte werden vorgesehen:

- Zerstreungskreisdurchmesser [Eingabe als Bruchteil der Sensordiagonale]
- Blendenzahl [Dezimalzahl laut Kameraeinstellung]
- Entfernung Objekt – Sensorebene [mm]
- Ggf. Maß der Zwischenringe [mm]
- Ggf. Stärke des Vorsatzachromaten [Dioptrien]
- Ggf. Scharf abzubildende Objektiefe (für Stacking Aufnahmen)
- Ggf. Gang des Makroschlitten-Triebknopfes

3.1.2 Ausgabewerte

Als Ausgabewerte werden vorgesehen:

- Zerstreungskreisdurchmesser [mm]
- Förderliche Blende
- Abbildungsmaßstab
- Bildbreite [mm]
- Schärfentiefe [mm]
- Passende Fokusunterschiede für Fokusbracketing/Stacking-Aufnahmen mit geeigneten Kameras
- Passende Olympus-Capture Einstellung für Focus-Steps (z.B. „<< +3 >>“)
- Anzahl der Aufnahmen bei Fokusbracketing sowie Anzahl der Olympus-Capture Focus-Steps (falls Objektiefe angegeben)
- Drehwinkel für Makroschlitten-Triebknopf

3.1.3 Programmierung des Schärfentiefen-Rechners

Der Rechner wurde mittels *Microsoft Excel* erstellt und mittels des *Excel-AddIns Spreadsheetconverter (Version 7)* zur Verwendung über Browser in HTML übersetzt.

Literaturverzeichnis

- Baumann, E. (2003). *Fotografie-Informationen - Technik*. Von <http://www.elmar-baumann.de> abgerufen
- Krause, E. (2009). *Schärfentiefe-Rechner mit Zusatzfunktionen*. Von <http://www.erik-krause.de> abgerufen
- Mendel, H. (2013). *Einfache Bestimmung der Hauptebenen eines DSLR-Objektivs*. Von <http://www.musisci.de> abgerufen
- Nierhoff, U. (kein Datum). *Makro-Schärfentiefe-Rechner*. Von <http://www.unfoto.de> abgerufen
- Oly-Forum. (2014). *Oly-Forum (Kabe im Thread "Capture Pro - Focus Steps" und fotofirnix im Thread "Capture Focus-Steps für ...")*. Von <http://www.oly-forum.com> abgerufen
- Oly-Forum. (2014). *Oly-Forum (Kabe im Thread "Stacking-Erweiterung für Olympus Capture unter OS X")*. Von <http://www.oly-forum.com> abgerufen
- Olypedia. (kein Datum). *Olypedia - M.Zuiko Digital ED 60 mm F2.8 Macro*. Von <http://www.olypedia.de> abgerufen
- Rückert, F. (2015). *pen3 - Makro wie...* Von <http://www.pen3.de> abgerufen
- Swissonline. (kein Datum). *Förderliche Blende*. Von <http://www.swissonline.ch> abgerufen
- Wagner, P. (kein Datum). *Optische Linsen - Bildkonstruktion und Berechnungen*. Von <http://www.scandig.info> abgerufen
- Wagner, R. (2011). Kapitel 2 - Belichtungsreihen. In R. Wagner, *Profibuch HDR-Fotografie*. FRANZIS.
- Wagner, R. (2012). *Olympus OM-D - Das kamerabuch zur E-M5*. FRANZIS.

Hinweis

Die hier errechneten Werte geben nur einen Anhalt, wie sich die Schärfentiefe voraussichtlich verteilen wird. Tatsächlich wird die Verteilung der Schärfentiefe von weiteren Faktoren beeinflusst, die hier nicht berücksichtigt werden können. Kontrollieren Sie deshalb die Schärfentiefeverteilung genau im Sucher Ihrer Kamera.

Urheberrecht

Marken, Namen sowie Warenzeichen, die in diesem Dokument genannt werden, sind Eigentum der jeweiligen Inhaber, auch wenn diese nicht ausdrücklich als solche gekennzeichnet sind.