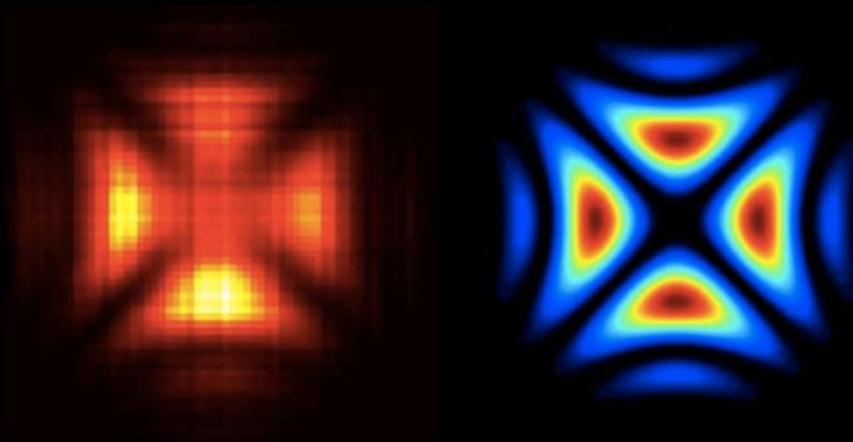


# Foto- und Kameratechnik



v2019.2 MEDT Pi

## INHALTSVERZEICHNIS

1 Die Fotokamera .....	5
1.1    Licht in der Fotografie .....	6
1.2    Geschichtliches und Grundlagen .....	7
1.2.1    Funktionsprinzip der Lochkamera .....	10
1.2.2    Abbildungsmaßstab Lochkamera.....	11
1.2.3    Abbildungsgeometrie einer Kamera mit Linse und Blende .....	14
1.3    Übersicht der Funktionsprinzipien der Kamera.....	16
1.3.1    Objektiv und Blende .....	16
1.3.2    Brennweite eines Objektivs.....	17
1.3.3    Schärfentiefe.....	19
1.3.4    Aufnahmemedium und Format.....	21
1.3.5    Exkurs: Auflagemaß .....	25
1.4    Die Kameratypen .....	26
1.4.1    Spiegelreflex-Kamera.....	28
1.4.2    Sucherkamera .....	29
1.4.3    Exkurs: Manuelle und automatische Fokussierung .....	32
1.4.4    Digitale Mittelformat-Kameras.....	33
1.4.5    Fachkamera/Großformat .....	34
1.4.6    Schärfentiefeneinstellung nach Scheimpflug.....	38
1.4.7    Welche Kamera wählen? .....	43
1.5    Bildwandler: CCD und CMOS.....	45
1.5.1    CCD-Bildwandler .....	48
1.5.2    CMOS-Bildwandler .....	50
1.5.3    CCD- und CMOS-Sensor-Bildfehler .....	52
1.5.3.5    Dynamik von Sensoren .....	54
1.6    Bedienelemente der Kamera .....	55
1.7    Autofokus und Bildschärfe (Akutanz) .....	56
1.7.1    Autofokussysteme .....	58
1.8    Optische Bildstabilisierung .....	60

1.9	Das Bokeh.....	62
1.10	Bildbeispiele .....	64
2	Objektive .....	69
2.1	Auswahlkriterien .....	69
2.2	Spezialobjektive.....	71
2.3	Abbildungsfehler von Objektiven.....	73
2.3.1	Verzeichnung.....	73
2.3.2	Streulicht / Blendenreflexe.....	73
2.3.3	Bildfeldwölbung.....	74
2.3.4	Beugung.....	74
2.4	Linsenfehler.....	75
2.4.1	Chromatische Abberation/Farblängsfehler .....	75
2.4.2	Sphärische Abberation.....	75
2.4.3	Astigmatismus.....	76
2.5	Fotografische Filter.....	77
2.5.1	Filterbauarten .....	77
2.5.2	Vergütung .....	77
2.5.3	Nützliche Filter .....	78
2.6	Die Objektivtypen .....	81
2.6.1	Teleobjektive.....	82
2.6.2	Weitwinkelobjektive.....	82
2.6.3	Normalbrennweiten .....	83
2.6.4	Makroobjektive.....	85
2.6.5	Bildbeispiele .....	86
3	Belichtung .....	96
3.1	Empfindlichkeit.....	98
3.2	Belichtungsmessung .....	98
3.2.1	Objektmessung .....	99
3.2.2	Lichtmessung .....	100
3.3	Belichtung kontrollieren.....	100
3.3.1	Die Automatiken .....	100

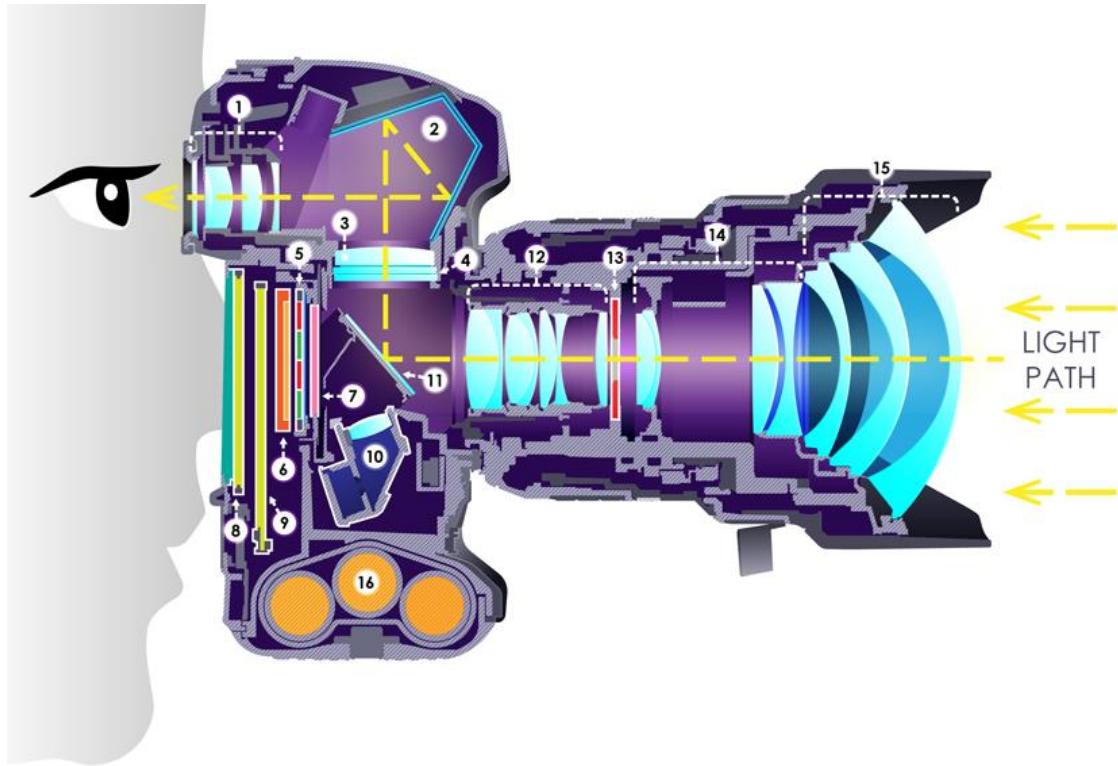
4	Das SWAGVF-Prinzip und Praxistipps.....	102
4.1	Das SWAGVF-Prinzip.....	102
4.1.1	Sound .....	102
4.1.2	Weißabgleich .....	102
4.1.3	Apertur, Gain/ISO und Verschlusszeit .....	103
4.1.4	Fokus.....	104
4.2	Praxistipps.....	104
4.2.1	Bildbeispiele Porträt .....	107
4.2.2	Bildbeispiele Produktfotografie.....	113

## 1 DIE FOTOKAMERA

Beginnen wir mit den **grundlegenden Eigenschaften** von Foto-/Videokameras:

### Eine Kamera

- ist **lichtdicht**
- hat eine **Öffnung** um Licht zum Film bzw. zum Sensor zu lassen
- hat (meist) einen **Verschluss**
- hat (meist) eine einstellbare **Blendenöffnung**
- hat (meist) eine Vorrichtung zum Einstellen der **Bildschärfe**
- hat (meist) einen **Sucher**

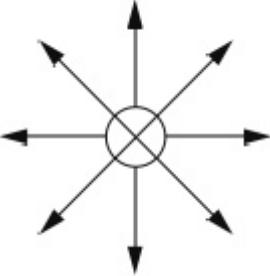
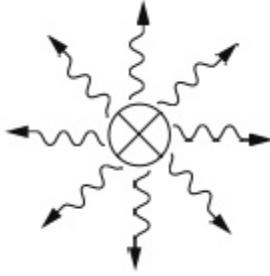
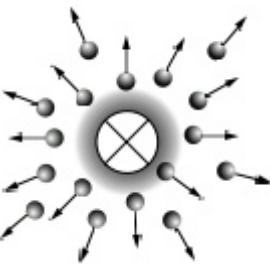


**Abbildung 1: Schnitt durch eine digitale Spiegelreflex-Kamera**

**1 Sucher, 2 Pentaprisma, 3 Mattscheibe, 4 Kondensorlinse (bündelt Licht), 5 CFA und IR-Filter, 6 Sensor, 7 Verschluss, 8 Display, 9 Elektronik, 10 AF-System, 11 Umlenkspiegel (teildurchlässig), 12 Fokus-Linsengruppe, 13 Blende, 14 Zoom-Linsengruppe, 15 Sammellinsen, 16 Batterie**

## 1.1 LICHT IN DER FOTOGRAFIE

Über die Eigenschaften des Lichts haben wir in den vergangenen Jahrgängen bereits viel gehört. Für die Fotografie sind die folgenden Eigenschaften bei der Betrachtung des Themas wichtig. Grundlegend unterscheiden wir zwischen **drei Betrachtungsweisen**.

Lichtstrahl	Welle	Photon
		
Beschreibung <b>des Wegs</b> , den das Licht zurücklegt. Liefert keine Aussage zur Natur des Lichts.	Damit können Beugung und Interferenz erklärt werden. Man geht davon aus, dass Licht <b>Wellencharakter</b> hat.	Damit kann der <b>Fotoeffekt</b> erklärt werden. Man geht davon aus, dass Licht <b>Teilchencharakter</b> hat.

**Licht als elektromagnetische Welle:** Der für uns sichtbare Anteil des elektromagnetischen Spektrums ist das, was in der Fotografie die Farbdarstellung bestimmt.

**Elementarwellen die sich überlagern bilden eine Wellenfront (Huygens und Fresnel).**

Damit lassen sich Phänomene wie **Beugung** und **Interferenz** beschreiben. Beugung spielt in der Fotografie eine große Rolle in Form der Beugungsunschärfe bei kleinen Blendenöffnungen.

**Der Fotoeffekt (auch fotoelektrischer Effekt, Einstein):** Wenn man annimmt, dass Licht aus einzelnen Lichtteilchen besteht (Photonen), kann damit die die **Funktionsweise eines Kamera-sensors erklärt** werden. Photonen treffen auf ein Material (Silizium) und können dabei Elektronen lösen. Mit höherer Lichtintensität treffen mehr Photonen auf und mehr Elektronen werden frei. Somit ist beschrieben, wie ein Fotosensor die Lichtintensität in elektrische Spannung umsetzt.

**Die Polarisationsrichtung** definiert, in welcher Schwingungsebene die Wellen liegen. Da Licht eine Transversalwelle ist, wird durch den Vektor des elektrischen Feldes die Amplitude gegeben. Die Richtung des Vektors wird Polarisationsrichtung genannt. Die Polarisation ist bei der Fotografie z.B. hinsichtlich des Polfilters relevant.

**Reflexion und Brechung (Snellius):** Bei Objektiven und Filtern treten solche Effekte auf und beeinflussen das Bildergebnis. Der Effekt der chromatischen Aberration, Streulicht und Blendenreflexe können damit beschrieben werden.

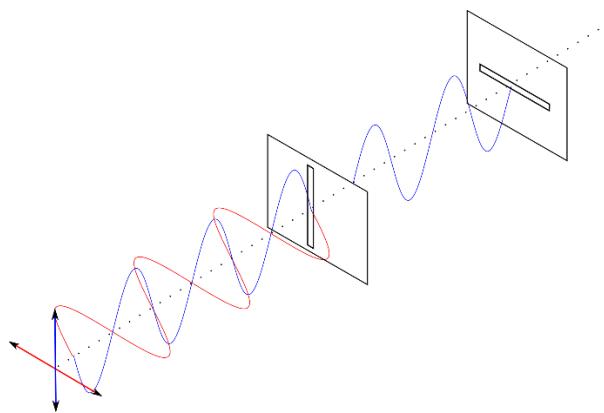


Abbildung 2: Polarisierung des Lichts

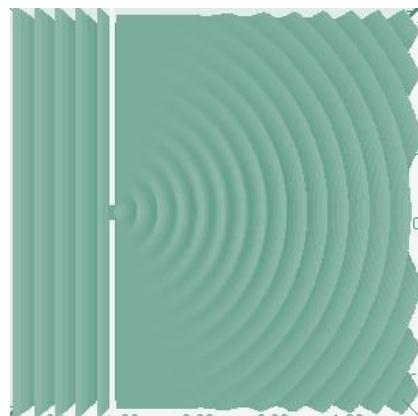


Abbildung 3: Beugungseffekt

## 1.2 GESCHICHTLICHES UND GRUNDLAGEN

Die **erste Lochkamera (Camera Obscura)** wurde vermutlich von Alhazen (Gelehrter) im 9. Jahrhundert n. Chr. konstruiert. Davor hatte bereits Aristoteles 330 v. Chr. grundlegende optische Gesetze entdeckt.

Im 16. Jahrhundert existierten zwei verschiedene Arten der **Camera Obscura** (dunkler Raum). Neben der bekannten - ein verdunkelter Raum mit einer kleinen Öffnung in der Wand - die zB. zum Studium einer Sonnenfinsternis genutzt wurde, führte der deutsche Astronom **Johannes Kepler**, der auch den Ausdruck „Camera Obscura“ prägte, eine neue Bauform durch zusätzliches **Anbringen einer Linse** ein.

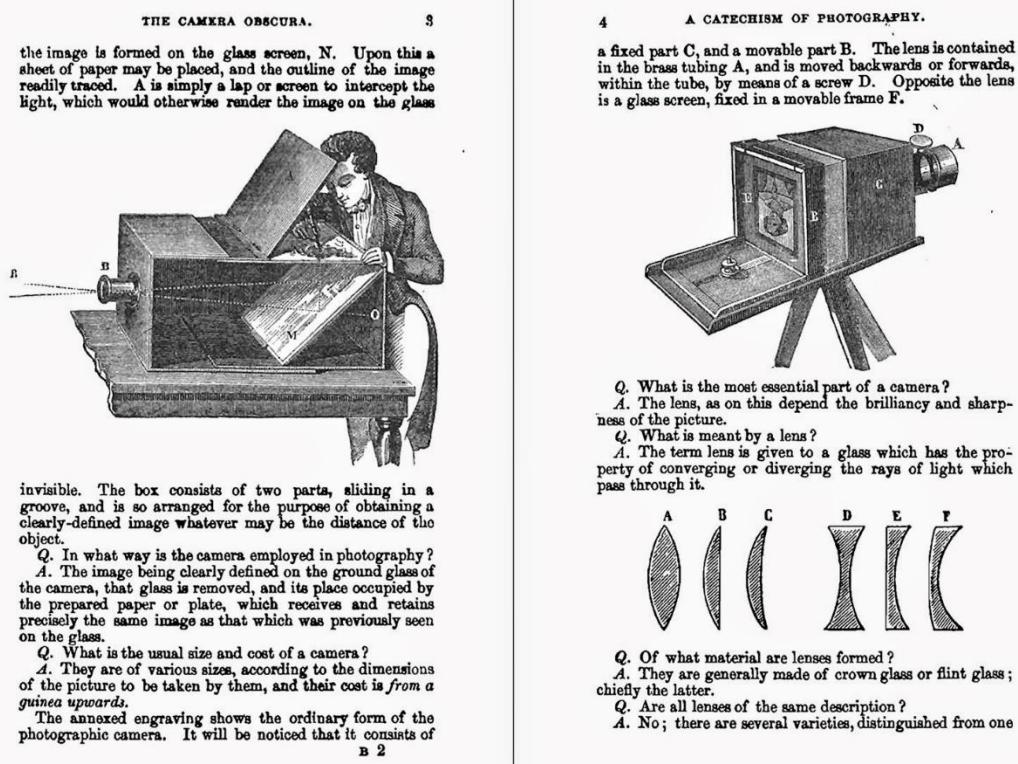


Abbildung 4: Camera Obscura

Diese **Linse erzeugte ein helleres Bild**, das allerdings nun nur noch auf eine **bestimmte Entfernung fokussiert** werden konnte. Eine **Lochkamera ohne Linse** hat eine „unendliche“ Schärfeebene.

Die Projektionen wurden anfangs abgezeichnet wie in Abbildung 4 ersichtlich ist, später dann durch ein **Aufnahmemedium** (Chemisch, Digital) festgehalten.

1827 gelang es **Joseph Nicéphore Nièpce**<sup>1</sup> mit einer Camera obscura im **Heliografie-Verfahren** die erste bekannte und bis heute erhaltene Fotografie *La cour du domaine du Gras* zu erzeugen.

Nièpce hielt 1827 mit einer Camera obscura und einer mit Asphalt beschichteten, 21 cm × 16 cm großen polierten Zinnplatte einen Blick aus dem Fenster seines Arbeitszimmers fest. Die **Belichtungszeit lag bei ca. 8 Stunden**. Unter Lichteinwirkung wurde der Asphalt gehärtet, so dass bei der anschließenden „Entwicklung“ mit Lavendelöl und Petroleum nur die schwächer belichteten Asphaltpartien herausgelöst wurden. Somit war das Bild zugleich „fixiert“ und lichtbeständig.

<sup>1</sup> Aussprache: [njɛps]



Abbildung 5: Erste bekannte Fotografie von Nièpce

**Louis Daguerre** konnte 1839 die Belichtungszeit auf weniger als 30 Minuten reduzieren. Daguerre war Partner von Nièpce, der den Durchbruch der „modernen Fotografie“ im Jahr 1839 nicht mehr miterlebte. Somit gilt Daguerre mit seiner als „**Daguerrotypie**“ genannten Technik als **Erfinder der Fotografie mit einem Speichermedium**. Da diese Erfindung von großer Bedeutung für die Weltgeschichte war, wurde Daguerre als einziger Nicht-Wissenschaftler auf dem Eiffelturm verewigt.

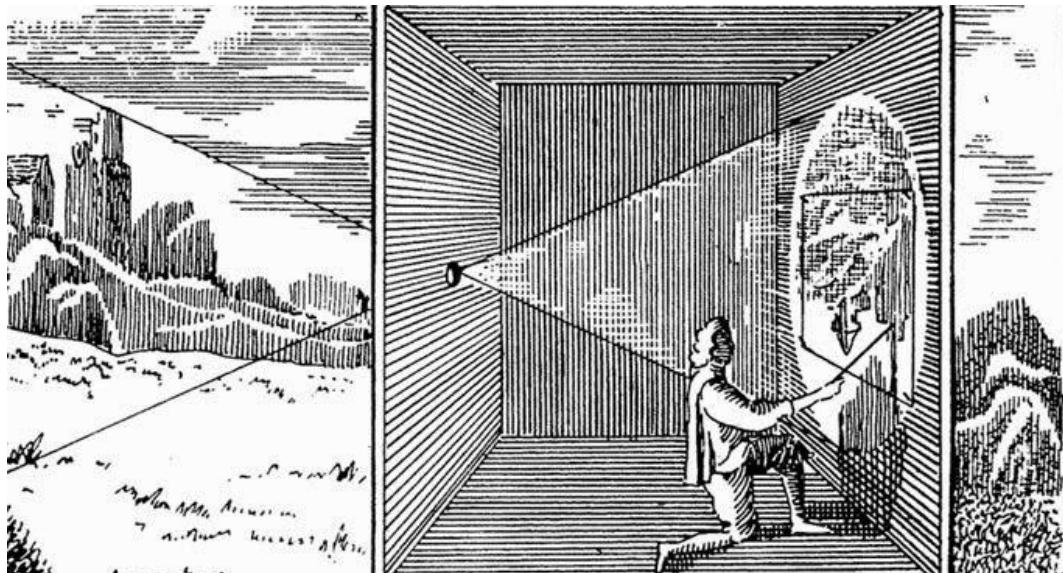


Abbildung 6: Daguerres Name am Eiffelturm

### 1.2.1 FUNKTIONSPRINZIP DER LOCHKAMERA

Das **Abbildungsprinzip** einer Lochkamera besteht darin, dass durch eine Lochblende nahezu alle Lichtstrahlen, bis auf ein **möglichst kleines Bündel in gerader Verbindung zwischen Objekt- und Bildpunkt**, ausgeblendet werden.

Es bestimmt allein der **Durchmesser der Lochblende die Bildschärfe und die Helligkeit des Bilds**. Die Lichtstrahlen treten in einem **kleinen Einfallswinkel durch das Loch in die Kamera ein und werden dabei gekreuzt**. An der Abbildung lässt sich gut erkennen, dass der obere Strahl auf den unteren Bereich der gegenüberliegenden Wand trifft und der untere Strahl auf den oberen Bereich der Wand.



**Abbildung 7: Begehbarer Camera Obscura**

Während eine **Linse** ein Bild dadurch erzeugt, dass sie alle auf sie treffenden Lichtstrahlen von jedem Punkt des Aufnahmeobjekts in einem **gemeinsamen Brennpunkt** vereinigt, erzeugt das **Loch einer Lochkamera überhaupt keinen Brennpunkt**. *Idealerweise wäre das Loch ein Punkt, also nur so groß, dass von jedem Punkt des Objekts lediglich ein Lichtstrahl passieren könnte.*

Würde man die Filmebene vor oder zurück bewegen, bliebe das Bild unverändert, **lediglich seine Größe** würde sich abhängig von der Entfernung zum Loch ändern.

---

### 1.2.2 ABBILDUNGSMAßSTAB LOCHKAMERA

Der **Abbildungsmaßstab** kann wie folgt berechnet werden:

$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$

*G: Größe des Gegenstands*

*B: Größe der Abbildung*

*g: Abstand zwischen Gegenstand und Loch*

*b: Abstand zwischen Loch und Filmebene*

**Beispiel Lochkamera:** Ein 10 cm großes Objekt soll in einer Entfernung von 0,5 m auf die Filmebene (5 cm hoch) projiziert werden. Wie groß muss der Abstand zwischen Loch und Filmebene sein?

$$b = \frac{50 * 5}{10}$$

Somit ist  $b = 25 \text{ cm}$ , dh. die Lochkamera müsste 25 cm lang sein (Abstand vom Loch zum Film).

Da es **keinen Brennpunkt** gibt, ist eine Lochkameraaufnahme über das gesamte Bildfeld gleichmäßig scharf (soweit man hier von Schärfe sprechen kann). In anderen Worten: es gibt **keine Beschränkung der Tiefenschärfe** wie bei der Fotografie mit Hilfe von Linsen.

Wer Zugang zu einer Kamera mit abnehmbarem Objektiv hat, kann sich eine Lochkamera einfach selbst erstellen. Betrachte dazu die folgende Abbildung. Welche Einflussfaktoren auf Schärfe und Abbildungsmaßstab lassen sich treffen? Was passiert, wenn die Form der Apertur verändert wird? Wie würde ein 3D-Druck-Lochkamera-Zoomobjektiv aussehen?

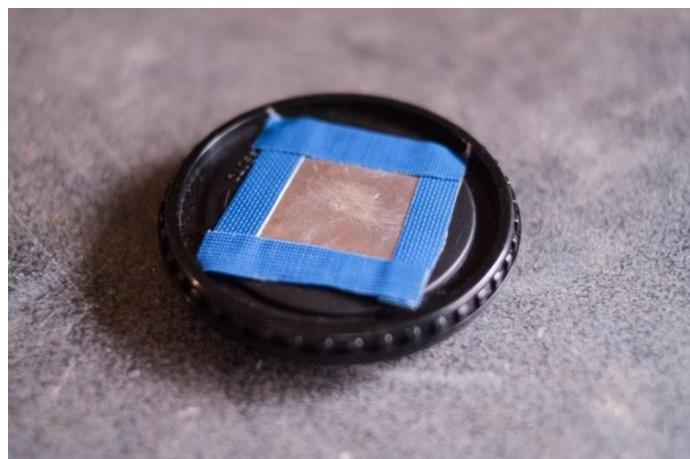




Abbildung 8: Lochkamera Harman TiTAN



Abbildung 9: Beispiel Lochkamera (Harman TiTAN)



Abbildung 10: Beispiel Lochkamera (Harman TiTAN)



Abbildung 11: Beispiel Lochkamera, Farbaufnahme (Harman TiTAN)

### 1.2.3 ABBILDUNGSGEOMETRIE EINER KAMERA MIT LINSE UND BLENDE

Je kleiner der **Blendendurchmesser (Loch)** und je größer die **Entfernung** des abzubildenden Objekts zum Loch ist, desto kleiner sind die sog. **Zerstreuungskreise Z**.

**Zerstreuungskreise** entstehen in der Fotografie wenn die Projektion eines Punkts eines Motivs vor beziehungsweise hinter der Projektionsebene liegt oder wenn durch Beugung ein zu projizierender Lichtpunkt unscharf als Beugungsscheibchen abgebildet wird. Diesen Effekt kennen wir als **Unschärfe**.

**Schärfe, bzw. eine als scharf wahrgenommene Abbildung**, ergibt sich aus dem Auflösungsvermögen unserer Augen, diese beträgt ca. 1 Bogenminute<sup>2</sup>. Wir erkennen somit zwei nebeneinanderliegende Punkte als getrennt, wenn diese einen Abstand von **2 Bogenminuten** aufweisen. Wird die maximal zulässige Zerstreuungskreis-Größe überschritten, nehmen wir Unschärfe wahr.

Besondere Bedeutung erlangt der Zerstreuungskreis bei der Berechnung der **Schärfentiefe**<sup>3</sup>. Es entstehen Zerstreuungskreise, die **ab einer bestimmten Größe für ein bestimmtes Sensorformat als Unschärfe** definiert werden.

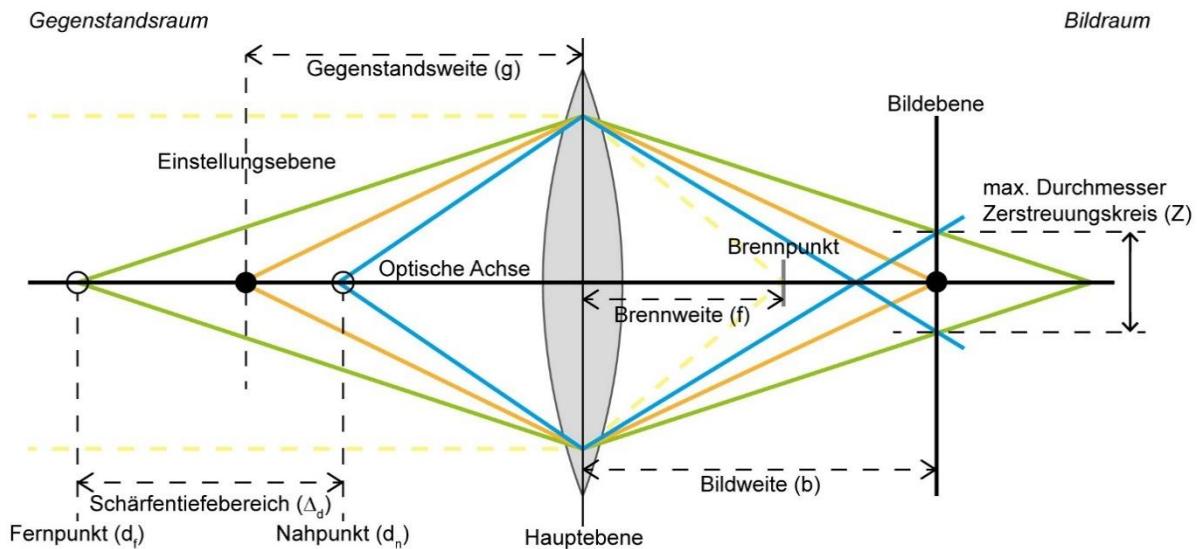


Abbildung 12: Zerstreuungskreis

Bei einer bestimmten Blende, der sogenannten **kritischen Blende/förderlichen Blende** ergibt sich eine minimale Unschärfe und somit ein maximales Auflösungsvermögen.

Um ein hinreichend scharfes Bild zu erhalten darf der **Zerstreuungskreisdurchmesser eine gewisse Größe nicht überschreiten**.

<sup>2</sup> 60 Bogenminuten ( $60'$ ) = 1 Grad ( $1^\circ$ )

<sup>3</sup> Englisch: DOP Depth of Field

Der genaue Wert dieses maximal zulässigen Zerstreuungskreisdurchmessers ist abhängig von der anschließenden Vergrößerung des Bildes und vom Betrachtungsabstand.

Der **Schärfentiefe-Bereich** kann durch ermitteln des Nah- und Fernpunkts errechnet werden. Alternativ können Schärfentiefe-Rechner im Web oder Apps verwendet werden:

<http://www.erik-krause.de/schaerfe.htm>



Abbildung 13: Schärfentiefe

In der fotografischen Praxis geht man oft von einem tolerierbaren **Zerstreuungskreisdurchmesser Z** wie folgt aus:

$$Z = \frac{d(F)}{1500}$$

**d(F)** entspricht dabei der **diagonalen Ausdehnung des Aufnahmeformates**.



Abbildung 14: Zerstreuungskreise

### 1.3 ÜBERSICHT DER FUNKTIONSPRINZIPIEN DER KAMERA

Ein **Kamera-System** besteht üblicherweise aus folgenden Komponenten:

- Öffnung bzw. **Objektiv**
- **Blende** um die Lichtmenge zu dosieren
- **Verschluss** um die Dauer der Belichtung zu regeln
- Ein Aufnahmemedium bzw. dem **Aufnahmeformat**
- Einer Vorrichtung zum Anpassen der **Schärfe** (Fokus)

#### 1.3.1 OBJEKTIV UND BLENDE

Mit einem Objektiv werden **Schärfentiefe**, **Bildwinkel**, **Fokuspunkt**, **Abbildungsmaßstab** und **die Lichtmenge** (mit der Blende) geregelt.

$f/4$



Abbildung 15: Objektiv der Lichtstärke 1,8 bei Blende 4

Die max. **Lichtstärke eines Objektivs** ergibt sich aus der **Brennweite  $f$  und dem max. möglichen Durchmesser  $D$**  der Blendenöffnung<sup>4</sup>. Angegeben wird diese als **Kehrwert** zB. 1/4 oder  $f/4$ .

$$\text{Blendenzahl } k = \frac{f}{D}$$

So ergibt sich zB. für ein Objektiv 200 mm  $f/4$  ein Durchmesser der Blendenöffnung von 50 mm. Jener Wert, der am Objektiv (meist an der Frontlinse) angegeben ist, stellt die **maximale Blendenöffnung** dar.

Die **Blende**<sup>5</sup> wird als Blendenzahl angegeben, manchmal auch als t-stop. Bei der t-stop-Angabe wird keine Verhältniszahl, sondern die tatsächliche messtechnisch Durchgangsgröße (Lichtausbeute) ausgedrückt.

<sup>4</sup> Auch als Apertur bezeichnet

<sup>5</sup> Englisch: F-Stop



Ein Blendenschritt wird als **EV<sup>6</sup>** bezeichnet. + 1 EV ist somit Verdoppelung der Lichtmenge, - 1 EV die Halbierung der Lichtmenge.

Die **Blendenreihe** drückt eine Verdoppelung bzw. Halbierung der Lichtmenge aus. Die Werte errechnen sich durch **Multiplikation mit  $\sqrt{2}$** .

Die **Blendenreihe** in Werten: ... 1 – 1,4 – 2 – 2,8 – 4 – 5,6 – 8 – 11 – 16 – 22 ...

### **Beispiel Berechnung Lichtstärke:**

Berechne die Lichtstärke eines Objektivs mit  $D = 80 \text{ mm}$  und  $f = 200 \text{ mm}$ . Die Lichtstärke beträgt in diesem Fall 1:2,5

#### 1.3.2 BRENNWEITE EINES OBJEKTIVS

Die **Brennweite** eines Objektivs ergibt sich meist aus der optischen Mitte eines Objektivs zum Aufnahmemedium in Millimeter *mm*.

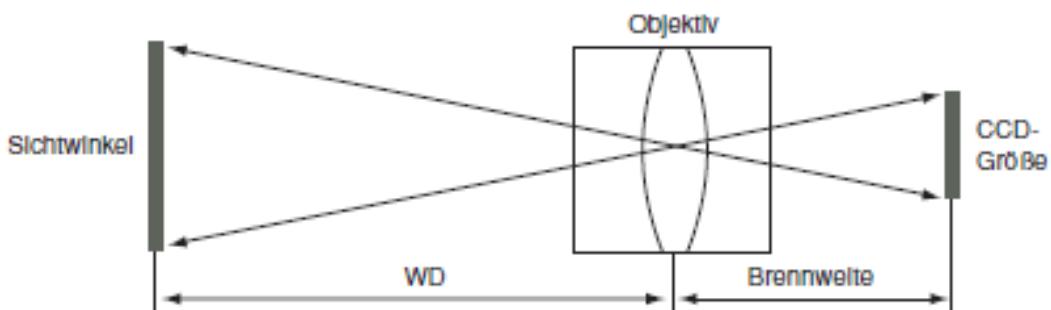


Abbildung 16: Verhältnis Brennweite, Arbeitsdistanz (WD) und Bildwinkel (Sichtwinkel)

Die **Normalbrennweite**  $f(N)$  errechnet sich aus der **Diagonalen des Aufnahmeformats**. Mit Normalbrennweite ist gemeint, dass man einen natürlichen Eindruck (menschliche Wahrnehmung) von einer Szene bei dieser Brennweite erreicht.

### **Beispiel Normalbrennweite ermitteln:**

Gegeben sei ein Aufnahmeformat von  $24 \times 36 \text{ mm}$  (Kleinbild).

Errechne die Normalbrennweite.

$$f(N) = d(F) = \sqrt{24^2 + 36^2}$$

<sup>6</sup> Exposure Value

Die Normalbrennweite für das Kleinbildformat beträgt somit 43,2 mm, wobei sich 50 mm als Normalbrennweite für das KB-Format eingebürgert hat.

Die **Arbeitsdistanz** ist jener Abstand, auf den ausgehend von der Frontlinse des Objektivs, mindestens scharfgestellt werden kann. Dieser ist manchmal in den technischen Daten zum Objektiv angegeben.

Als **hyperfokale Entfernung** beziehungsweise **hyperfokale Distanz** wird in der Fotografie diejenige **Gegenstandsweite** bezeichnet, bei der, wenn man genau auf diese **Entfernung fokussiert**, **im Unendlichen** liegende Objekte ebenfalls gerade noch mit akzeptabler Unschärfe abgebildet werden. Berechnet wird diese wie folgt:

$$d(h) = \frac{f^2}{k * Z} + f$$

f = Brennweite

k = Blendenzahl

Z = Zerstreuungskreis-Durchmesser

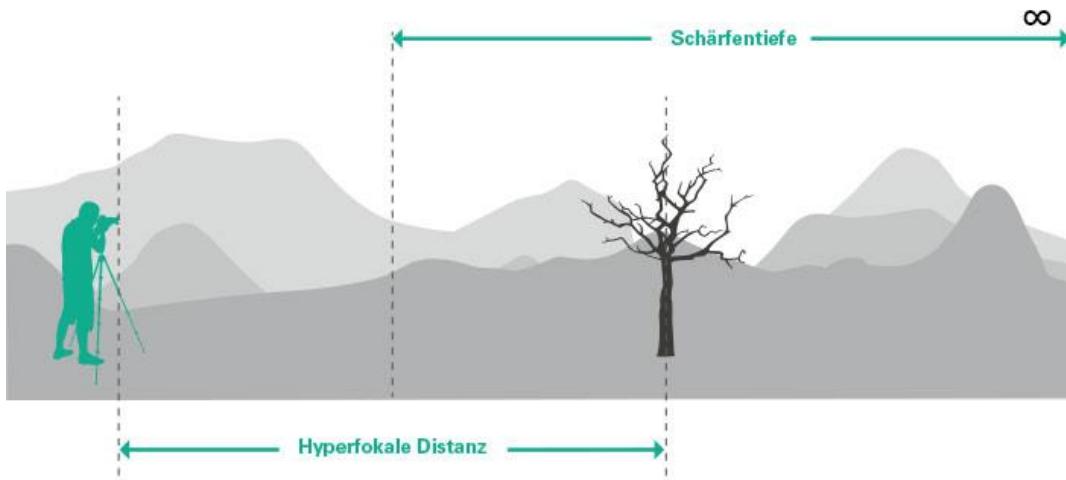


Abbildung 17: Hyperfokale Distanz

Ab der **halben hyperfokalen Distanz** bis unendlich wird die Abbildung als Scharf wahrgenommen – vorausgesetzt man fokussiert auf die Entfernung des Distanzpunkts.

### 1.3.3 SCHÄRFENTIEFE

Die **Schärfentiefe**<sup>7</sup> ist die Distanz zwischen dem **Nahpunkt** und **Fernpunkt** im Bild, der abhängig von  $Z$  scharf abgebildet wird. Diese wird aus bildgestalterischen oder technischen Anforderungen an das Bild durch die **Blendenöffnung**, den **Abstand** und indirekt der **Brennweite** kontrolliert.

**Je kleiner die Brennweite – desto größer die Schärfentiefe**

**Je höher die Blendenzahl – desto größer die Schärfentiefe**

**Je größer der Objektabstand – desto größer die Schärfentiefe**

Die Schärfentiefe kann wie folgt errechnet werden:

$$\text{Entfernung Nahpunkt } d_n = \frac{g * (d(h) - f)}{d(h) + g - 2 * f}$$

$$\text{Entfernung Fernpunkt } d_f = \frac{g * (d(h) - f)}{d(h) - g}$$



$$\text{Gesamte Schärfentiefe } \Delta_d = d_f - d_n$$



Abbildung 18: Unterschiedliche Blendenzahl bei gleicher Brennweite und Abstand

<sup>7</sup> Englisch: Depth of Field

**Rechenbeispiel:** Gegeben sei ein 50 mm Objektiv (KB-äquivalent), fotografiert wird bei Blende f/11, Gegenstandsweite 400 cm. Errechne hyperfokale Distanz, max. zulässige Zerstreuungskreis-Durchmesser und die Normalbrennweite zum Aufnahmeformat APS-C (22,2 x 14,8 mm). Errechne den Crop-Faktor des Sensors. Berechne Nah- und Fernpunkt, sowie die Schärfentiefe.

$$f(N) = \sqrt{22,2^2 + 14,8^2}$$



Die Sensordiagonale bzw. die Normalbrennweite des Aufnahmeformats beträgt 26,68 mm.

$$\text{Cropfaktor} = \frac{43,2}{26,68}$$

Der Cropfaktor beträgt 1,62.

$$\max.Z = \frac{26,68}{1500}$$

Die maximal tolerierbare Zerstreuungskreis-Größe beträgt 0,0177 mm.

$$d(h) = \frac{2500}{11 * 0,0177} + 50$$

Die hyperfokale Distanz beträgt ca. 12,89 m.

$$d_n = \frac{4000 * (12890 - 50)}{12890 + 4000 - 100}$$

Der Nahpunkt liegt bei 3,058 m.

$$d_f = \frac{4000 * (12890 - 50)}{12890 - 4000}$$

Der Fernpunkt liegt bei 5,78 m.

$$\text{Gesamte Schärfentiefe } \Delta_d = d_f - d_n$$

Die Schärfentiefe beträgt 2,72 m.

**Zusammenfassung verbal:** Würde man mit Blende f/11 und einem 50 mm KB-Objektiv bei einem APS-C-Sensor auf ein Objekt in 4 m Abstand fokussieren, wäre ab ca. 3 m Abstand bis ca. 5,8 m Abstand scharf abgebildet. Vor dem Objekt wäre ca. 1 m, dahinter ca. 1,8 m scharf abgebildet. Wenn man auf ca. 12,9 m fokussiert, wäre ab ca. 6,5 m bis unendlich scharf abgebildet.

Rechne ein Beispiel mit selbst gewählten Angaben einer realen Kamera durch. Gehe von einer Landschaftsaufnahme aus.

### 1.3.4 AUFNAHMEMEDIUM UND FORMAT

Der **Abbildungsmaßstab** ist das **Verhältnis der Abbildungsgröße** eines **Objekts am Sensor** zur **Größe des Objekts vor dem Objektiv**.  $1:1(1,0)$  bedeutet, dass das Objekt in **Originalgröße** auf den **Sensor** projiziert wird. Dies ist von der **Naheinstellgrenze** des Objektivs abhängig.



Abbildung 19: Abbildungsmaßstab

In der Abbildung wird das Objektiv links oben mit 2,5 cm Mindestabstand zum Objekt angegeben. Verifizierte diese Angabe in den technischen Daten zum Objektiv.

Der **Bildwinkel** ist abhängig von der **Sensorgroße und der Brennweite** eines Objektivs. Man unterscheidet **den horizontalen, vertikalen und diagonalen Bildwinkel**. Das **Sichtfeld** (FOV = field of view) ist jener Bereich, der vom horizontalen und vertikalen Bildwinkel abhängig, die Ausschnittgröße (was am Foto zu sehen ist) definiert.

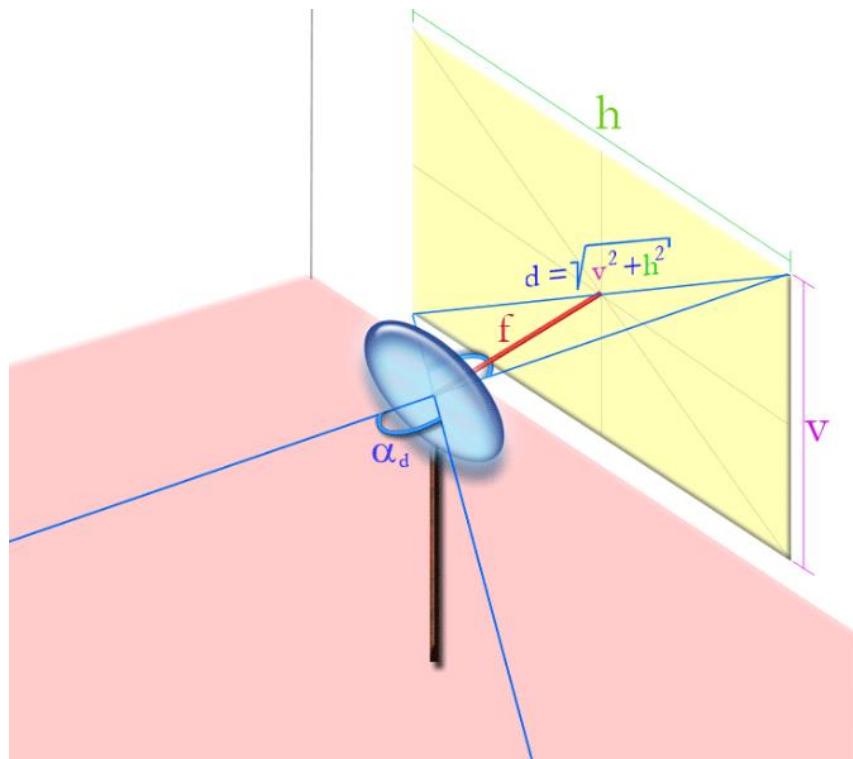


Abbildung 20: Diagonaler Bildwinkel eines Objektivs

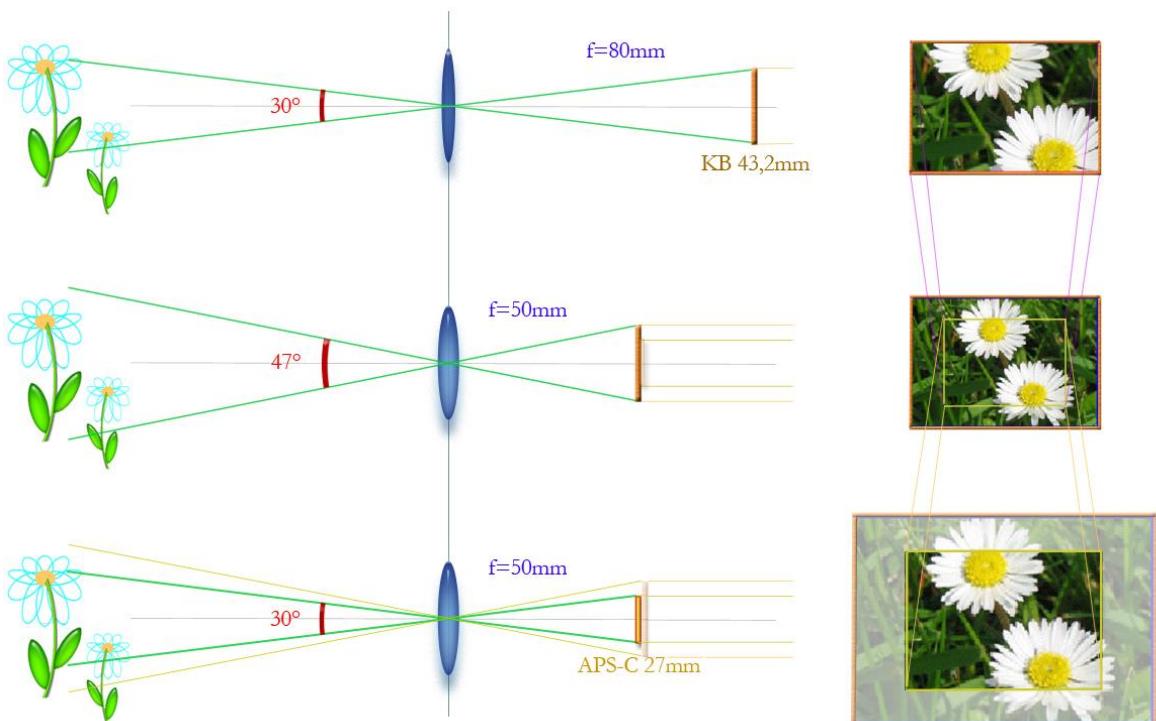


Abbildung 21: Bildwinkel und Sichtfeld (FOV). Bei 50 mm APS-C ergibt sich trotz gleicher Brennweite eine „gecroppte“ Abbildung

### 1.3.4.1 CROP-FAKTOR

Der **Crop-Faktor** oder **Formatfaktor** ist jener Faktor, der das Verhältnis zwischen dem Vollformat und dem tatsächlich verwendeten Aufnahmeformat angibt.

$$\text{Cropfaktor} = \frac{d(F)\text{Vollformat}}{d(F)\text{tatsächliches Format}}$$

**Multipliziert man die Brennweite (KB-äquivalent) mit dem Crop-Faktor**, ergibt sich jener Bildausschnitt, den man an einer Vollformatkamera erreichen würde. Umgekehrt ergibt sich die Crop-Brennweite für den gleichen Bildausschnitt.

*Beispiel: Ein 50 mm Objektiv an einer APS-C Kamera (Faktor ca. 1,6 bei Canon zB.) hat den gleichen Bildausschnitt wie eine Vollformatkamera bei 80 mm. Dh. ein 50 mm Objektiv ist an einer Vollformatkamera eine Normalbrennweite, an einer Crop-Kamera entspricht der Bildausschnitt jedoch einem 80 mm Objektiv, einem leichten Tele. Möchte man ein Normalbrennweite-Objektiv an einer Crop-Kamera, müsste man ein 24 – 35 mm Objektiv verwenden.*

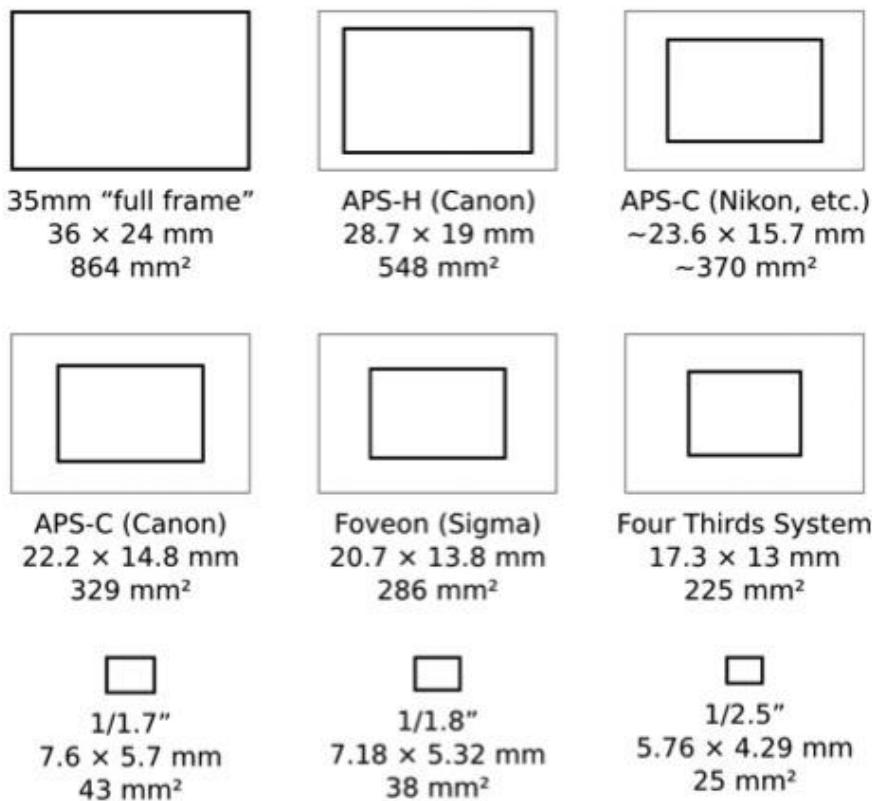


Abbildung 22: Typische Aufnahmeformate von DSLR-Kameras

Der **Crop-Faktor** kann auch zur **Ermittlung der Schärfentiefe** verwendet werden. Das bedeutet, dass ein 50 mm Objektiv  $f/2$  an einer Crop-Kamera (Faktor zB. 1,6) eine sehr ähnliche Schärfentiefe (und Bildausschnitt) aufweist, wie ein 80 mm Objektiv  $f/3,2$ . Umgekehrt würde man ein 32 mm  $f/1,2$  Objektiv an der Crop-Kamera benötigen, um die gleiche Schärfentiefe und Bildausschnitt wie das 50 mm  $f/2$  Objektiv an der Vollformat-Kamera zu erhalten.

$$f * \text{crop Faktor} = \text{FOV KB}$$

$$\text{Blende} * \text{crop Faktor} = \text{Blende KB}$$

### **Beispiel Crop-Faktor:**

*Sensor 1 ist ein KB/Vollformat-Sensor*

*Sensor 2 ist ein  $4/3$ "-Sensor (Four Thirds mit Crop-Faktor 2,0)*

*An der Four-Thirds-Kamera wird ein Objektiv mit 45 mm Brennweite und Blende  $f/1,8$  verwendet.*

*Welches Objektiv muss ich an der KB-Kamera verwenden, damit das Sichtfeld (FOV) mit der Crop-Kamera übereinstimmt?*

*Ein **90 mm** Objektiv ( $45 * 2,0$ )*

*Welche Blende muss ich an der KB-Kamera einstellen, damit sich die Schärfentiefe gleicht?*

*Ich muss **Blende  $f/3,6$**  einstellen. ( $1,8 * 2,0$ )*

*Mit einer Crop-Kamera (Faktor 1,5) soll eine ähnliche Schärfentiefe und Bildausschnitt/Perseptive wie mit einer KB-Kamera bei 100 mm  $f/2,0$  erreicht werden. Welche Brennweite und Blende stellst du bei der Crop-Kamera ein?*

*Ich verwende ein Objektiv mit ca. **60 – 70 mm** Brennweite und eine **Blende 1,3** (wenn möglich). An diesem Beispiel zeigt sich auch der Vorteil der größeren Sensoren.*

*Anmerkung: Natürlich bleibt ein 50 mm  $f/2$  Objektiv auch an einer Crop-Kamera ein solches. Durch die Ausschnittvergrößerung aufgrund des kleineren Sensors der Crop-Kamera ergeben sich jedoch die oben genannten Effekte. Der Crop-Faktor dient quasi zur Einschätzung, welches Objektiv an einer Crop-Kamera verwendet werden kann, um das gleiche Bild wie eine Vollformat-Kamera zu erzielen – oder umgekehrt. Brennweiten werden in der Regel immer KB-äquivalent angegeben!*

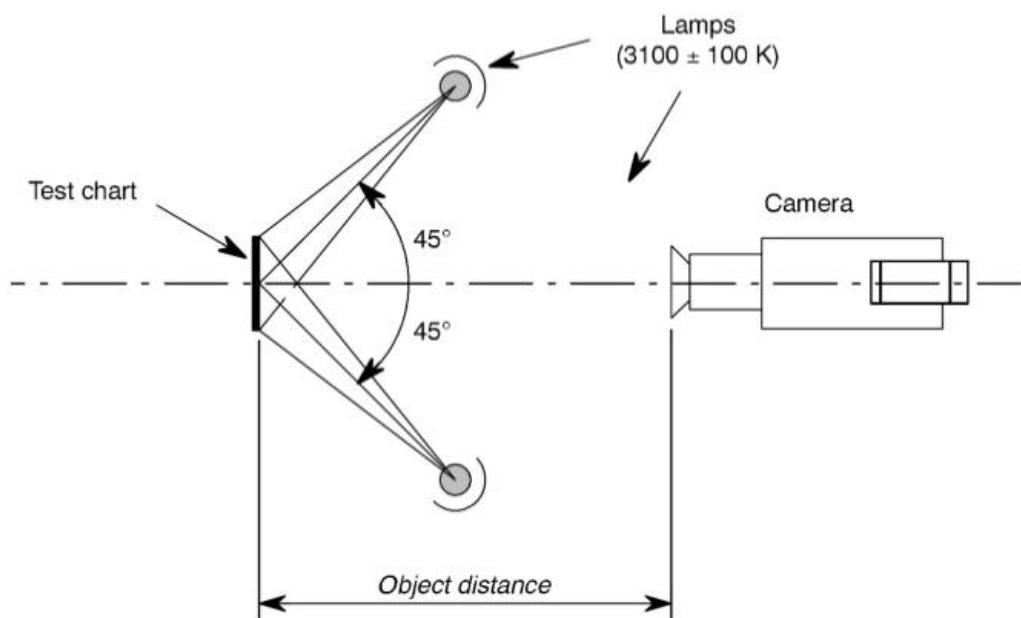
### 1.3.5 EXKURS: AUFLAGEMAß

Das **Auflagemaß**<sup>8</sup> ist der Abstand zwischen Bildsensor und Bajonett des Objektivs und ist bei den meisten Kameras fix. Bei einigen Profiobjektiven kann das Auflagemaß verändert werden um den Fokus zu korrigieren.

Dazu ist ein **Siemensstern** nötig. Dieser wird an der Wand angebracht.

- Blende auf **Offenblende** stellen.
- **Maximale Brennweite** einstellen.
- Mit dem Fokusring oder Wippe auf die **Mitte fokussieren**.
- Nun die **kürzeste Brennweite** einstellen.
- Mit dem **Flansch-Ring das Auflagemaß** einstellen
- Maximale Brennweite einstellen und fokussieren.
- Wenn nun gezoomt wird, müssen minimale und maximale Brennweite scharf abilden. Das wird am besten mit Fokus-Peaking<sup>9</sup> in den R, G und B-Kanälen festgestellt.

**Reflektive Testcharts** müssen wie folgt angebracht und ausgeleuchtet werden.



<sup>8</sup> Englisch: Flange-Back

<sup>9</sup> Visuelle Hervorhebung kontrastreicher/scharfer Bildstellen

#### 1.4 DIE KAMERATYPEN

Es gibt in erster Linie zwei grundlegende Unterscheidungsmerkmale für die vielen verschiedenen Kameratypen:

##### **Bauform und Format digitaler Kameras:**

- **Systemkameras** (Fuji X, Olympus OM-D...)
- **Kompakt- und Bridgekameras** (Canon IXUS, Panasonic Lumix...)
- **Mittelformatkameras** (Hasselblad, PhaseONE...)
- **Großformatkameras**

##### **Suchertechnologie:**

- **Optische** bzw. **digitale Sucherkameras**
- **Spiegelreflexkameras**
- **Digitalkameras** mit Display
- **Mattscheibe** wie bei Fachkameras

In den folgenden Kapiteln werden die verschiedenen Bauformen und Typen von Fotokameras vorgestellt.

Als Einleitung dient eine Übersicht der technischen Evolution von Kameras über die Jahrzehnte hinweg. Unter der folgenden Web-Adresse kann die Übersicht im Detail betrachtet werden:

<http://www.bitrebels.com/technology/photography-history-100-landmark-cameras/>



#### 1.4.1 SPIEGELREFLEX-KAMERA

Der Begriff Spiegelreflexkamera bedeutet, dass man durch den **Sucher** durch das jeweils montierte Objektiv genau das sehen, was später auch auf den Film kommt, da über einen Spiegel das Bild in den Sucher umgeleitet wird, wenn nicht gerade belichtet wird. Beim Auslösen klappt der Spiegel hoch und ganz kurz darauf öffnet der eigentliche Verschluss. Umgekehrt wird nach Ablauf der Belichtungszeit zuerst der Verschluss geschlossen, und dann der Spiegel wieder heruntergeklappt. All dies passiert beim Betätigen des Auslösers einer modernen Spiegelreflexkamera, kurz auch (D)SLR ((Digital) Single Lens Reflex Camera) genannt.



Abbildung 23: Einäugige DSLR

#### 1.4.2 SUCHERKAMERA

Sucherkameras sind der Prototyp der „immer dabei“-Kameras. Durch ihre **Kompaktheit**, gepaart mit der akzeptablen bis sehr guten Bildqualität, sind sie vor allem bei der Street-Photography beliebt.

Sucherkameras bieten einen **optischen oder digitalen** (kleiner, idealerweise hoch aufgelöster Monitor) **Sucher**. Dieser Kameratyp ist mit **fix-verbauten Objektiven** (Kompakt-, Bridge-Kameras) oder mit **Wechselbajonett (Systemkameras)** versehen. Man unterscheidet oft zwischen **OVF und EFV**, dem optischen oder elektronischen Sucher. Ein **Hybridsucher** kombiniert einen OVF mit eingeblendeten Anzeigen. Spiegellose Systemkameras werden als **DSLM** bezeichnet.



Abbildung 24: DSLM Fuji X Pro-2, Hybridsucher



Abbildung 25: Sucherkamera (OVF) mit Mattscheibe und optischem Sucher



Abbildung 26: Leica M Messsucherkamera (OVF), monochrom



Abbildung 27: Fuji X-E2 Systemkamera mit elektronischem Sucher (EVF)

**Parallaxenfehler bei optischen Sucherkameras (OVF):** Auftreten von Unterschieden zwischen Sucherbild und Aufnahme, die sich im Nahbereich bei der Verwendung von optischen Sucherkameras ergeben. Durch den Sucher sieht man die Blüte einer Rose, doch vor dem Objektiv, und somit auf dem Foto, ist nur der Stängel.



Abbildung 28: Hybridsucher OVF und EVF im Vergleich bei der X-PRO 1. Der Rahmen beim OVF hilft beim Ausschnitt/Parallaxenfehler

**Nachteile** von Sucherkameras sind die bei Autofocus-Modellen oft merkliche **Zeitverzögerung** zwischen dem Druck auf den Auslöser und der Belichtung bei vielen Modellen und die **Akku-Leistung**. Die Verzögerung entsteht durch die oft verwendete Kontrast-Messmethode bei der Fokussierung. **Vorteile** liegen in der **Kompaktheit**, der „Live“-Vorschau (Histogramm, Schärfeebebene...) und der Unabhängigkeit der **Vorschau-Helligkeit** vom Motiv. DSLM-Kameras mancher Hersteller bieten mittlerweile vergleichbare oder bessere Bildqualität als DSLR-Geräte. Hier zeichnet sich ein Generationswechsel ab.

#### 1.4.3 EXKURS: MANUELLE UND AUTOMATISCHE FOKUSSIERUNG

In einem Element in der Mitte des Sucherbilds wird die Fokussierung anhand der Ausrichtung vertikaler Linien eingestellt (manuell) bzw. die Schärfeautomatik übernimmt die Fokussierung anhand der **Phasen- oder Kontrastmethode**. Mehr zu den AF-Messmethoden findet ihr in einem der folgenden Kapitel

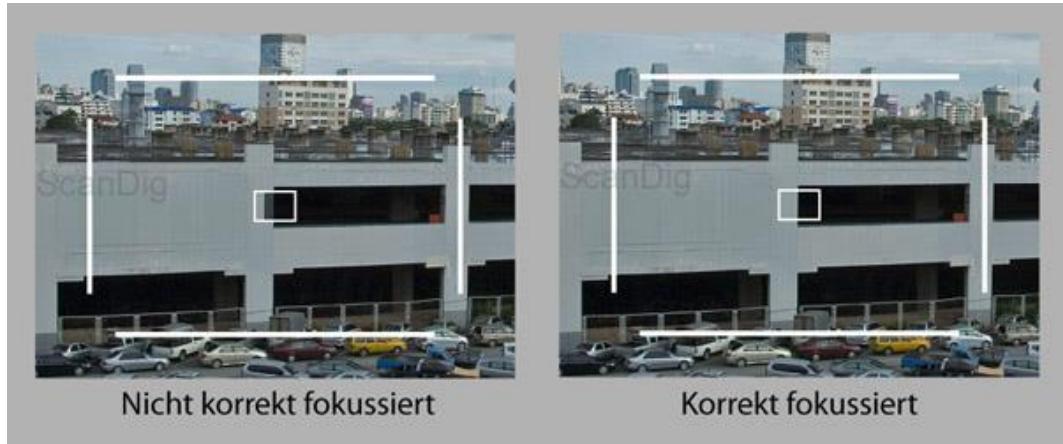


Abbildung 29: Messsucher (Schnittbildindikator), manuelle Fokussierung



Abbildung 30: Fokussierung mit Mehrzonen Autofokus

#### 1.4.4 DIGITALE MITTELFORMAT-KAMERAS

Diese Kameras weisen **Mittelformat-Sensoren** im 50 Megapixel-Bereich auf. Die Sensoren sind zB. bei der Fuji GFX 43,8 x 32,9 mm groß und entsprechend **rauscharm**. Die Einsatzbereiche sind in der Werbung, Landschaftsfotografie und der Archivierung (Dokumente usw.).

Mittelformatkameras weisen oft einen **Zentralverschluss** auf, der keine sehr kurzen Verschlusszeiten ermöglicht (zB. 1/800 Sekunde). Die GFX ist die eine der ersten Mittelformat-Kameras mit **Schlitzverschluss** und erreicht 1/4000 Sekunde. Mit elektronischem Verschluss wird der Bereich bis zu 1/16000 Sekunde erweitert. Der elektronische Verschluss ist jedoch für die Fotografie von schnell bewegten Objekten nicht geeignet (rolling shutter).



Abbildung 31: Mittelformat GFX 50s

#### 1.4.5 FACHKAMERA/GROßFORMAT

Das Großformat ist das **größte standardisierte Filmformat**. Es beginnt bei einer Größe von 4 x 5 inch (10 x 12,5 cm) und reicht bis 20 x 24 inch (50 x 60 cm). Das kleinste Großformat (4 " x 5 ") hat eine Filmfläche, die um einen Faktor von 14 größer ist als diejenige eines Kleinbildes, daher ist erst bei sehr großen Abzügen ein Filmkorn zu erkennen, die Fotos sind extrem scharf gezeichnet.



**Abbildung 32: Fachkamera mit digitalem Rückteil**

Betrachte die bereitgestellten Negative/Positive. Rufe die [URL](#) auf.

#### Bestandteile

- **Laufboden oder optische Bank** (das ist ein Rohr oder eine stabile Schiene) auf der die Front- und Bildstandarte montiert sind.
- Die **Frontstandarte** nimmt die auswechselbare Objektivplatte mit den Objektiven auf.
- Die **Bildstandarte** trägt die Mattscheibe zur Einstellung und nimmt während der Aufnahme die Filmmagazine oder das Digitalrückteil auf.
- Der **Balgen** aus Leder oder Nylon ist lichtdicht und ist das Verbindungstück zwischen Frontstandarte und Bildstandarte.

Die **Scharfstellung** erfolgt durch Veränderung des Abstandes der beiden Standarten voneinander.

Großformatkameras bieten umfangreiche Verstellmöglichkeiten:

- Höhen- und Tiefenverstellung
- Seitenverstellung
- Zentralschwenkung
- Vertikalschwenkung
- Basisschwenkung



Abbildung 33: Fachkamera Sinar P3

Die **Verstellmöglichkeiten** sind grundsätzlich die **Parallelverschiebung** und die **Schwenkung der Standarten horizontal oder vertikal zueinander**. Damit kann die Perspektive angepasst werden (zB. keine stürzenden Linien in der Architekturfotografie) oder die Schärfeebene verlagert werden.

Die **Parallelverschiebung** beeinflusst die Abbildung der **Perspektive**.

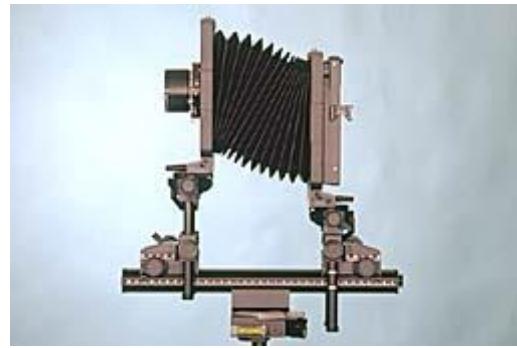


Abbildung 34: Fachkamera Verschiebung



Abbildung 35: Fachkamera Seitwärtsverschiebung

Die **Schwenkung** der Objektivstandarte horizontal oder vertikal beeinflusst die **Lage der Schärfefeebene**. Dies wird auch als **Scheimpflug-Regel** bezeichnet.

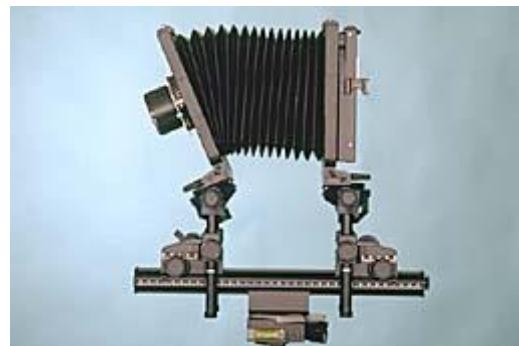


Abbildung 36: Schwenkung um Horizontalachse



Abbildung 37: Schwenkung um Vertikalachse

Diese Verstellmöglichkeiten setzen Objektive mit einem besonders großen Bildkreis voraus und ermöglichen eine sehr weitreichende Kontrolle über die Perspektive und Schärfentiefe.

#### 1.4.6 SCHÄRFENTIEFENEINSTELLUNG NACH SCHEIMPFLUG

Die Scheimpflugsche Regel oder Scheimpflug-Bedingung besagt, dass bei der fotografischen Abbildung die **Bild-, Objektiv- und Schärfeebene entweder parallel zueinander liegen oder aber sich in einer gemeinsamen Schnittgeraden schneiden**. Die Regel wurde von 1907 von dem österreichischen Offizier und Kartographen Theodor Scheimpflug (1865 - 1911) formuliert.

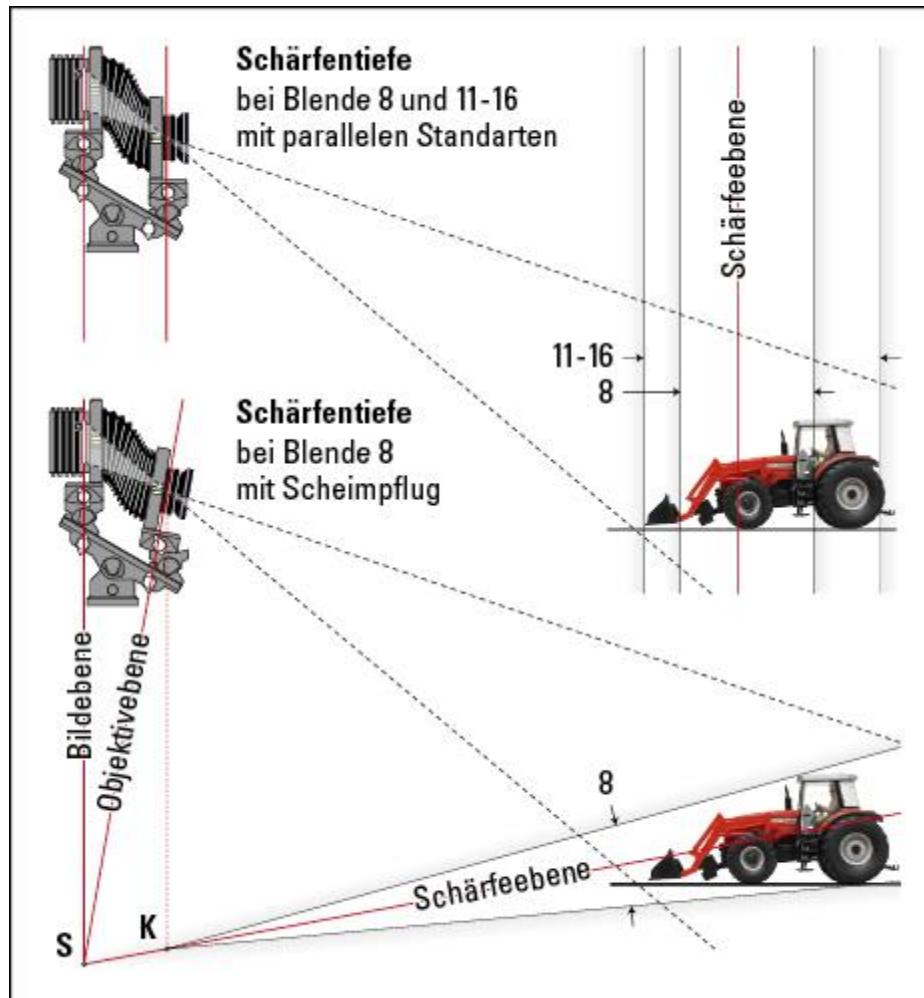


Abbildung 38: Bildbeispiel für Scheimpflug-Prinzip

Unter „**titten**“ versteht man das Verlagern der Schärfeebene, also die Verschwenkung. Mit dem Begriff „**shiften**“ werden Veränderungen an der Perspektive, also der Verschiebung, beschrieben.



Abbildung 39: Shift-Effekt



Abbildung 40: Tilt-Effekt



Abbildung 41: Shift-Effekt in der Bildbearbeitung

Nutze eine online-Bildersuche um ein Foto, welches stürzende Linien aufweist zu finden. Dieses soll in der Software korrigiert werden.



Abbildung 42: Shift-Objektiv für Kleinformatkameras



Abbildung 43: Tilt- und Shift-Objektiv für Kleinformatkameras



**Abbildung 44:** Tilt-Shift-Effekt (Frontstandarte nach unten geshiftet um die Perspektive bzw. stürzende Linien zu korrigieren, getilgt zur Verlagerung der Schärfeebele nach der Scheimpflug-Regel)



**Abbildung 45:** Fachkamera auf optischer Bank

Dies System ist meist als **Kamera auf einer optischen Bank** konstruiert, mit einer Objektivstandarte, die das auf eine Objektivplatte montierte Objektiv aufnimmt, dem Balgen (Normal- oder Weitwinkelbalgen) und der Filmstandarte, in die die Mattscheibe integriert ist.

#### 1.4.7 WELCHE KAMERA WÄHLEN?

Einige **Kriterien zur Auswahl** sind:

- Bildstabilisator
- Kontrollmechanismen wie zB. Histogramme
- Akkulaufzeit
- Angebot an Zubehör wie Objektive
- Gewicht
- Anwendungsbereich (Auflösung)
- Tilt- und Shift-Funktion
- Suchersystem (digital, Spiegel, Helligkeit, Mattscheiben...)



Abbildung 46: digitales Hasselblad V-System



Abbildung 47: digitales Hasselblad H-System



Abbildung 48: digitale Rückteile zur Verwendung an zB Fachkameras



Abbildung 49: Phase One 645 DF mit Option zum Wechsel zwischen Schlitz- und Zentralverschluss. Objektiv und Rückteil sind flexibel austauschbar, was eine große Kompatibilität zu vielen Objektiv- und Rückteilherstellern ermöglicht (Open-Platform-Kamera).

## 1.5 BILDWANDLER: CCD UND CMOS

Es werden **zwei Sensortechniken** unterschieden:

- **CCD**<sup>10</sup>: Feldeffekttransistoren-Technologie (MOSFET)
- **CMOS**<sup>11</sup>: Halbleiterbauelementen nach dem APS<sup>12</sup>-Prinzip

Beide Sensortypen wandeln **Licht in elektrische Ladungen um** (Fotoeffekt).

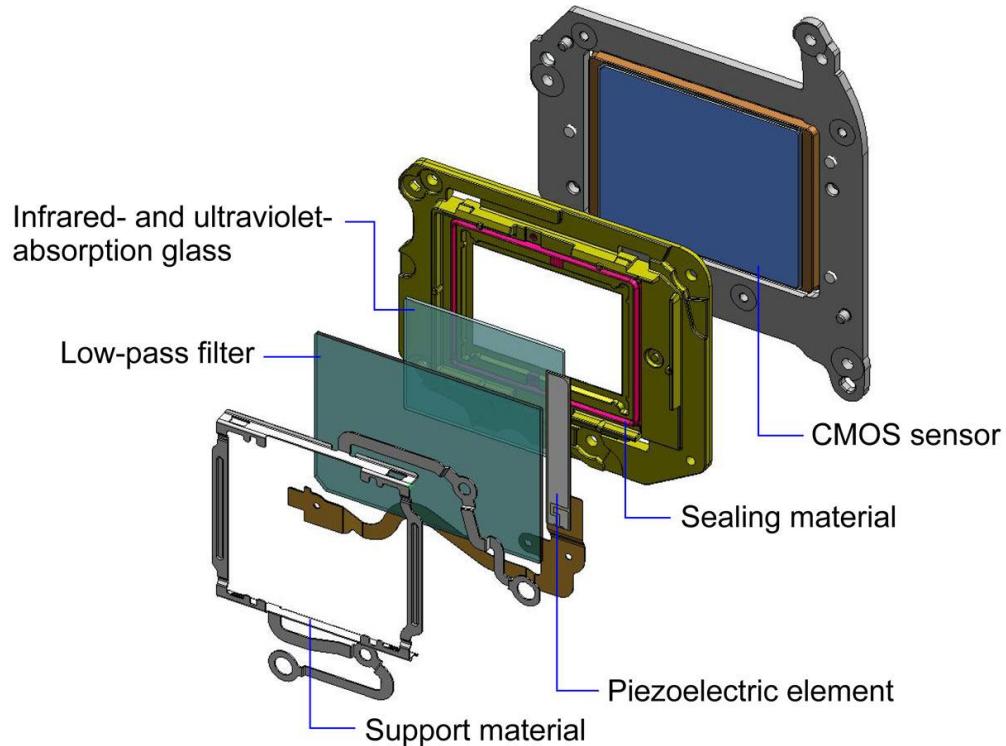


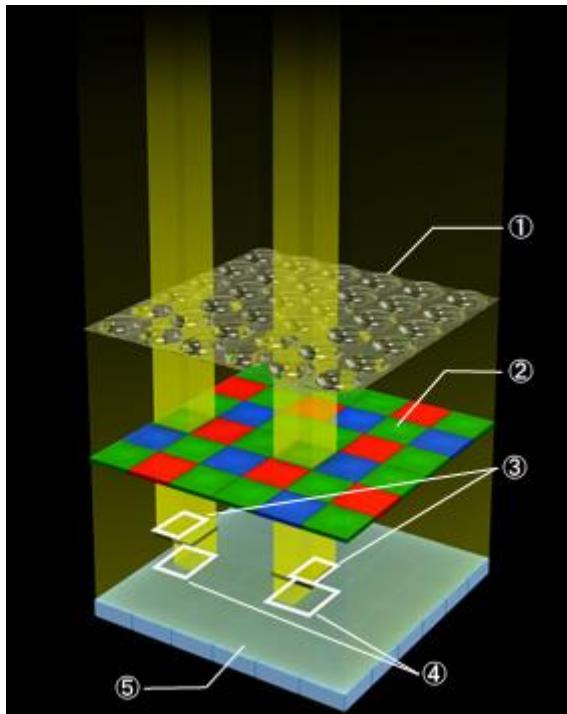
Abbildung 50: Aufbau Kamera-Sensor (Canon 1D)

Die Bauteile vor dem CMOS-Sensor dienen der **Farbfilterung** (IR- und UV-Sperrfilter) und dem **Anti-Aliasing** (Tiefpass-Filter). Der Tiefpass-Filter verhindert Moiré-Muster. Die **Sensorreinigung** wird durch hochfrequente Vibrationen des Tiefpass-Filters erreicht.

<sup>10</sup> Charge coupled device

<sup>11</sup> Complementary metal oxide semiconductor

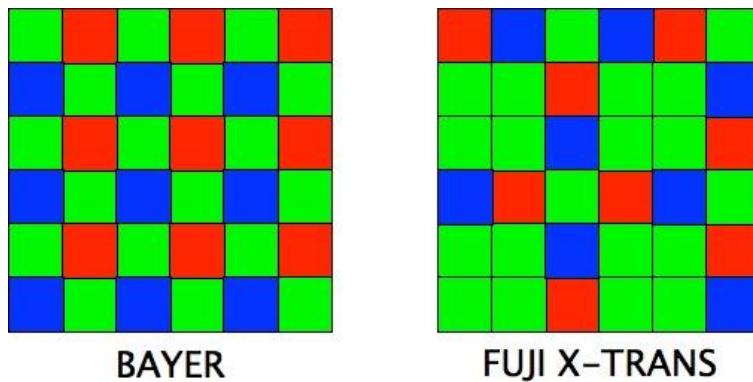
<sup>12</sup> Active pixel sensor



- 1: Mikrolinsen zur Bündelung des Lichts
- 2: Farbfilter-Array (CFA)
- 3: Lichtabschirmung
- 4: Phasendetektionspixel
- 5: Sensorelemente (Sensel)

**Abbildung 51: Aufbau Fuji X-Trans CMOS-Sensor**

Damit Farbe abgebildet werden kann, befindet sich vor dem Sensor das **Farbfilter-Array** (CFA<sup>13</sup>), welches nur Licht einer bestimmten Wellenlänge durchlässt. Daraus werden die RGB-Informationen gewonnen. Das **Bayer**-CFA ist dabei das am häufigsten verwendete.



**Abbildung 52: Verschiedene Farbfilter-Techniken**

Die **1-Chip CCD Technik** basiert auf dem bereits erwähnten Farbfiltermosaik welches vor der lichtempfindlichen Sensorfläche angebracht ist. Dabei erfasst jedes lichtempfindliche Element des CCD/CMOS-Sensors das Licht von nur einer der drei Grundfarben. Ohne dem CFA wäre der Sensoroutput in **Graustufen**.

Da jedes Sensel nur jeweils eine Farbe aufzeichnet, müssen die anderen Farbanteile softwaremäßig aus den umliegenden Pixeln rekonstruiert werden, der Fachbegriff hierfür ist **Farbinterpolation** oder **Demosaicing**. Somit wären für 1 RGB-Pixel 4 Sensel nötig, durch die Farbinterpolation wird die RGB-Pixelausbeute beträchtlich erhöht. Die Interpolationsalgorithmen sind von Hersteller zu

---

<sup>13</sup> Color Filter Array

Hersteller verschieden, so ergeben sich auch zum Teil Qualitätsunterschiede im Bildergebnis verschiedener Digitalkameras, selbst wenn diese den gleichen Sensor eingebaut haben.



Abbildung 53: Farbinterpolation

Neben der 1-Chip-Techhnik gibt es auch noch die höherqualitative **3-Chip-Technik**.

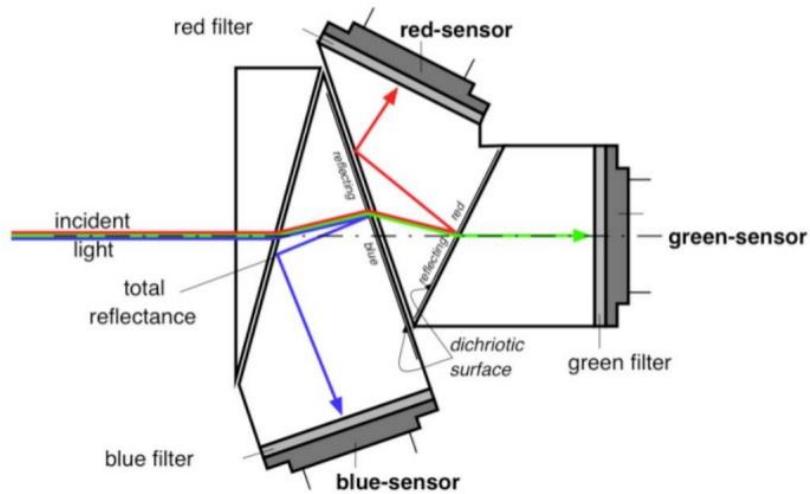


Abbildung 54: 3-Chip-Technik

### 1.5.1 CCD-BILDWANDLER

Beim analogen CCD-Sensor werden Lichtstrahlen (Photonen) im dotierten Siliziumkristall absorbiert und erzeugen dort **elektrische Ladungen** (Fotoeffekt) im **Verhältnis zur einfallenden Lichtintensität**. Durch umgebende Elektroden wird eine Ladungssenken/Ladungsbarrieren - Struktur gebildet, die die entstehende Elektronenwolke festhält, wie ein Eimer die Wassertropfen.

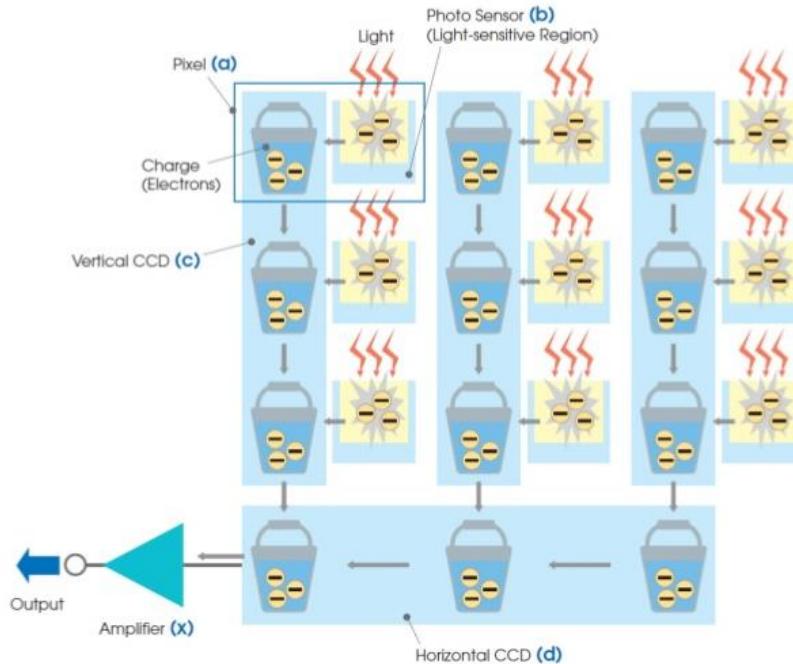


Abbildung 55: Schema eines CCD

Da der Sensor ein analoges Bauteil ist, müssen die Ladungen nach dem Schieberegister **digitalisiert** werden. Meist geschieht dies mit einer Bittiefe von 10 bis 14 bit. Der Vorgang kann mit dem **Eimerkettenprinzip** veranschaulicht werden.

Für den **Aufbau eines CCD-Flächensensors** haben sich zwei Konzepte durchgesetzt:

- Die weit verbreiteten **Interline CCDs** (Abbildung 55: Schema eines CCD)
- die hauptsächlich für spezielle Anwendungen genutzten **Frame-Transfer CCDs** mit der besonderen Variante der **Full-Frame CCDs**

**Full Frame CCD** besitzen **keine vertikalen Register**, benötigt aber aufgrund dessen einen externen mechanischen Verschluss.

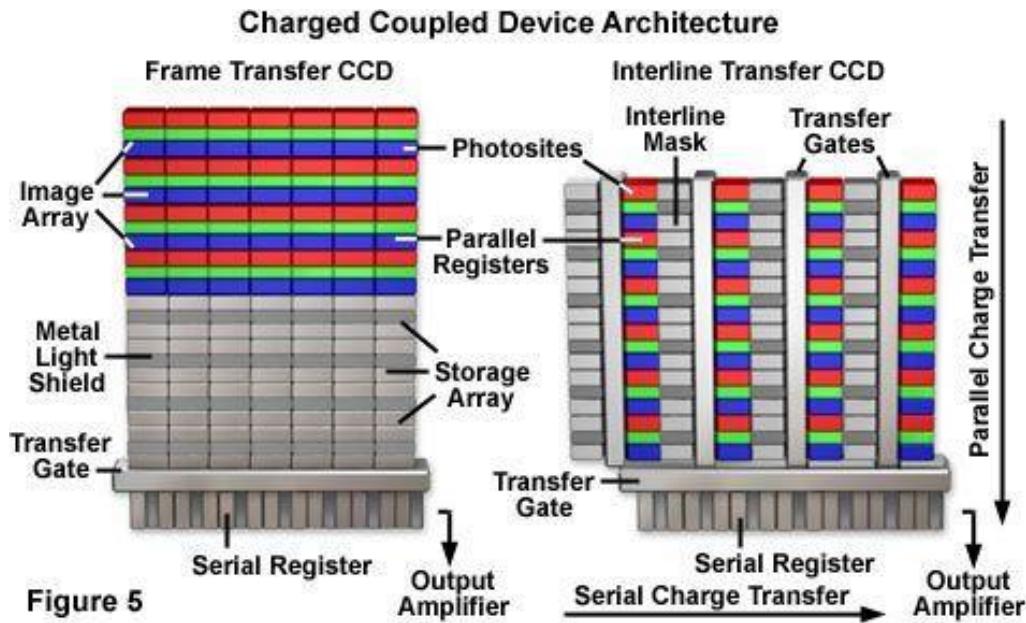


Abbildung 56: Frame Transfer und Interline CCD

Der **Frame Transfer CCD** ist teurer in der Herstellung, da dieser eine vergrößerte Baufläche aufweist.

### 1.5.2 CMOS-BILDWANDLER

CMOS-Sensoren arbeiten wie CCDs mit Farbfiltern. Allerdings lassen sich die Sensel **einzelnen adressieren und auslesen**, da sie ein vertikales und ein horizontales Ausleseregister besitzen. Wie bei einem CCD-Sensor ist zu jeder Fotodiode ein Kondensator parallelgeschaltet, der die elektrische Ladung speichert. Ein Transistor wandelt die Ladung in Spannung um und stellt diese Spannung dem Signalprozessor zur Verfügung.

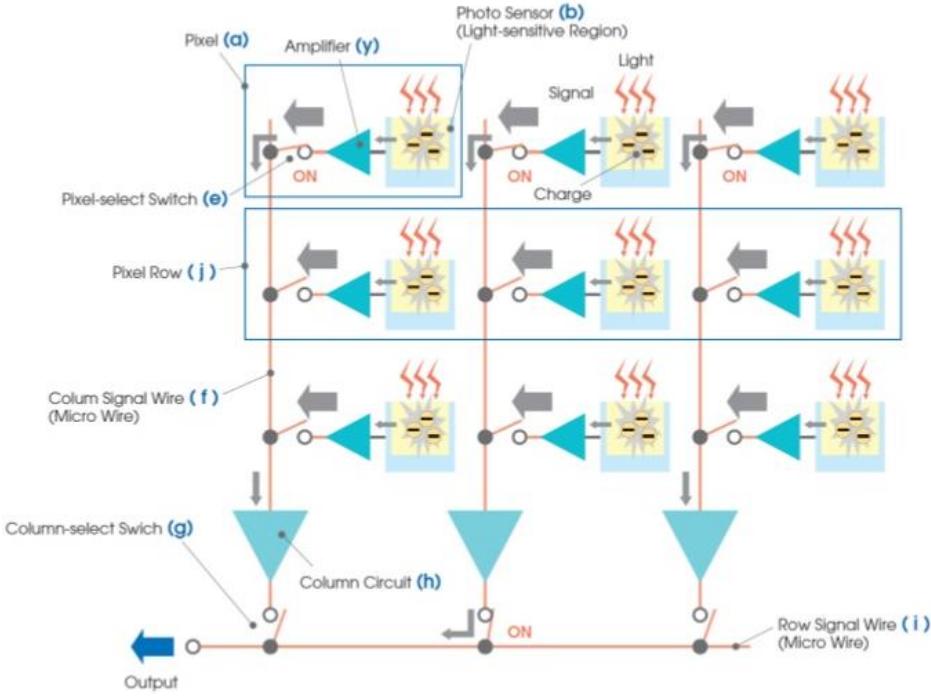


Abbildung 57: CMOS-Sensor Schema

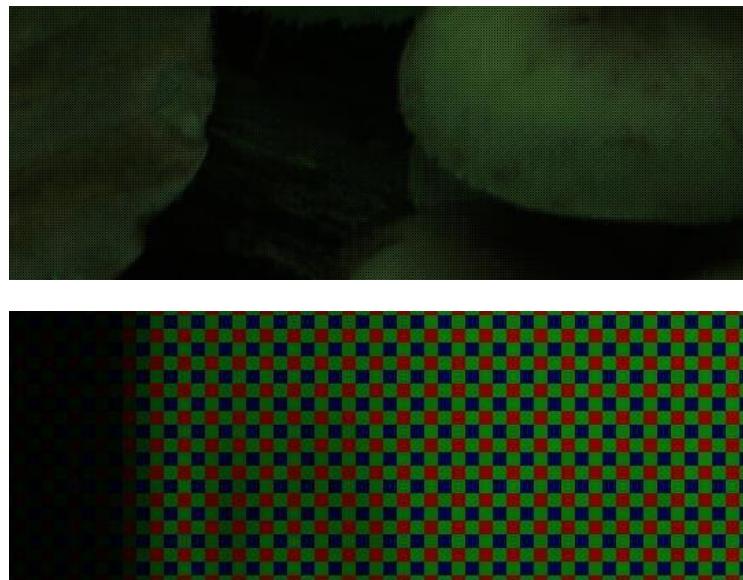


Abbildung 58: Canon CMOS-Sensor in 10 x Vergrößerung (unten). Deutlich sichtbar ist das Bayer-CFA.

Eine solche aktive Zelle wird als **Active Pixel Sensor (APS)** bezeichnet.

#### Vorteile CMOS:

- Geringerer **Stromverbrauch**, Geringere (Geräte-) **Baugröße**, durch Integration der Auswertelogik auf demselben Chip (System on a Chip)
- Manche **Verarbeitungsschritte** können gleich im Pixelverstärker vorgenommen werden.
- Durch separate Verarbeitung jedes Pixels sehr **hohe Bildraten** im Vergleich zu einem CCD gleicher Größe (schnelle Vorschau-Ansicht, Videofunktion)
- Flexibler auszulesen durch **direkte Adressierung**, somit AOI<sup>14</sup>s möglich.
- Stark begrenzter **Blooming**-Effekt

#### Nachteile:

- Separate Umwandlung der Ladung in Spannung für jedes Pixel und Integration der Auswertelogik führt zu **größeren Empfindlichkeitsunterschieden** zwischen den Pixeln (Uniformität) durch Fertigungstoleranzen, was bei Bayer-Sensoren zu einem stärkeren **Farbrauschen** führt, und ein **geringerer Füllfaktor** (Verhältnis der lichtempfindlichen zur gesamten Pixelfläche), mit der Folge einer insgesamt schlechteren Lichtempfindlichkeit im Vergleich zu FF- und FT-CCDs.

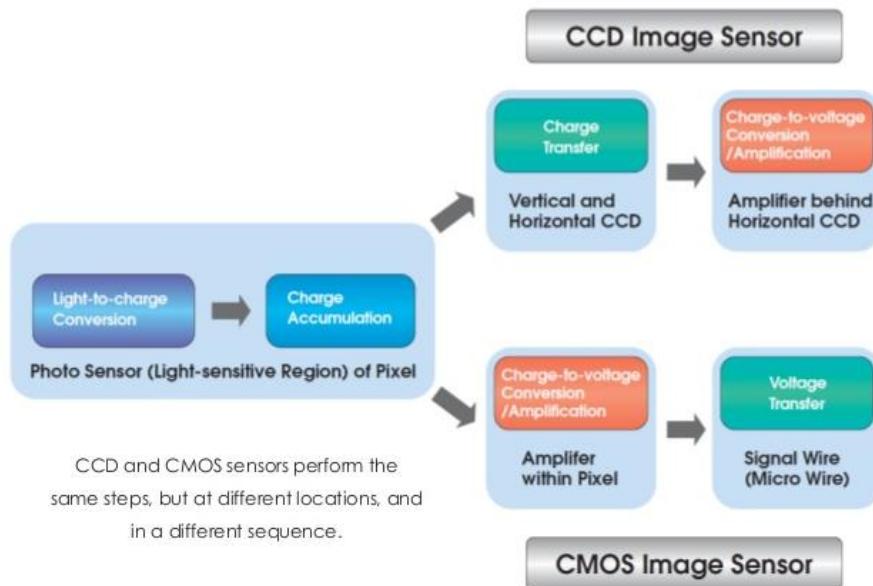


Abbildung 59: Funktionsprinzip CCD und CMOS

#### Vorteile CCD-Sensoren:

- Höchste **Bildqualität**, geringes Rauschen
- Hoher **Füllfaktor**
- **Global Shutter**

<sup>14</sup> Area of Interest

---

### 1.5.3 CCD- UND CMOS-SENSOR-BILDFEHLER

Sensoren produzieren nicht nur das nutzbare Bildsignal sondern unter auch Störungen, die sogenannten **Bildfehler**. Die genannten Bildfehler stellen einen typischen Nachteil der digitalen gegenüber der analogen Fotografie dar.

---

#### 1.5.3.1 FARBRAUSCHEN BEI HOHER EMPFINDLICHKEIT DES SENSORS

Diese können durch Software auf Kosten der Detailtreue reduziert werden (zB Lightroom). Wird auch **Chrominanzauschen** genannt. Typisch für CMOS-Sensoren.

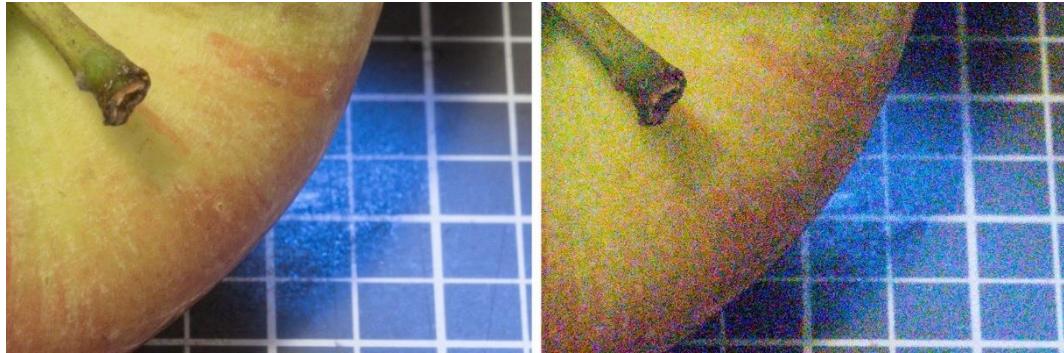


Abbildung 60: Farbartefakte

---

#### 1.5.3.2 BLOOMING/WEIßÜBERSCHLAG

Entsteht durch **starke Lichtquellen im Bild** und äußert sich durch „ausblühen“ der Bereiche auf angrenzende Gebiete. Gefahr bei Gegenlichtaufnahmen, bei Sonne/Lampen im Bild oder Spiegelungen. Typisch für CCD-Sensoren.



Abbildung 61: Blooming

### 1.5.3.3 THERMISCHES BILDRAUSCHEN/DUNKELSTROM

Besonders auffällig in dunklen Bereichen im Bild bzw. bei Langzeitbelichtungen (Nachtaufnahmen). Nimmt stark zu wenn der Sensor erwärmt wird durch Sonneneinstrahlung o.ä. Manche digitale Rückteile verfügen daher über eine Kühlung. Wird auch als **Luminanzrauschen** bezeichnet, kann aber auch in Form von **Chrominanzrauschen** sichtbar sein.

**Anmerkung:** Rauschen wird auch durch die Nichtlinearität des Auftreffens der Photonen auf die Sensel verursacht, das sog. „**shot-noise**“. Das systembedingte Rauschen wird als „**read-noise**“ bezeichnet.

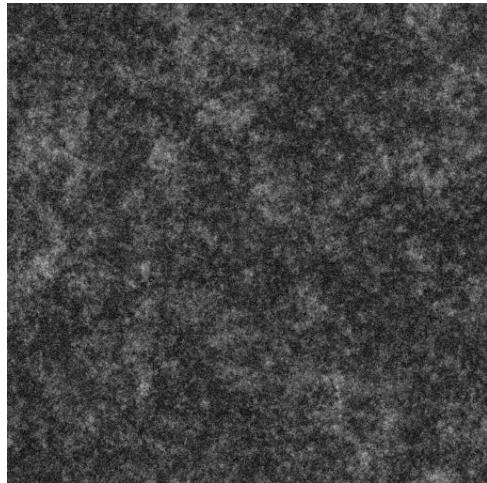


Abbildung 62: Dunkelstrom

### 1.5.3.4 MOIRÉ-EFFEKT

Dieser Effekt sollte bereits bekannt sein (3. Jahrgang, bzw. Physik usw...)



Abbildung 63: Moiré links. Rechts entfernt durch Anti-Aliasing-Filter

**Anmerkung:** Trans-X-Sensoren der Fuji sind für Moiré wenig anfällig, weshalb auf den Tiefpassfilter verzichtet werden kann. Dies erlaubt einen höheren Detailgrad in der Aufnahme.

Wir besprechen die verschiedenen Möglichkeiten zur Korrektur von Bildrauschen und testen diese in der Software.

### 1.5.3.5 DYNAMIK VON SENSOREN

Ein üblicher Bildsensor kann etwa **Helligkeitsinformationen, die etwa 8 bis 12 Blendenstufen** (oder EV-Werte, exposure values) auseinanderliegen, wiedergegeben. Damit liegt er nur knapp über dem Kontrastverhalten<sup>15</sup> normaler Diafilme.

Um den Dynamikumfang<sup>16</sup> eines Sensors digital speichern zu können, ist eine **entsprechende Bittiefe nötig**. Mit 8 bit Bittiefe können beispielsweise ca. 8 Blendenstufen Dynamik gespeichert werden. Pro EV ist 1 bit notwendig.

Der **Dynamikumfang eines Sensors** wird durch die **ISO-Einstellung** stark beeinflusst. In der folgenden Abbildung ist der Einfluss der ISO-Einstellung auf den Dynamikumfang wiedergegeben (*Quelle: <http://www.photonstophotos.net/Charts/PDR.htm>*).

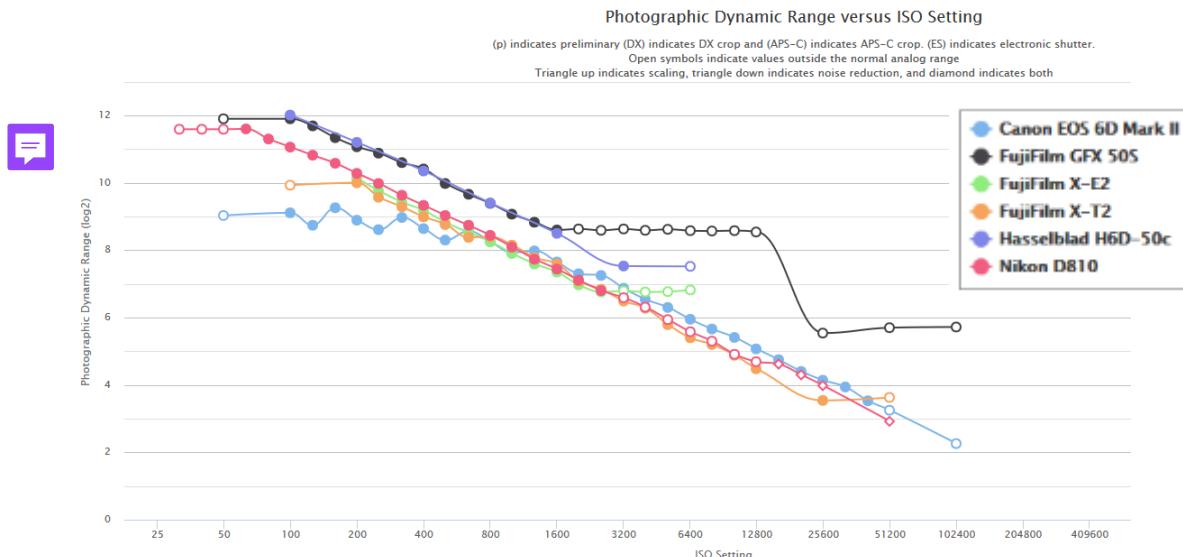


Abbildung 64: Dynamikumfang versus ISO

**Man beachte:** Die Fujis sind mit APS-C-Sensoren ausgestattet, die Nikon und Canon mit Vollformat-Sensoren. Die Hasselblad und GFX haben einen Mittelformat-Sensor.

**Einfluss auf den Dynamikumfang** hat hauptsächlich die Größe der Sensel. Je größer, desto mehr Photonen werden gesammelt und das SNR sinkt. Größere Senselfläche bedeutet auch meist bessere Lichtausbeute, wodurch das Rauschen sinkt da weniger verstärkt werden muss.

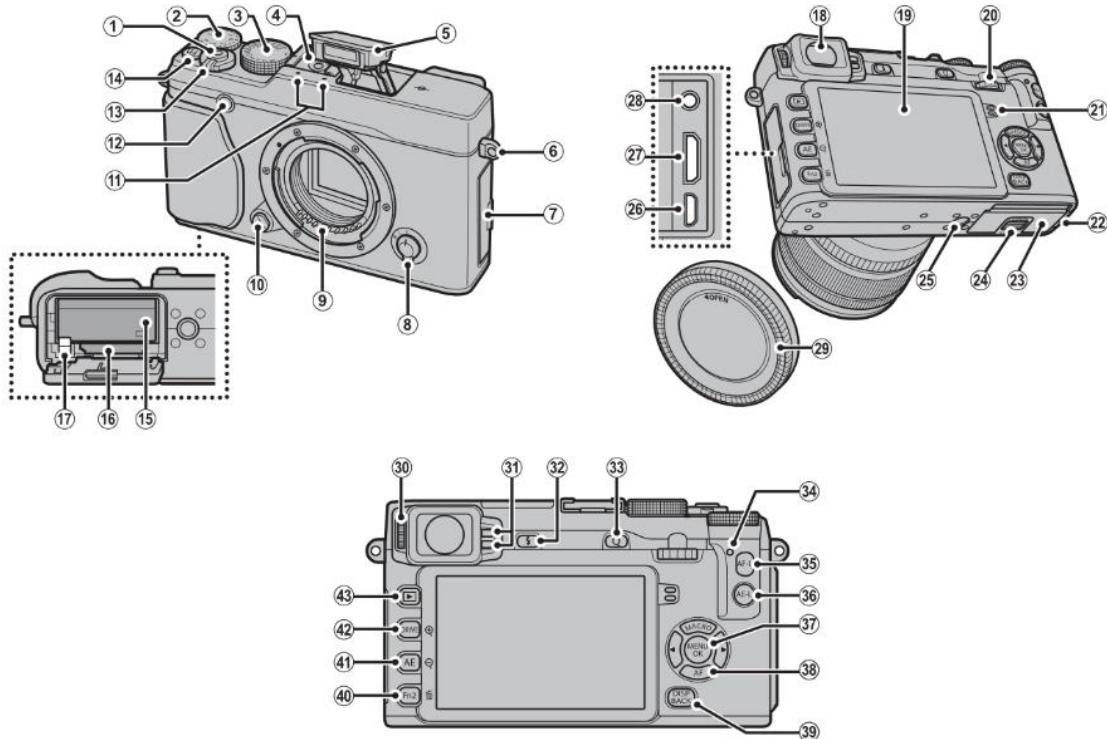
Ein typisches **Sensel zwischen 5 und 8 µm**<sup>17</sup> kann 20000 bis 40000 Elektronen akkumulieren bevor es gesättigt ist (**Full-Well-Capacity**). Diese Kapazität hat direkten Einfluss auf das SNR und den Dynamikumfang. Die Senseldynamik ergibt sich somit aus dem Verhältnis der FWC zum Grundrauschen/Dunkelstrom.

<sup>15</sup> Dynamik, Dynamikumfang, Kontrast werden meist gleichbedeutend verwendet

<sup>16</sup> Dynamik: Verhältnis zwischen Minimum und Maximum einer Größe

<sup>17</sup> Zur Erinnerung: 1 Mikrometer =  $10^{-6}$  m

## 1.6 BEDIENELEMENTE DER KAMERA



Teilebezeichnungen der Kamera

① Auslösetaste.....	29	⑨ LCD-Monitor.....	6, 23, 25	⑮ AF-L-Taste (Fokuspeicher).....	53, 65, 92, 109
② Einstellrad für die Belichtungskorrektur.....	52	⑩ Funktionswähler.....	5	⑯ AE-L-Taste (Belichtungsspeicher).....	53, 92, 106
③ Einstellrad für die Belichtungszeit.....	46, 47, 48, 49	⑪ Lautsprecher.....	39	⑰ MENU/OK-Taste .....	87, 96, 102
④ Blitzschuh .....	36, 129	⑫ Kabelkanal-Abdeckung für den		Sicherheitsperre (Taste gedrückt halten) ...	4
⑤ Eingebautes Blitzgerät .....	35	Gleichstromkoppler		⑱ Funktionstaste (Fn3—Fn6).....	43
⑥ Trageriemen-Öse .....	12	⑬ Abdeckung des Akkufachs.....	16	Auswahltafel .....	5
⑦ Anschlussabdeckung .....	38, 51, 116, 118, 125	⑭ Verriegelung der Akkufach-Abdeckung.....	16	⑲ DISP (Anzeige)/BACK-Taste .....	25
⑧ Drehschalter für Fokussiermodus .....	28, 65	⑮ Stativgewinde .....		⑳ Funktionstaste (Fn2) .....	43
⑨ Signalkontakte für Objektiv .....	9	⑯ Micro-USB-Anschluss .....	51, 116, 118	Weißabgleich-Taste .....	79
⑩ Objektiventriegelungsknopf .....	14	⑰ Mini-HDMI-Anschluss .....	125	W-Taste (Löschen) (Wiedergabemodus) .....	34
⑪ Mikrofon .....	37	⑱ Anschluss für Mikrofon/Fernauslöser .....	38, 51	⑳ Funktionstaste (Fn1) .....	43
⑫ AF-Hilfslicht .....	89	⑲ Gehäusedeckel .....	14	AE-Taste (Belichtungsautomatik) .....	55
Selbstauslösereleuchte .....	76	⑳ Dioptrieneinstellrad .....	24	Q-Taste (Wiedergabe verkleinern) .....	32, 33
⑬ ON/OFF-Schalter .....	20	㉑ Augensensor .....	23	㉑ DRIVE-Taste .....	57, 58, 59, 60, 63, 64
⑭ Funktionstaste (Fn7) .....	43	㉒ Ȑ -Taste (Blitz ausklappen) .....	35	Q-Taste (Wiedergabe vergrößern) .....	32, 33
Taste für Filmaufzeichnung .....	37	㉓ Q-Taste (Schnellmenü*) .....	40	㉔ □ -Taste (Wiedergabe) .....	30
Wi-Fi-Taste (Wiedergabemodus) .....	114	Schnellmenü Bearb./Benutzereinst.-Taste			
⑮ Akkufach .....	16	(Taste gedrückt halten)* .....	42, 81		
⑯ Speicherkartenfach .....	17	RAW-Konvertierungstaste			
⑰ Akku-Schnappriegel .....	16	(Wiedergabemodus) .....	75		
⑱ Elektronischer Sucher (EVF).....	6, 23, 25	㉔ Kontrollleuchte .....	4		

Besprich das Datenblatt einer weiteren Kamera und erfrage dir unbekannte Angaben.

## 1.7 AUTOFOKUS UND BILDSCHÄRFE (AKUTANZ)

Da der Autofokus ein beliebtes Hilfsmittel und auch aus technischer Sicht eine große Verbesserung in der Kameraentwicklung darstellte, soll hier gesondert darauf eingegangen werden.

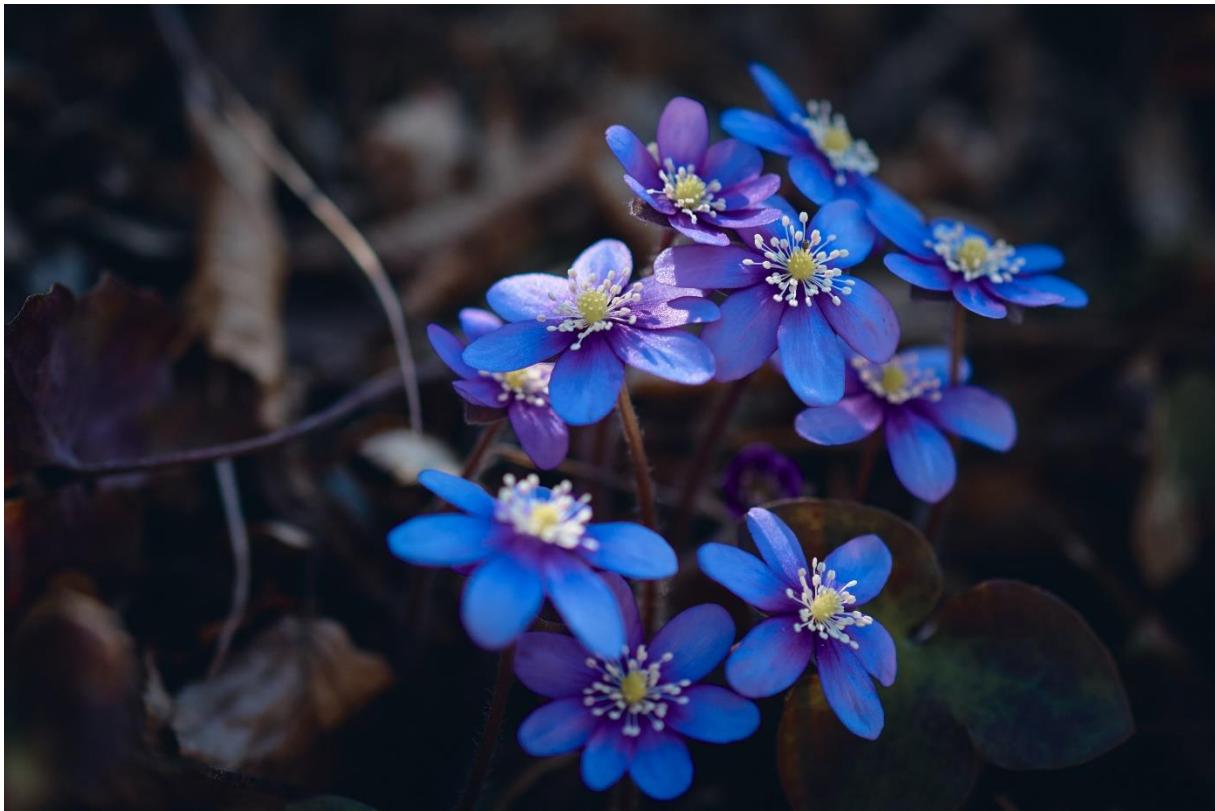


Abbildung 65: Bild mit kontrollierter Schärfeebene und weichem Bokeh

Wenn wir vom Autofokus sprechen, müssen wir uns ebenfalls mit dem Begriff der **Schärfe** beschäftigen, die ja das Resultat des elektrisch-mechanischen Vorgangs der automatischen Fokussierung sein soll.

Die perfekte Schärfe hängt von vielen Faktoren ab. Die größte Bedeutung kommt dabei der **Qualität des Objektivs** zu, das zum Einsatzzweck passen muss. Denn es ist technisch unmöglich, ein Objektiv für jeden Einsatz herzustellen - genauso wie es **unmöglich ist, ein Objektiv mit variabler Brennweite** zu fertigen, das über den gesamten Brennweitenbereich die beste Qualität bringen kann.

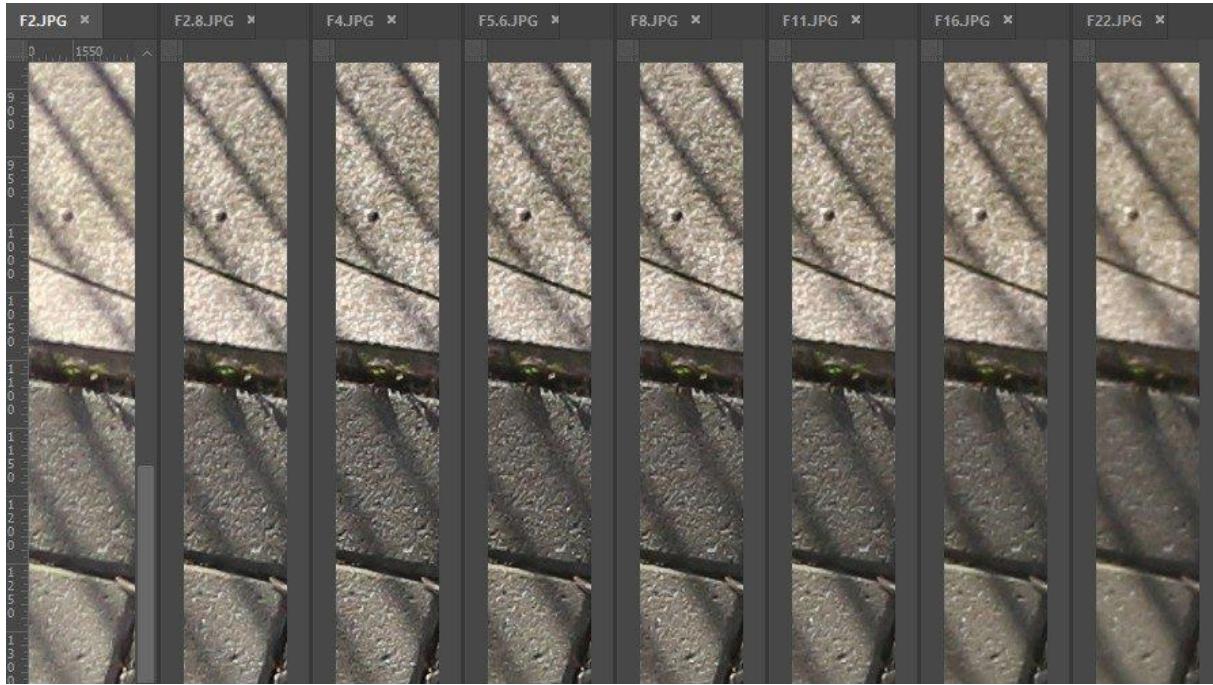


Abbildung 66: Schärfe abhängig von der Blendenzahl

Für die endgültige Bildschärfe sind auch die Länge der **Belichtungszeit**, die **Geschwindigkeit eines erfassten Bewegungsablaufs** und die relative **Blendengröße** (die ihrerseits wiederum die Schärfentiefe beeinflusst) verantwortlich. Die Bildschärfe in der digitalen Fotografie wird als **Akutanz** bezeichnet und beschreibt den **Kantenkontrast**. Die optische Schärfe kann nachträglich nicht erhöht werden.

*Recherchiere, welche Möglichkeiten der digitalen Nachschärfung bestehen. Erläutere dabei alle Parameter von Unscharf maskieren, selektiver Scharfzeichner, Scharfzeichner, Hochpass, RAW-Schärfung, ... Bearbeite ein Portrait indem du eine Ebene mit Hochpassfilter/Ineinanderkopieren, eine Ebene HOCH mit Bildberechnung Subtrahieren/Versatz128/Skalieren2/Strahlendes Licht mit Ebene TIEF und eine Ebene TIEF mit Weichzeichnungsfilter/Matter machen anlegst (ausgeblendet). So kannst du die Schärfe der Flächen und Kanten getrennt steuern.*



### 1.7.1 AUTOFOKUSSYSTEME

Um Entfernungen automatisch zu messen, haben die Hersteller unterschiedliche Systeme entwickelt. Neuerdings werden zunehmend **Hybrid-AF-Systeme** eingesetzt, die meist Kontrast- und Phasendetektion kombinieren.

**Kontrastmessung:** Dabei wird nacheinander in mindestens zwei Fokussierstellungen der Bildkontrast direkt auf dem Bildsensor gemessen und die definitive Fokusposition durch den Kamera-processor ermittelt. Diese Methode geht davon aus, dass ein **scharfes Bild gegenüber einem unscharfen einen erheblich höheren Kontrast** aufweist.

Mit **Fokus-Peaking** kann die Schärfe im EVF kontrolliert werden.

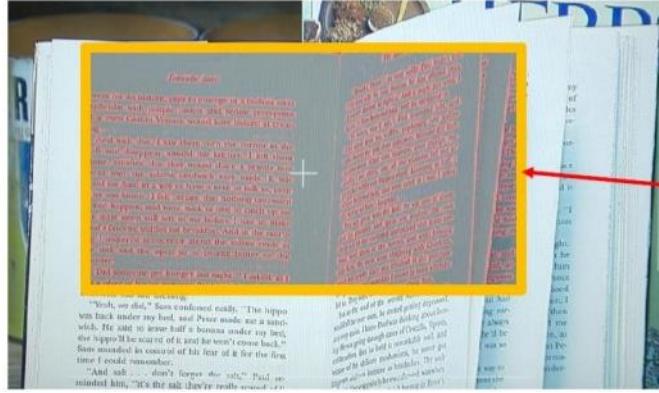


Abbildung 67: Fokus-Peaking

#### Vorteile/Nachteile

- Kostengünstig
- Präzise und schnell bei ausreichend viel Licht
- Kann für Sport und Serienaufnahmen suboptimal sein

**Phasendetektion:** Damit eine automatische Scharfeinstellung auch bei Spiegelreflexkameras mit Wechselobjektiven funktionieren kann, muss die Schärfedetektion durch das Objektiv erfolgen (**TTL-Schärfedetektion**). Dazu hat sich das Prinzip der **Phasendetektion** durchgesetzt.

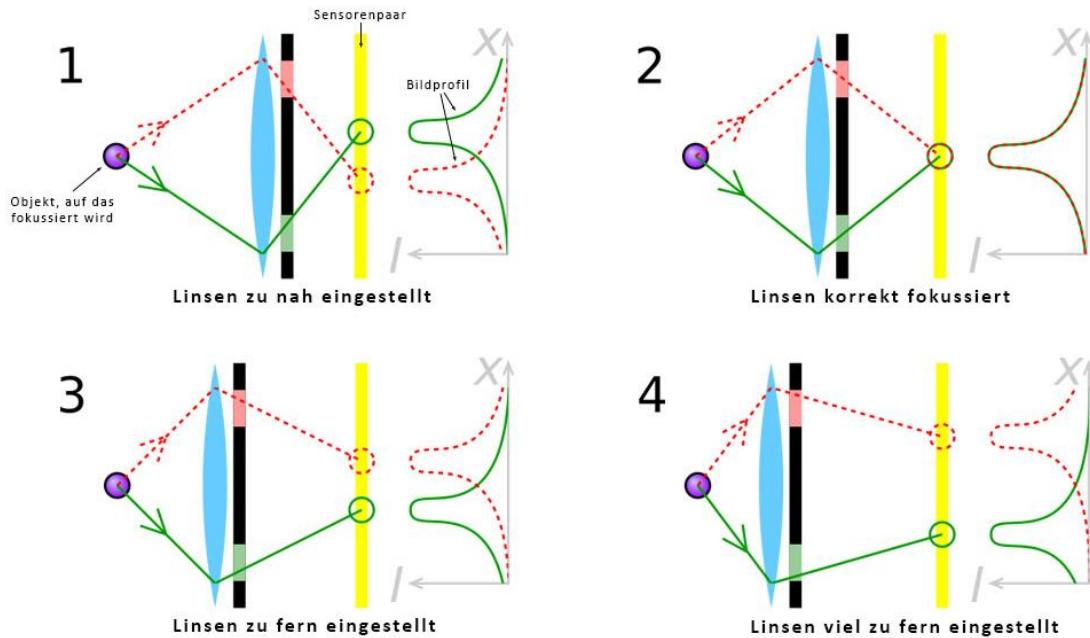


Abbildung 68: Phasendetektion

Im Wesentlichen passiert das vom Objektiv herkommende Licht im Bereich des Autofokus-Zielfeldes den **teildurchlässigen Hauptspiegel**. Ein Hilfsspiegel lenkt es dann ins **Autofokus-Modul** (AF-Modul) um. Dort wird das Licht auf eine CCD-Sensorreihe projiziert, die es in elektrische Signale umwandelt. Die zunächst analogen Signale werden digitalisiert und von der AF-CPU (Autofokus-Prozessor) analysiert. Die AF-CPU liest die **Referenzdaten aus dem ROM des angeschlossenen Objektivs** und errechnet, um welchen Betrag und in welcher Richtung das Objektiv verstellt werden muss.

### Vorteile/Nachteile

- Schnell auch bei schlechten Lichtverhältnissen
- Weniger exakt als Kontrast-AF
- Gut tauglich für Serienaufnahmen

**AF-Sensoren** weisen **horizontale, vertikale und diagonale Mess-Sensorelemente**, auch **Liniens- oder Kreuzsensoren** genannt, auf. Die Anzahl variiert dabei je nach Hersteller und Modell.

Bei **Hybridsensoren** werden meist die **zentralen Messelemente** für die Phasendetektion verwendet und die äußereren nutzen die Kontrast-Messmethode.

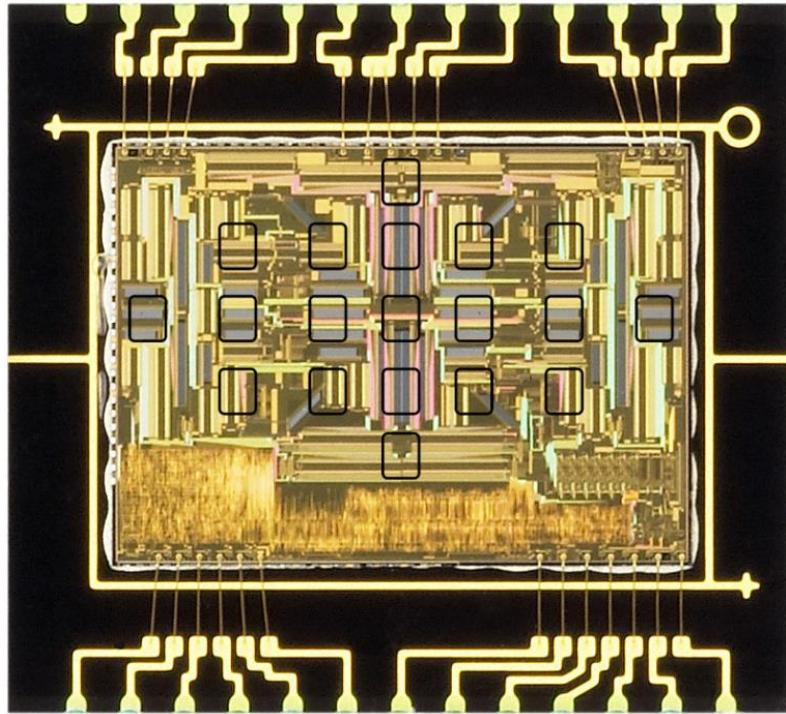


Abbildung 69: AF-Sensor Canon

## 1.8 OPTISCHE BILDSTABILISIERUNG

Vor allem beim Einsatz von **langen Brennweiten und bei schlechten Lichtverhältnissen** können die Aufnahmen rasch einmal verwackelt sein. Die Faustregel sagt, die Belichtungszeit dürfe maximal so lange sein wie der **Kehrwert der Brennweite**. Das heißt bei einem 200-mm-Objektiv nicht länger als 1/200 s. Und das gilt auch nur dann, wenn die fotografierende Person breitbeinig steht und die (möglichst schwere Kamera) fest gegen den Körper stemmt.

Die **IS-Objektive** sind mit einer optischen Bildstabilisierung ausgerüstet, wie man dies von der Video- und Fernglastechnik her kennt. Die optische Bildstabilisierung **ermöglicht längere Verschlusszeiten**, ohne zu verwackeln - und ohne ein Stativ einzusetzen. Gemäß Herstellerangaben können die Belichtungszeiten mit einer guten optischen Stabilisierung bis zu **vier Blendenstufen** länger sein als ohne Stabilisation.

**Zwei Sensoren im Objektiv - Gyrosensoren - registrieren** die geringste Bewegungsabweichung und senden die entsprechenden Signale an einen meistens im Objektiv direkt eingebauten Microcomputer. Diese winzigen Sensoren können - nach dem Funktionsprinzip eines Kreisels - die Kamerabewegungen um die horizontale und vertikale Achse registrieren. Ein Chip im Objektiv erfasst die Messdaten und ein Signalverarbeitungsprozessor, der direkt im Objektiv oder in der

Kamera sitzt, analysiert diese. Sobald dieser erkennt, in welche Richtung(en) sich das Objektiv bewegt, wird eine Linsengruppe in die **entgegengesetzte Richtung verschoben**, um so einen erheblichen Teil der unerwünschten Bewegungen auszugleichen.

Die Firma Minolta ging mit ihrem Bildstabilisator bei Digitalkameras einen anderen Weg. Hier ist der **Sensor selbst das ausgleichende Element**. Dazu ist der Chip radial zur optischen Achse verschiebbar gelagert und wird - wenn die Gyrosensoren eine Abweichung festgestellt haben - von zwei Piezomotoren innerhalb des Bildkreises bewegt. Dieses System, auch IBIS (Fujifilm) genannt, wird aktuell immer häufiger eingesetzt, speziell bei DSLMs.

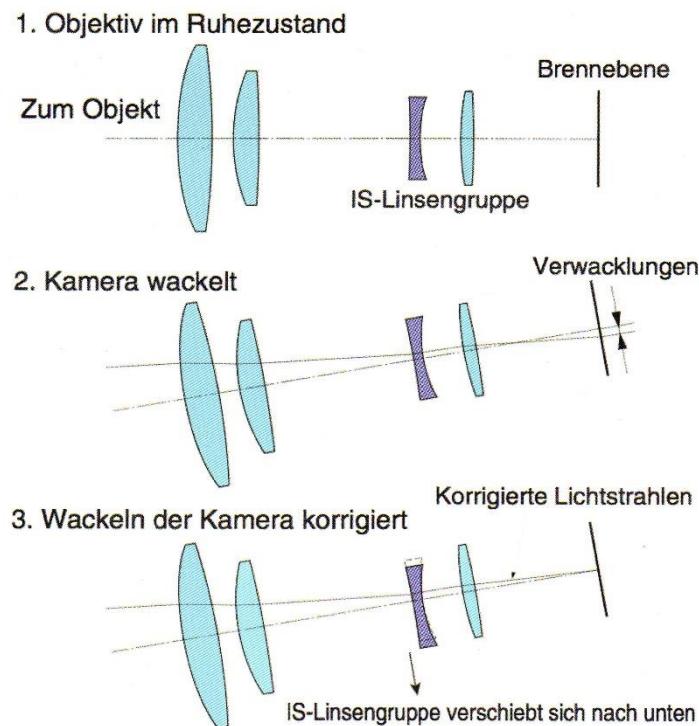


Abbildung 70: Bildstabilisierung

Die Bildstabilisierung lässt sich natürlich **ausschalten**. Dies ist dann sinnvoll, wenn man mit Stativ arbeitet oder wenn man für sehr schnell bewegte Objekte die Kamera mitzieht, um das Objekt vor verwischem Hintergrund scharf darzustellen. In allen anderen Fällen - besonders bei relativ langen Belichtungszeiten - kann ein perfektes Stabilisierungssystem überaus hilfreich sein.

Bei sich **bewegenden Objekten** sind die meisten Bildstabilisatoren **nicht wirksam**. Ebenso können sie sehr starke Schwankungen - wie zum Beispiel auf einem schaukelnden Boot - nicht ausgleichen.

Eine so genannte **elektronische Bildstabilisierung** setzt die Industrie oft in Videokameras ein. Diese Art der „Bildstabilisierung“ ist daher eher eine **Erfindung der Marketingabteilung**. Dazu

werden aber Bezeichnungen verwendet (zum Beispiel Anti-shake DSP), die dem Benutzer eine tatsächliche Stabilisierung vorgaukeln.

#### Folgende Autofokus-Betriebsarten werden unterschieden:

- **AF-Schärfepriorität:** Auslösung ist nur nach erfolgter Scharfstellung möglich.
- **AF-Auslösepriorität:** Auslösung ist auch möglich, obwohl Schärfe nicht ermittelt ist.
- **Continuous-AF:** Nachführautomatik Die Kamera versucht die Bewegung eines Objekts anhand von Messungen vorherzuberechnen um die Schärfe auf dem Objekt zu halten. Wird auch oft als AI-Fokus bezeichnet.
- **One-Shot-AF:** Schärfe wird bei halb durchgedrücktem Auslöser ermittelt und auch bei Bewegungen der Kamera oder des Objekts beibehalten.
- **Automatic-AF:** Mittels Algorithmen wird ein Fokuspunkt errechnet. Gut für hektische Situationen, jedoch anfällig für Fehlfokussierung.

#### 1.9 DAS BOKEH

Ist ein Begriff, um die **subjektive, ästhetische Qualität** von unscharfen Gebieten in einer fotografischen Abbildung zu kennzeichnen, die von einem Objektiv projiziert werden. Es geht dabei nicht um die Stärke der Unschärfe, sondern darum, wie die Unschärfebereiche aussehen. Ein schlechtes Bokeh wird durch ein minderwertiges Objektiv verursacht. So ein Fall tritt oft bei Zoom-Objektiven auf und beruht auf dem Aussehen der Zerstreuungskreise



Abbildung 71: Gutes Bokeh. Achte auf die kreisrunde Blende.



Abbildung 72: Schlechtes Bokeh

### 1.10 BILDBEISPIELE

Folgende Bilder dienen der Erörterung und zum Verständnis der in den vorherigen Kapiteln besprochenen Themen.



**Abbildung 73:** Hoher Kontrastumfang, der vom Chip nicht bewältigt werden konnte. Sonne scheint zum Fenster rein und Personen liegen im Schatten. Bei dieser Situation hilft nur der Standortwechsel oder bei Videokameras die Knee-Funktion.



**Abbildung 74:** Kleine Abbildungstiefe durch niedrige Blendenzahl, fatal bei Gruppenaufnahmen. Abblenden und Blitz, bzw. höhere ISO wären Abhilfe.

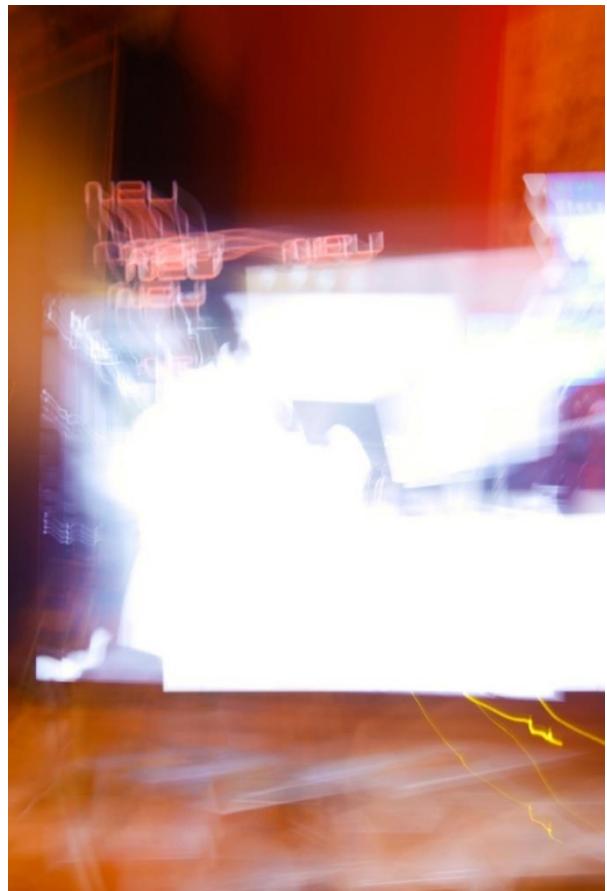


Abbildung 75: Verwackelungsunschärfe (provoziert)



Abbildung 76: Die Form der Zerstreuungskreise deutet auf Blendeneinstellung hin.

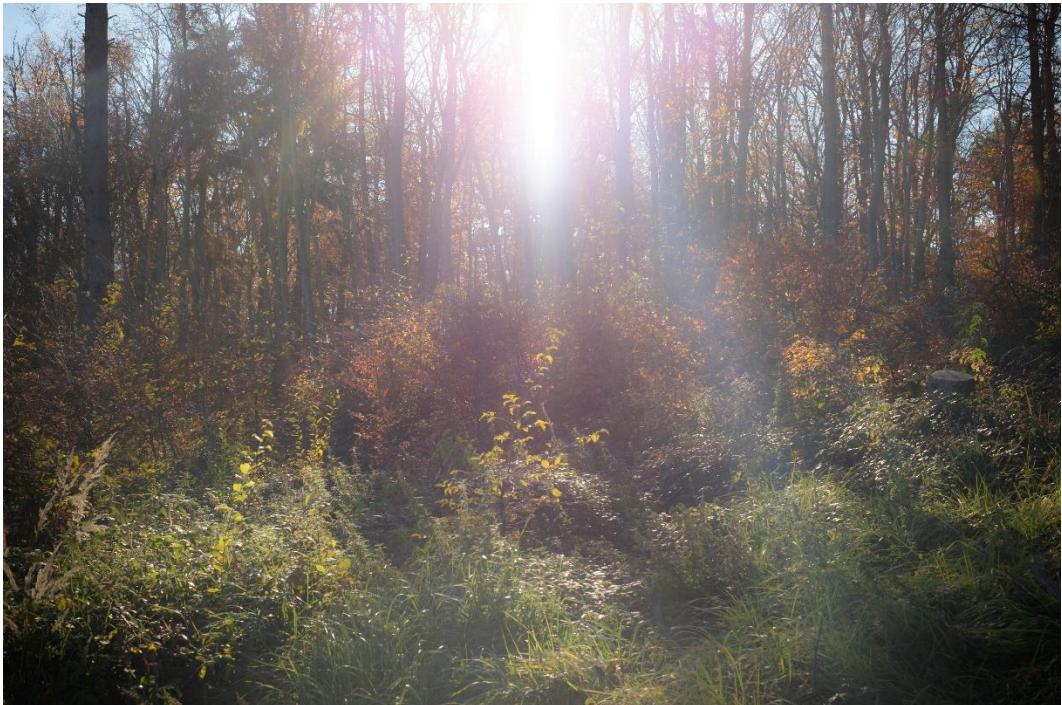


Abbildung 77: Streulicht durch Sonne im Bild.



Abbildung 78: Schärfelage durch kippen der Kamera verlagert.



Abbildung 79: „Cremiges“ Bokeh durch Abwesenheit von Glanzlichtern (Blende f/1,4 35 mm). Die Schärfentiefe beträgt ca. 2 cm.



Abbildung 80: Sonne lacht - Blende 8 - mit Polfilter, 18 mm.



Abbildung 81: Einfangen von Bewegung durch Verschlusszeit (1/40 s).



Abbildung 82: Elektronischer Verschluss bei Offenblende f/1,4 35 mm, 1/12000 s.

## 2 OBJEKTIVE

Ein **Objektiv** besteht grundsätzlich aus einer mehr oder weniger großen **Anzahl von Linsen** und einer **Fassung**.

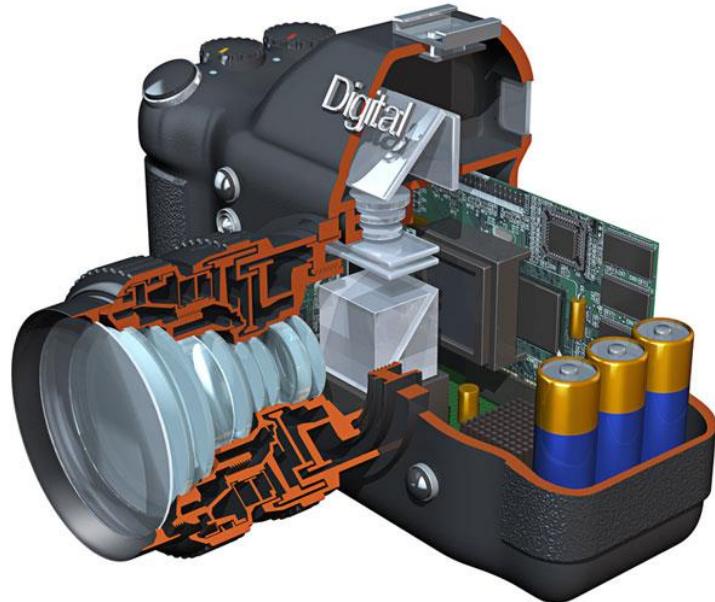


Abbildung 83: Objektivkonstruktion mit mehreren Linsen

### 2.1 AUSWAHLKRITERIEN

Als **Auswahlkriterien** für Objektive sind folgende Punkte relevant:

#### Brennweite



**Lichtstärke****Schärfe und Unschärfeverhalten****Bokeh****Arbeitsdistanz****Blendenform**

- **Farbwiedergabe**
- **Verzeichnung und Abbildungsfehler**
- **Filtergewinde**
- **Wetterfestigkeit und Schutz, Geräuschentwicklung**

## 2.2 SPEZIALOBJEKTIVE

Es gibt eine große Anzahl verschiedener **Spezialobjektive**:

- Makroobjektive
- Lupenobjektive
- Shiftobjektive
- Shift/Tilt Objektive
- Fischaugenobjektive
- Objektive mit extrem hoher Lichtstärke
- Objektive mit extrem langer Brennweite
- Repro-Objektive...

### **Makroobjektive**

Makroobjektive erlauben es, sehr nahe an das Motiv heranzugehen und so **Abbildungen von 1:1** oder größer zu erzielen.

Diese echte Makrofähigkeit erhalten solche Objektive dadurch, dass der Schneckengang sehr lang ausfällt und somit auch auf sehr nahe Objekte scharfgestellt werden kann. Makroobjektive sind **speziell korrigiert**, um die optischen Probleme, die bei Aufnahmen aus solch kurzen Entfernung auftreten, zu unterdrücken.

Als Ersatz für ein vollwertiges Makroobjektiv können auch Zwischenringe, Balgengerät oder Nahlinsen in Verbindung mit einem normalen Objektiv dienen. Allerdings muss man bei diesen mit einigen Einbußen in der Qualität und/oder Handhabung rechnen.



Abbildung 84: Blütenstand mit Makro-Objektiv

### Fischaugenobjektive

Bei diesen handelt es sich um **sehr extreme Weitwinkelobjektive**, die alles, was **vor** (und bei manchen auch das, was **hinter**) der Kamera liegt, auf das Bild bringen.

Es gibt zwei unterschiedliche Typen. Die einen bilden ein **kreisförmiges Bild** auf dem Film ab, die anderen **füllen mit ihrem Bild das ganze Aufnahmeformat aus**, so dass der maximale Blickwinkel nur in der Diagonalen erreicht wird.



Abbildung 85: Fisch-Eye-Objektiv

## 2.3 ABBILDUNGSFEHLER VON OBJEKTIVEN

Die Abbildungsqualität von Objektiven ist allein durch physikalische Effekte wie zB. Linsenfehler limitiert.

### 2.3.1 VERZEICHNUNG

Darunter versteht man die unerwünschte Eigenschaft, dass gerade Linien nicht gerade sondern gebogen abgebildet werden, vor allem direkt am Bildrand. Gerade Linien, die horizontal oder vertikal durch die Bildmitte verlaufen, bleiben jedoch immer gerade.



Abbildung 86: Verzeichnung: Normal, Tonnenform, Kissenform

Diesen Bildfehler kann man relativ leicht selbst erkennen, indem man ein rechteckiges Blatt Papier nahezu formatfüllend aufnimmt. Mitunter ist die Verzeichnung von schlecht korrigierten Objektiven bereits im Sucher zu sehen.

### 2.3.2 STREULICHT / BLENDENREFLEXE

Trotz hochwertiger Oberflächenvergütung wird in geringem Maße an allen Glasflächen Licht reflektiert, das auf einigen Umwegen als Streulicht auf dem Sensor landet und vor allem dunkle Bildbereiche überstrahlt. Folge von flächigem Streulicht ist ein verminderter Kontrast.

Blendenreflexe entstehen ganz ähnlich. Abhängig von der Vergütungsschicht der jeweiligen Linse ergeben sich daher farbige Blendenreflexe, wobei jeder Blendenreflex eine andere Farbe haben kann. Sichtbare Blendenreflexe treten nur dann auf, wenn sich eine starke Lichtquelle entweder im Bild oder knapp außerhalb befindet. Man kann nur durch Änderung der Position der Lichtquelle im Bild Einfluss auf ihre Lage nehmen.

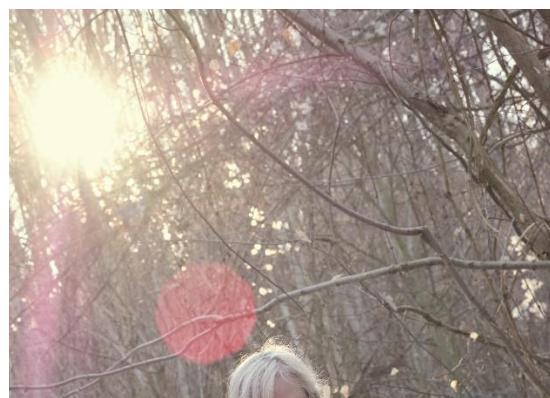


Abbildung 87: Blendenreflexe/Streulicht

### 2.3.3 BILDFELDWÖLBUNG

Bildefeldwölbung heißt, dass die Schärfeebene nicht plan ist und eine Unschärfe in Richtung der Ränder sichtbar ist.

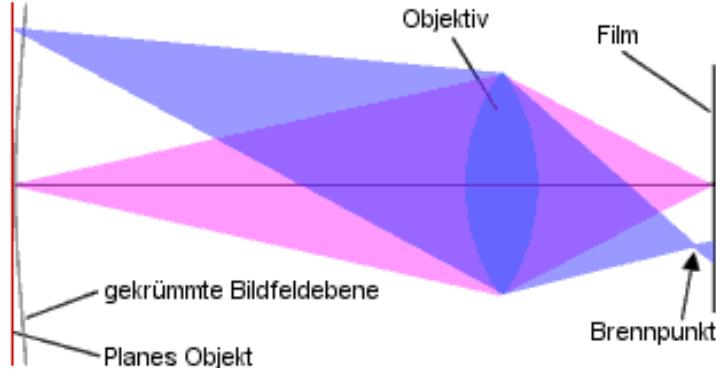


Abbildung 88: Bildefeldwölbung

Die Bildefeldwölbung wirkt sich in der Praxis so aus: Stellt man auf die Bildmitte scharf, ist bei offener Blende und einem planen Objekt der Bildrand unscharf. Stellt man auf den Rand des Objekts scharf, ist die Bildmitte unscharf. Abhilfe schaffen kann man auf zwei Wegen. Der eine ist die Anschaffung eines speziellen mit planem Bildfeld, der andere ist der Versuch, die Wölbung durch starkes Abblenden und die damit einhergehende Erhöhung der Schärfentiefe zu kompensieren.

### 2.3.4 BEUGUNG

Beugungsunschärfe entsteht durch Beugung von Licht an der Blende. Viele Bildfehler kann man durch Abblenden verringern, der Einfluss der Beugung wird jedoch beim Abblenden immer größer. Aus diesem Grund besitzt jedes Objektiv eine sogenannte förderliche Blende, bei der die Summe der schärfevermindernden Bildfehler minimal und damit die Bildqualität am höchsten ist.

## 2.4 LINSENFEHLER

Objektive bestehen aus ca. 4 bis 18 Linsen. Der Grund liegt darin, dass eine einzelne Linse Linsenfehler aufweist, die physikalisch bedingt sind und sich daher auch durch sehr präzise Fertigung nicht vermeiden lassen. Aus diesem Grund versucht man, den Gesamtfehler eines Objektivs durch geschickte Kombination mehrerer Linsen mit speziellen Eigenschaften zu minimieren.

### 2.4.1 CHROMATISCHE ABBERATION/FARBLÄNGSFEHLER

Verschiedenfarbiges Licht wird nicht um den gleichen Betrag abgelenkt. Dadurch wird ein Lichtstrahl in ein Lichtbündel aufgefächert, wobei langwelliges Licht am wenigsten und kurzwelliges Licht am stärksten abgelenkt wird. Die Folge sind Farbsäume und eine reduzierte Bildschärfe.



Abbildung 89: Chromatische Abberation

Bei der Fertigung können die Auswirkungen stark reduziert werden: Man kombiniert eine Konvexlinse (Sammellinse) mit einer Konkavlinse (Zerstreuungslinse), die aus einem anderen Material hergestellt ist. Solche Linsenkombinationen bezeichnet man als Achromate, achromatische Linsen oder als chromatisch korrigierte Linsen.

### 2.4.2 SPHÄRISCHE ABBERATION

Handelsübliche Linsen besitzen kugelförmige Oberflächen, dh. die Radien der beiden Oberflächen sind konstant. Man spricht von sphärischer Oberfläche. Dadurch werden randnahe Lichtbündel in einem Punkt gebündelt, der vor dem Brennpunkt von Lichtstrahlen liegt, die in der Nähe der Mitte auf die Linse treffen. Lichtstarke Objektive sind von der sphärischen Abberation daher viel stärker betroffen als lichtschwache. Die Auswirkungen kann man sehr leicht durch Abblenden des Objektivs verringern. Bei sogenannten asphärischen Linsen tritt dieser Linsenfehler nicht auf.

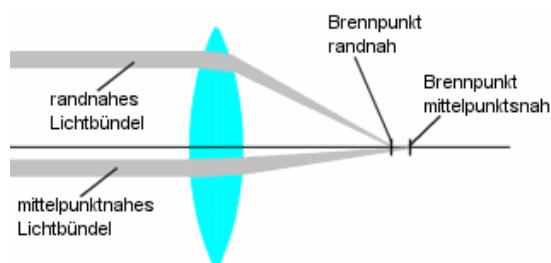


Abbildung 90: Sphärische Abberation

---

#### 2.4.3 ASTIGMATISMUS

Astigmatisch heißt übersetzt „nicht punktförmig“. Schräg einfallende, winzige runde Lichtbündel werden auf dem Film nicht als kleine Kreise abgebildet sondern oval bis zu einem kurzen Strich hin. Im Objektivbau kann man den Astigmatismus durch Verwendung von mehreren Linsen mit unterschiedlichen Linsenformen stark reduzieren.



Abbildung 91: Astigmatismus im Foto mit Richtungspfeil

## 2.5 FOTOGRAFISCHE FILTER

Von den Kamera- bzw. Objektivherstellern und noch vielmehr von Zubehörherstellern wird eine große Zahl an **Aufnahmefiltern** angeboten.

### 2.5.1 FILTERBAUARTEN

Bei Filtern handelt es sich meistens um **planparallele Glas- oder Kunststoffscheiben**. Diese sind **entweder eingefärbt** oder aber deren **Oberfläche besitzt eine bestimmte Struktur**. Ebenfalls möglich ist, dass eine **Filterfolie** zwischen zwei planparallelen Glasplatten eingebettet ist. **Glasfilter** sind in unterschiedlichen Qualitätsstufen **vergütet**. Diese **Vergütung** verhindert im Vergleich zu unvergüteten Filtern **Geisterbilder** und **Streulicht**. Sehr wichtig ist, dass die Filterscheibe absolut planparallele Oberflächen besitzt. Eine unzureichende Planparallelität vermindert die Auflösung und sorgt für Bildverzerrungen.

Weitverbreitet sind **Einschraubfilter**. Bei ihnen sind runde Filterscheiben in meistens Messing eingefasst. Die Messingfassung ist zur Verminderung von Reflexionen fast immer schwarz beschichtet und besitzt ein Feingewinde, mit dem man den Filter in das Filtergewinde des Objektivs einschrauben kann. Es gibt insbesondere von Kameraherstellern für Mittelformatkameras aber auch **Filter mit Bajonett**. Eine weitere Bauart, speziell für EffektfILTER, sind rechteckige **Kunststoffscheiben**, die in einen speziellen Halter eingesteckt werden (zB. Cokin-System). Der Halter selbst besitzt ein Feingewinde und wird in das Filtergewinde des Objektivs eingeschraubt oder mittels Bajonett adaptiert.

### 2.5.2 VERGÜTUNG

Glasfilter besitzen heutzutage eigentlich immer eine Oberflächenvergütung. Bei Brillen wird diese oft als **Entspiegelung** bezeichnet. Licht geht selbst beim nahezu rechtwinkligen Auftreffen auf eine unvergütete Glasscheibe (das ist der günstigste Fall) **nicht zu 100 % durch die Scheibe**. Vielmehr werden ca. 4 - 6 % bei jedem Übergang von Luft zu Glas und auch umgekehrt reflektiert, wodurch es zu **Geisterbildern und Streulicht** kommt.

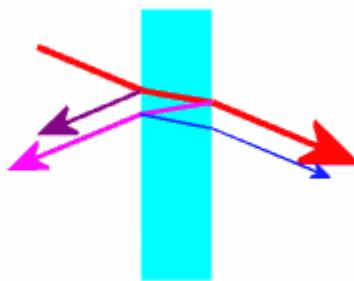


Abbildung 92: Lichtdurchgang durch Glasscheibe

Durch eine Vergütung macht man durch Einsatz aufgedampfter Schichten den **Übergang vom optisch dünnen Medium (Luft) zum optisch dichten Medium (Glas) bildlich gesprochen weicher**, so dass der **Reflexionsgrad deutlich sinkt**. Es gibt mehrere Qualitätsstufen der Vergütung, angefangen von einer Einfachvergütung bis hin zur aufwendigen Mehrfachvergütung aus mehreren übereinanderliegenden Schichten.

### 2.5.3 NÜTZLICHE FILTER

Zu den wichtigsten Filtern zählen der **Polarisationsfilter**, der **Neutraldichte-Filter** und der **UV/Skylight-Filter**.

#### 2.5.3.1 UV-FILTER

Ein UV-Filter hat die Aufgabe, **ultraviolettes Licht abzublocken**. Diese Filter erfüllen bei modernen Sensoren nur mehr den Zweck das Objektiv zu schützen.

#### 2.5.3.2 SKYLIGHT-FILTER

Ein Skylightfilter ist im Grunde ein sehr schwaches **Farbkonversionsfilter** und sorgt für eine geringfügig **wärmere Farbwiedergabe**.

#### 2.5.3.3 POLARISATIONSFILTER/POLFILTER

Polfilter lassen nur Licht einer **Schwingungsebene durch** und sperren **Licht** aller anderen Schwingungsebenen.

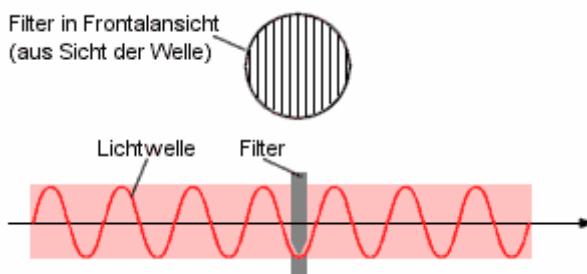


Abbildung 93: Polfilter in Durchlassrichtung

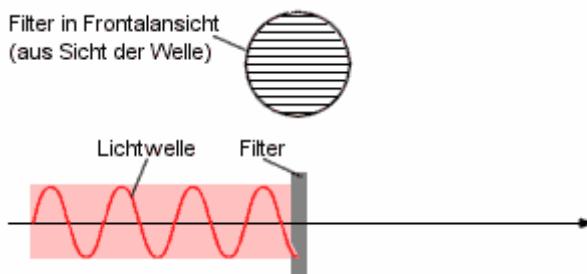


Abbildung 94: Polfilter in Sperrrichtung

Direktes Sonnenlicht ist unpolarisiert, es finden sich in ihm Lichtwellen mit den **verschiedensten Schwingungsebenen**. Ein **Polarisationsfilter sperrt** von diesem Licht bestimmte Schwingungsebenen und dämpft solche recht stark, deren Schwingungsebene nicht genau durch das Gitter passt. Hinter dem Polfilter ist daher fast ausschließlich Licht einer Schwingungsebene vorzufinden, so dass die **Lichtintensität hinter dem Filter deutlich geringer als davor ist**. In der Praxis beträgt der Lichtverlust ca. 2 bis 3 EV.

Die in der Fotografie wichtigsten Anwendungsfälle sind **Reflexe auf nichtmetallischen Flächen und das Himmelsblau**.



Abbildung 95: Polfilter-Einsatz metallische Oberflächen und Glas



Abbildung 96: Fotografische Filter



**Ohne Filter**  
Fotograf: Thomas Gütter



**Mit CPL Filter**  
Fotograf: Thomas Gütter



**Ohne Filter**  
Fotograf: Thomas Gütter



**Mit CPL Filter**  
Fotograf: Thomas Gütter

**Abbildung 97: Polfilter-Einsatz Landschaft**

#### 2.5.3.4 FARBKONVERSIONSFILTER

Bei modernen Kameras wird dieser Effekt durch den **Weißabgleich** erzielt. Farbfilter können aber für kreative Zwecke genutzt werden.

#### 2.5.3.5 NEUTRALDICHTE-FILTER

Unter **Neutraldichtefilter (ND-Filter, Neutralfilter, Graufilter)** versteht man **Glas- oder Kunststoffsscheiben**, die vor das Objektiv der Kamera geschraubt oder gesteckt werden, um **gleichmäßige Abdunkelung** im Bild zu erzielen. Graufilter sind ebenfalls in der Filmkamera- und Fernsehkameratechnik sowie in der Lichttechnik in Gebrauch. Sie sind **homogen neutralgrau** eingefärbt, so dass die **Farbwiedergabe nicht verfälscht** wird.

Standardtypen der Graufilter besitzen den **Verlängerungsfaktor 2, 4 oder 8**. Auf den Filterfassungen wird dazu die Bezeichnung ND 2X, ND 4X oder ND 8X angegeben. Nutzt man zB. einen ND 100X kann die Belichtungszeit bei gleicher Blendeneinstellung um den Faktor 100 verlängert werden, dh. das einfallende Licht beträgt nur mehr 1/100 der ursprünglichen Menge.

Der ND-Filter wird verwendet, um bei **viel Licht mit Offenblende** fotografieren/filmen zu können und die **Belichtungszeit bei Tageslicht zu verlängern**.



**Abbildung 98: Beispiel ND-Filter**

## 2.6 DIE OBJEKTIVTYPEN

### Weitwinkelobjektive

- haben mehr Schärfentiefe
- haben mehr Räumlichkeit
- sind auch mit längeren Zeiten aus der Hand zu halten

### Teleobjektive

- haben selektive Schärfentiefe
- haben eine graphischere Wirkung
- brauchen oft ein Stativ
- können entfernte Objekte verbinden

### Normalobjektiv

- Dokumentarischer Look
- Meist günstig
- Einfach zu fertigen und gute Qualität
- Sehr vielseitig einsetzbar

---

### 2.6.1 TELEOBJEKTIVE

**Teleobjektive haben:**

- Lange Brennweiten
- Ca 85 – 500 mm KB-äquivalent

**Eigenschaften:**

- Enger Bildwinkel
- Enger Bildausschnitt
- Flache Tiefenschärfe
- Flache räumliche Wiedergabe (Telefotokompression)

**Verwendung:**

- Für Portraits, es verzerrt nicht die Linien und flacht die Konturen etwas ab. Gesicht wird nicht aufgeblasen und verzerrt wie bei Weitwinkel
- Für Sportaufnahmen wegen der Details aus großer Entfernung
- Schwierig in der Hand zu halten, verwackelt leicht
- Schwierig zum Scharfstellen, geringe Tiefenschärfe

**Charakteristik**

- Poetisch
- Romantische Stimmung, sehr häufig im amerikanischen Kino (Tierfilme, Walt Disney...)
- Leichtes Tele auch bei Actionfilmen zur Konzentration, zB Terminator.

Ein lichtstarkes 85-mm-Objektiv gilt als das **Portraitobjektiv** schlechthin, aber auch lichtstarke Objektive mit 100 und 135 mm kann man sehr gut als Portraitobjektiv verwenden. Bei hoher Lichtstärke versinkt der Hintergrund in Unschärfe, so dass er nicht vom Motiv ablenkt. Alle längeren Brennweiten verwendet man vorzugsweise, um das Motiv größer abzubilden, weil man nicht näher herankommt und dadurch kein Objektiv mit kürzerer Brennweite verwenden kann.

---

### 2.6.2 WEITWINKLEOBJEKTIVE

Die tatsächliche Baulänge von Weitwinkelobjektiven ist oft länger als ihre optische Länge. Durch den Spiegel in Spiegelreflexkameras müssen Objektive eine gewisse Mindestdistanz zum Aufzeichnungsmedium einhalten. Dadurch sind sehr kurzbrennweitige Weitwinkelobjektive im klassischen Sinne an diesen Kameras nicht zu benutzen. Man nimmt stattdessen sogenannte **Retroobjektive**. Diese können, trotz kurzer Brennweite, weiter vom Film/Sensor entfernt sein. Der Platz für den Spiegel bleibt dadurch erhalten. Die Brennweitenangabe auf dem Objektiv entspricht bei diesen Objektiven also nur der optisch wirksamen Länge.

**Weitwinkelobjektive haben:**

- Kurze Brennweiten
- Bis ca. 35 mm, ab ca. 16 mm KB-äquivalent

### Eigenschaften:

- Großer Bildwinkel
- Sehr weiter Bildausschnitt
- Sehr große Tiefenschärfe
- Plastische, dynamische Bildwiedergabe
- Nahe Bildelemente erscheinen oft unnatürlich und stark vergrößert, die Größenverhältnisse nehmen in Richtung Hintergrund dramatisch ab

### Verwendung:

- In engen Räumen (Keller...)
- Nicht für Portraits (Verzerrungen)
- Oft bei Musikclips (MTV-Style)
- Für Reportagen, Interviews, verwackelt nicht so leicht
- Oft bei Pocketkameras wegen hohem Schärfebereich (oft von vorne bis hinten durchgehend bei kleiner Sensorgröße)

### Charakteristik:

- Realistische Ausdruckskraft, „mitten im Geschehen“
- Weniger ästhetischer Eindruck
- Häufig im europäischen Kino
- Expressionistisch durch Verzerrung, dynamische Raumdarstellung
- Verzerrt die Linien, stürzende Linien

Je kürzer die Brennweite ist, desto stärker ist zudem der **Lichtabfall** in den Bildecken, was sich besonders in einfarbigen Flächen bemerkbar macht. Weitwinkeltypische Aufnahmen gelingen bei 24 und 20 mm Brennweite. Bei Landschaftsaufnahmen verstärkt ein groß aufgenommener Vordergrund die Wirkung. Dies erreicht man dadurch, dass man nicht im Stehen fotografiert, sondern in die Hocke geht oder sich sogar auf den Boden legt. Vordergrund und weit entfernte Objekte wie zB. Wolken werden gleichzeitig scharf wiedergegeben, wenn man ausreichend stark abblendet.

Kippt man, wie bei längerbrennweiten Objektiven gewohnt, die Kamera nach oben oder unten, ergeben sich **stürzende Linien**, an denen man sofort ein Weitwinkelfoto erkennen kann.

---

### 2.6.3 NORMALBRENNWEITEN

Normalobjektive werden so genannt, weil sie die Welt ungefähr so wiedergeben, wie ein Mensch sie wahrnimmt. Ihr Bildwinkel stimmt in etwa mit dem des menschlichen Auges (besser: dem der menschlichen Wahrnehmung) überein.

Das Größenverhältnis von Vorder- und Hintergrund wirkt auf diese Art **ausgewogen und harmonisch**, und wir empfinden dieses Verhältnis als **normal**. Viele der Meisterwerke der Fotografie sind mit diesem Objektivtyp entstanden.

Fast alle Hersteller bieten im Bereich der Kleinbildfotografie exzellente Objektive mit hoher Lichtstärke im Bereich von 50 mm Brennweite recht **preiswert** an.

#### Normalobjektive haben:

- Mittlere Brennweiten
- Ca 40 – 60 mm KB-äquivalent

#### Eigenschaften:

- Mittlerer Bildwinkel
- Mittlere Tiefenschärfe
- Raumwiedergabe entspricht der des menschlichen Auges
- Sehr große offene Blende
- Sehr günstig

#### Verwendung:

- Wenn der Inhalt im Vordergrund steht

#### Charakteristik:

- Sehr natürlicher, unauffälliger Look
- Sehr abgeklärte Bildwirkung ohne Effekthascherei

Standardobjektive können aus physikalischen Gründen sehr einfach aufgebaut sein. Obwohl sie wegen des geringen Korrekturbedarfs aus nur zwischen 4 und 6 Linsen bestehen, bieten sie eine extrem hohe Abbildungsqualität, an die kaum ein anderer Objektivtyp herankommt. Weiterhin sind sie in aller Regel sehr lichtstark; 1:1,8 oder 1:1,4 sind die Regel. Zudem werden in sehr großer Stückzahl gefertigt und sind daher im Vergleich zu anderen Objektivtypen in Anbetracht der hohen Lichtstärke preiswert.

#### 2.6.4 MAKROOBJEKTIVE

Durch bestimmtes Makrozubehör (Nahlinsen, Zwischenringe oder Balgengeräte) kann man zwar den Einstellbereich zum Nahbereich hin erweitern, jedoch haben alle diese Systeme bestimmte Nachteile.

##### Eigenschaften Makro:

- Schärfe lässt sich bis knapp an die Frontlinse einstellen
- Großer Abbildungsmaßstab möglich
- Kleine Objekte (Käfer...) können bildfüllend abgebildet werden
- Extrem kleine Tiefenschärfe, deshalb oft hohe Blenden (f 32...)
- Schärfe nimmt manchmal schon am Rand ab
- Hoher Anschaffungskosten

##### Verwendung:

- Für kleine Objekte
- Reproduktion, Archivierung
- Reprokamera für Druck, zB um alte Dokumente zu fotografieren und diese dann hochqualitativ zu drucken

Makroobjektive für Kleinbildkameras werden üblicherweise mit Brennweiten um die 100 mm oder 50 mm hergestellt, wobei die Anfangsöffnung fast immer im Bereich von 1:2,8 bis 1:4,0 liegt. Speziell die Modelle mit einer Brennweite um die 100 mm und einer Lichtstärke von 1:2,8 können als Allround-Alternative zu einem festbrennweitigen Non-Makro-Objektiv gleicher Brennweite verwendet werden. Die Abbildungsqualität bei voller Öffnung ist zwar normalerweise etwas geringer aber man wird durch ein **planes Bildfeld und eine verzeichnungsfreie Abbildung** entschädigt. Vorteilhaft ist, dass man ein Makroobjektiv **stärker abblenden** kann. Während man bei einer Brennweite von 100 mm normalerweise auf Blende 16 oder 22 limitiert ist, kann man bei einem Makroobjektiv **Blende 32 oder 45 einstellen**. Dies ist im Nahbereich wichtig, um einen ausreichend großen Schärfentiefenbereich zu erhalten.

*Es gibt kaum ein Objektiv, das keine sogenannte Makroeinstellung besitzt. Mit echten Makroobjektiven sind sie allerdings in keinster Weise zu vergleichen: Sie verzeichnen in störender Weise, das Bildfeld ist gewölbt statt plan, sie sind nicht weit genug abblendbar und sie sind auch nicht für den Nahbereich gerechnet.*

---

## 2.6.5 BILDBEISPIELE



Abbildung 99: Typische dynamische Bildkomposition durch Wahl eines Weitwinkel-Objektivs (18 mm APS-C)



Abbildung 100: Aufnahme mit Tele-Objektiv (230 mm APS-C). Abflachung (Telefotokompression) der Tiefe



Abbildung 101: Teleobjektiv für Close-Up genutzt, besser wäre ein Makro-Objektiv



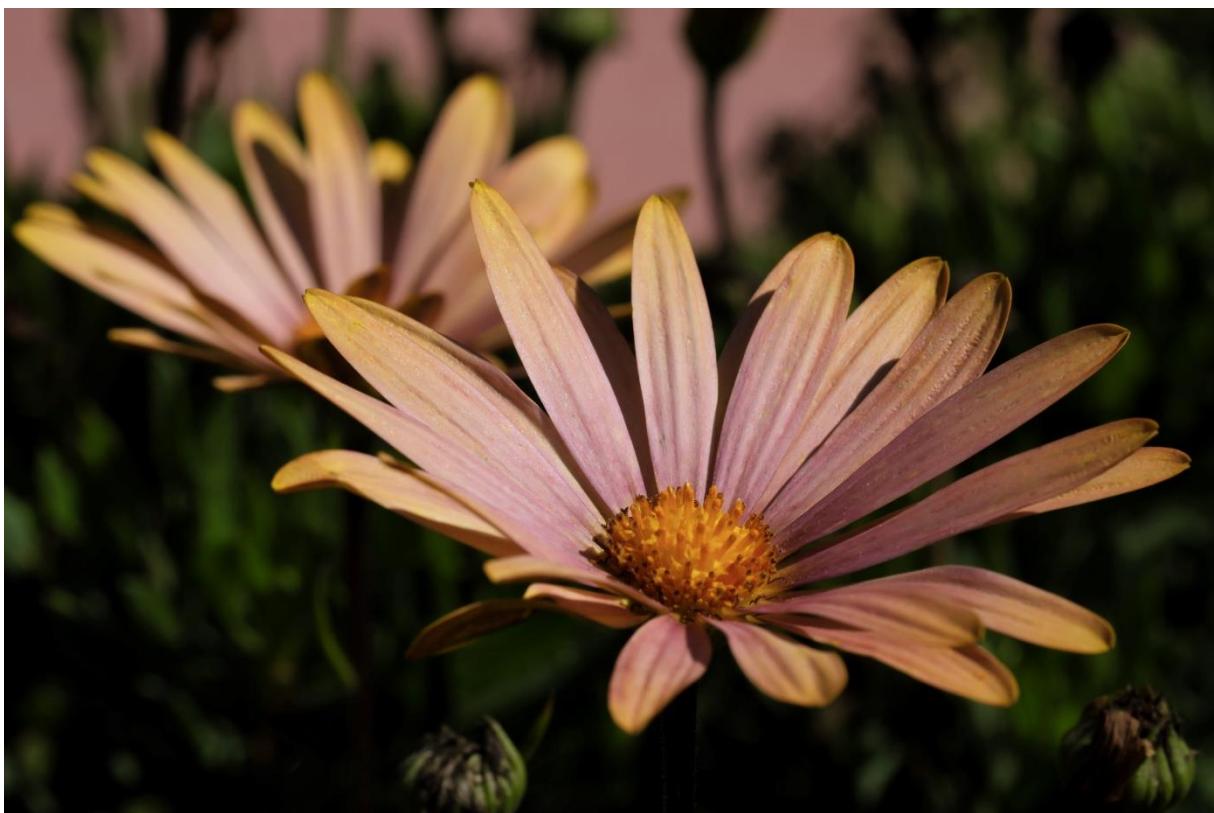
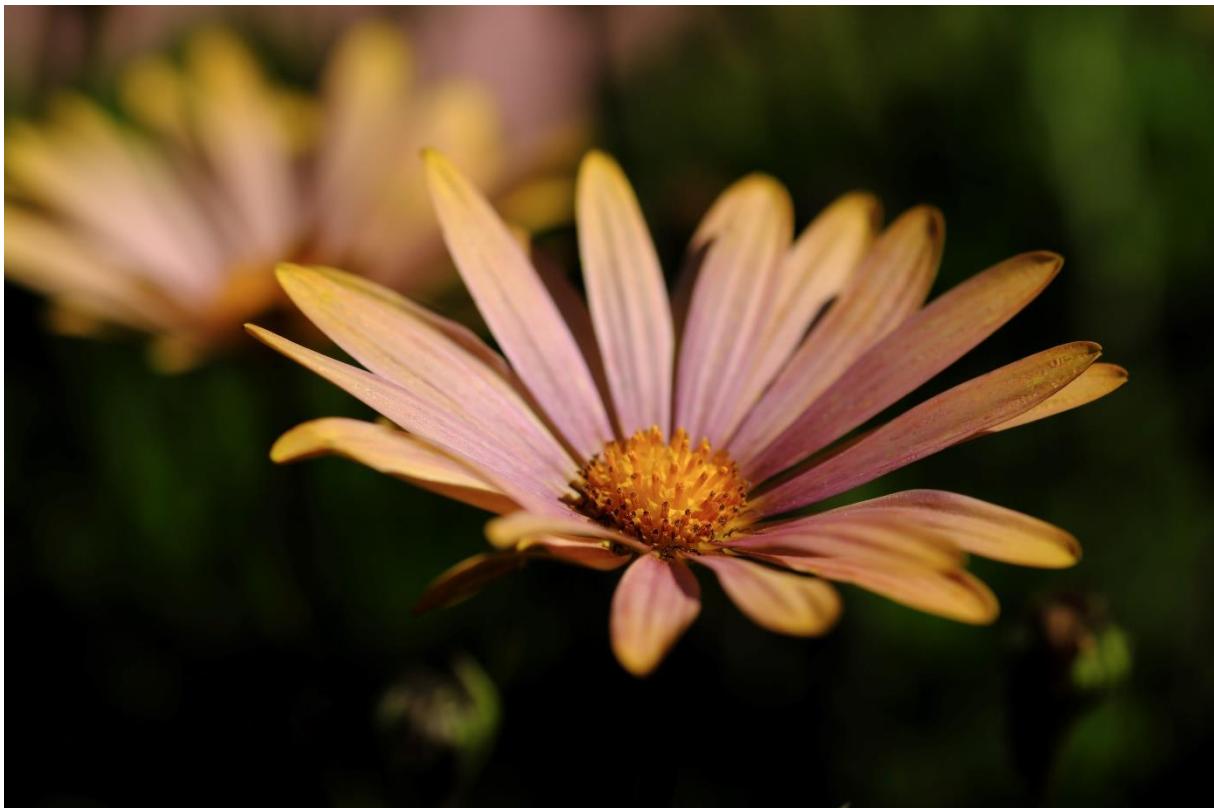
Abbildung 102: Vogel mit AF-C und Dreck am Sensor



Abbildung 103: Weitwinkel 18 mm f/4. Wichtig für durchgehende Schärfe ist die Lage des Fokuspunkts



Abbildung 104: 35 mm f/2,8 ACROS-Film-Scan



**Abbildung 105:** Vergleich zweier Aufnahmen mit unterschiedlicher Blendenöffnung bei gleicher Entfernung.  
Beachte, dass die Schärfentiefe im Vordergrund die schwieriger zu kontrollierende ist



Abbildung 106: Einsatz eines Polfilters. Nicht nur für Wasser und Himmel sinnvoll



Abbildung 107: 35 mm f/1,8. Nicht auf Gesicht fokussieren, sonst ist der Vordergrund unscharf



Abbildung 108: Abdunkelung des Himmels mit Polfilter



Abbildung 109: Bei kurzen Abständen und offener Blende kann man die Schärfe durch Vor- und Zurückbewegen ändern, nicht durch Fokusring. Das geht schneller und ist stabiler gegen Verwacklung.

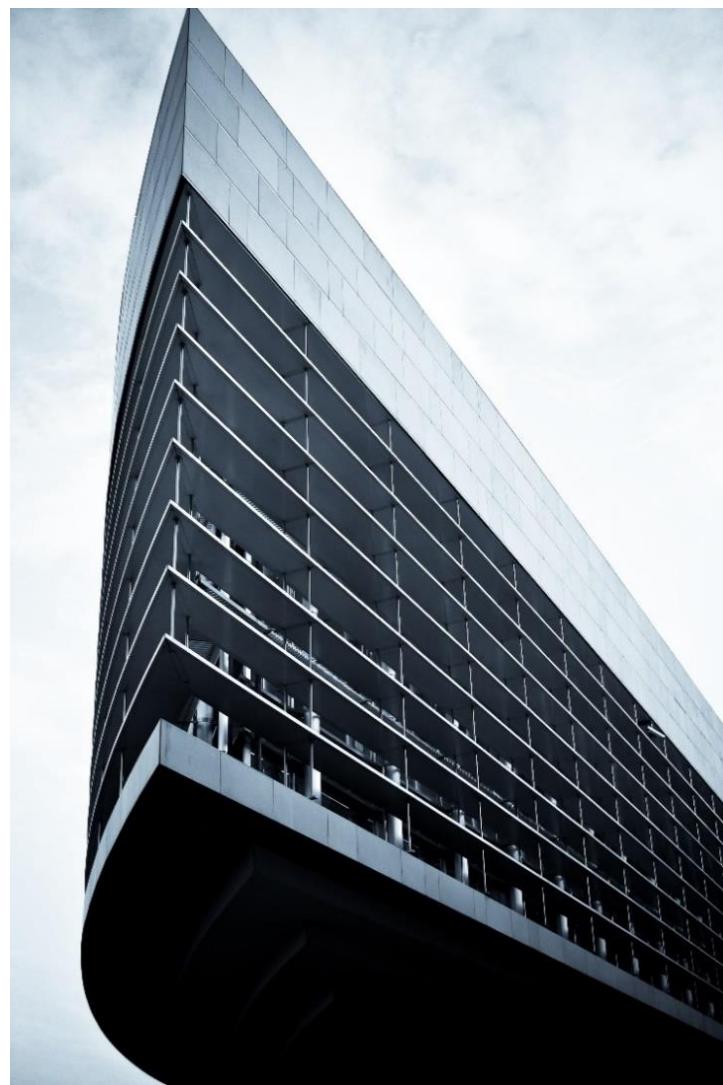


Abbildung 110: Dynamische Bildgestaltung durch Weitwinkel-Objektiv (Tonnen-Verzeichnung im Bild oben)

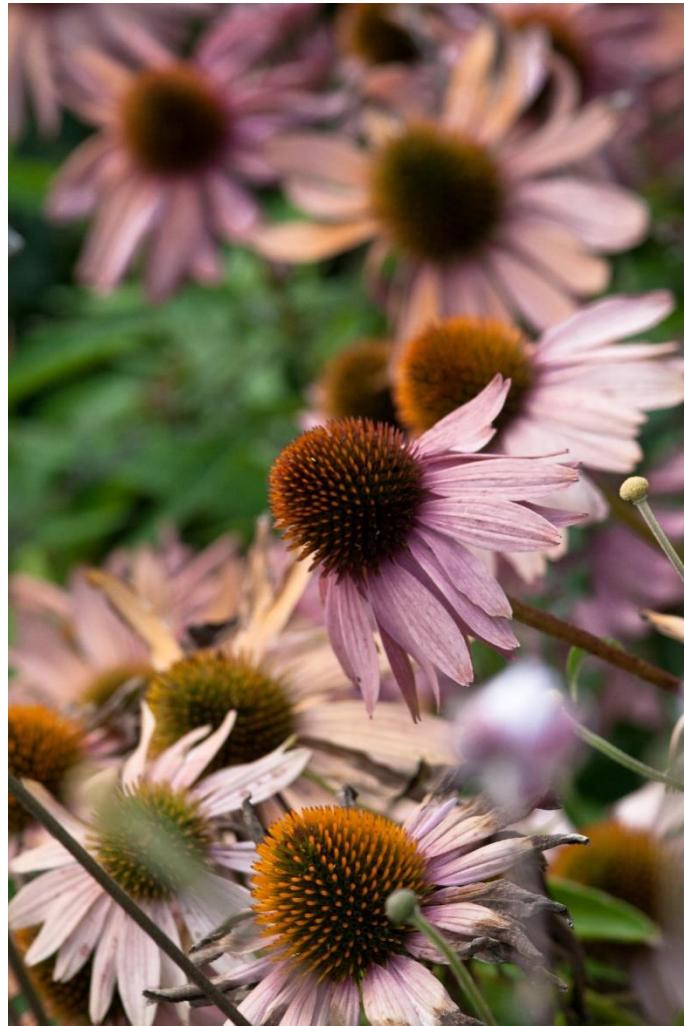


Abbildung 111: Gestaltungsmittel Tiefenunschärfe

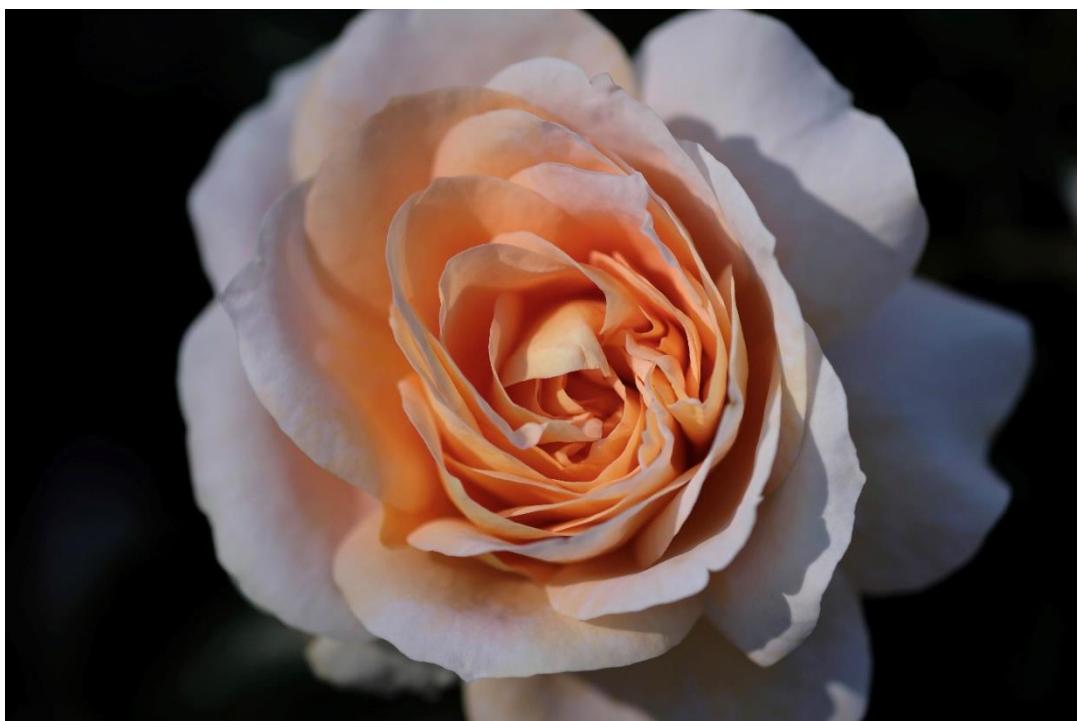


Abbildung 112: Kurze Verschlusszeit um den Hintergrund abzudunkeln. 60 mm f/2,5 1/3000 s

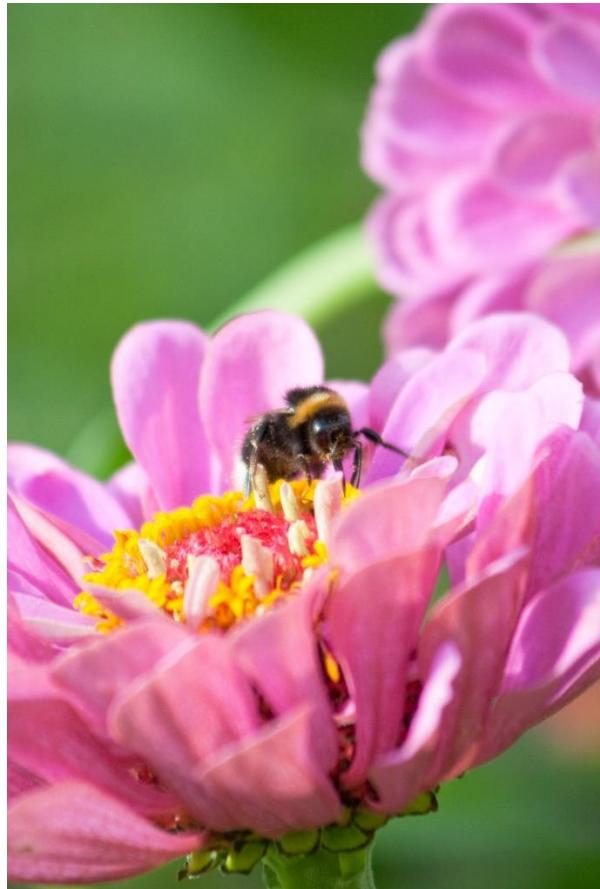


Abbildung 113: Nur mit Kontrolle der Entfernung, Zeit, Blende und Brennweite sind solche Bilder ohne Makro-Objektiv möglich (in diesem Fall 300 mm 1:4 – 5.6).



Abbildung 114: Kurze Verschlusszeiten bei schnellen Bewegungen und offene Blende für Motiv-Isolierung

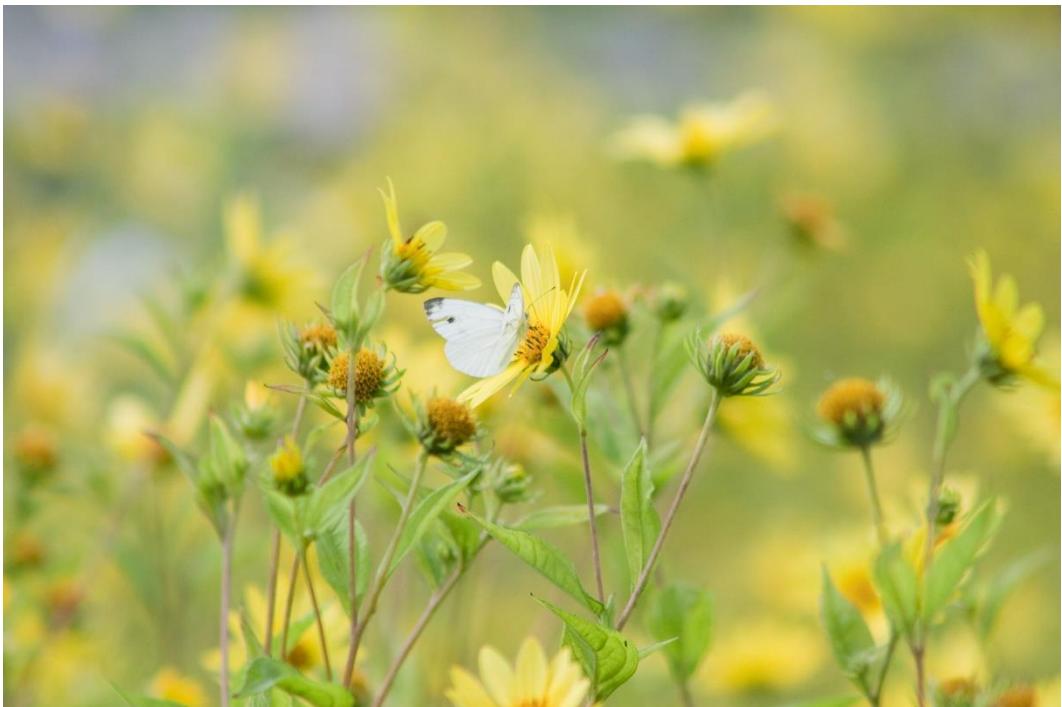


Abbildung 115: High Key Bild mit Konzentration des Blicks auf die Bildmitte



Abbildung 116: 60 mm Makro f/2,4 APS-C ist aufgrund der geringen Verzeichnung und Bildfeldwölbung gut für Portrait und Produktfotografie geeignet

### 3 BELICHTUNG

Die Belichtung des Films oder Chips ist abhängig von:

- Empfindlichkeit (ISO, ASA, DIN)
- Belichtungszeit
- Blende
- Intensität des Lichts

Ein **Belichtungsmesser** bringt diese genannten Kriterien in Zusammenhang.



### 3.1 EMPFINDLICHKEIT

Die Filmempfindlichkeit wird in Zahlenwerten angegeben. Höhere Zahlen bedeuten **höhere Empfindlichkeit beim Film oder Verstärkung** beim Sensor. Gegenwärtig sind **ISO-lose** Kameras immer häufiger anzutreffen, bei denen digital gepusht wird. Das ist nur bei Sensoren mit sehr gutem SNR möglich.

<b>Empfindlichkeit</b>	<b>ASA</b>	<b>DIN</b>	<b>ISO</b>
<b>niedrig</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12/12°</b>
	16	13	
	20	14	
	<b>25</b>	<b>15</b>	<b>25/15°</b>
	32	16	
	40	17	
	<b>50</b>	<b>18</b>	<b>50/18°</b>
	64	19	
	80	20	
	<b>100</b>	<b>21</b>	<b>100/21°</b>
<b>normal</b>	125	22	
	160	23	
	<b>200</b>	<b>24</b>	<b>200/24°</b>
	250	25	
	320	26	
	<b>400</b>	<b>27</b>	<b>400/27°</b>
	480	28	
<b>hoch</b>	640	29	
	<b>800</b>	<b>30</b>	<b>800/30°</b>

Abbildung 117: Tabelle Empfindlichkeit

Bei höherer Empfindlichkeit tritt Rauschen oder erhöhte Körnung auf. Auf diesen Sachverhalt wurde oben im Skript bereits eingegangen.

Bei Profikameras haben wir oft kein ISO sondern einen **Gain**-Regler. Hierbei wird die Verstärkung als Amplitudenfaktor in dB angegeben. + 6 dB entspricht +1 EV und somit einer Verdoppelung der Amplitude, - 12 dB entspricht - 2EV und somit nur mehr einem Viertel der Amplitude.

### 3.2 BELICHTUNGSMESSUNG

Es gibt zwei vollkommen unterschiedliche Arten der Belichtungsmessung:

- **Objektmessung** (am häufigsten, da oft eingebaut)
- **Lichtmessung**

Für die meisten Situationen reicht die Objektmessung völlig aus, doch manchmal ist der Einsatz der Lichtmessung von Vorteil.

---

### 3.2.1 OBJEKTMESSUNG

Bei der Objektmessung wird das vom Motiv reflektierte Licht gemessen. Sie ist die am meisten eingesetzte Methode der Belichtungsmessung. Alle in die Kamera **eingebauten Belichtungsmesser** arbeiten nach diesem Prinzip. Bei vielen Aufnahmen ist das ganz problemlos.

#### Die Graukarte

Die Graukarte ist ein Objekt, das 18 % des auffallenden Lichtes reflektiert. Diese muss diese in das gleiche Licht gehalten werden, das das Motiv beleuchtet. Die Graukarte sollte das **gesamte Sucherbild** ausfüllen. Jetzt misst man die Belichtung, und mit diesem Wert kann das Motiv fotografiert werden. Anstatt der Graukarte kann man auch die **Handflächen** verwenden!

---

#### 3.2.1.1 METHODEN DER OBJEKTMESSUNG

**Es gibt mehrere Methoden der Objektmessung.**

- mittenbetonte Integralmessung
- mittenbetonte Messung
- Mehrfeld/Mehrzonenmessung
- Spotmessung

Zur Objektmessung kommen mehrere Methoden zum Einsatz.

#### Mittenbetonte Integralmessung

Dabei werden die **Helligkeiten im Bild unterschiedlich stark gewichtet**. Bereiche in der oberen Bildhälfte werden nicht so stark berücksichtigt wie die untere Bildhälfte. Das Zentrum wird stärker gewichtet als der Bildrand.

#### Mittenbetonte Messung

In vielen Kameras findet die mittenbetonte Messung Verwendung. Bei ihr wird der **zentrale Bereich des Bildes** (etwa das innere Drittel) mit ca. 75 % an der Belichtungsmessung gewichtet. Der Rest trägt zum Ergebnis nur etwa 25 % bei.

#### Mehrfeld/Matrix/Mehrzonenmessung

Bei ihnen wird das Bild in verschiedene Bereiche eingeteilt, die je nach Kombination der Helligkeiten und der Kontraste zwischen den einzelnen Feldern die Belichtung errechnen.

#### Spotmessung

Die Spotmessung ist eine sehr zuverlässige und genaue Methode der Belichtungsmessung. Doch erfordert sie sehr viel Erfahrung. Bei Ihr wird nur ein kleiner Bereich in der Bildmitte gemessen. Wenn man den richtigen Punkt misst (evtl. eine Graukarte) ist das Ergebnis sehr zuverlässig. Wenn jedoch das Ziel zu hell oder dunkel ist, und man das Ergebnis nicht richtig interpretiert, hat man starke Fehlbelichtungen. Diese Messmethode ist für den erfahrenen Fotografen zu empfehlen.

### 3.2.2 LICHTMESSUNG

Die Lichtmessung erfordert normalerweise einen **Handbelichtungsmesser**. Viele Handbelichtungsmesser sind umschaltbar auf Licht- oder Objektmessung. Zur Lichtmessung besitzen diese Belichtungsmesser eine kleine opake Kuppel, die so genannte Kalotte. Diese **Kalotte** muss man am Motiv (oder an einer ähnlich beleuchteten Stelle) in **Richtung zur Kamera halten**. Nun wird das Licht gemessen, das auf das Motiv fällt (und dann in Richtung Kamera reflektiert wird).

Da man nur das auftreffende Licht misst, spielt das Reflexionsverhalten (die Farbe und die Helligkeit) des Motivs keine Rolle bei der Belichtungsmessung. Dunkle Motivdetails reflektieren wenig Licht, sie werden also im Bild dunkler wiedergegeben. Helle Motivdetails dagegen reflektieren viel Licht und werden deshalb auch im Foto hell.

### 3.3 BELICHTUNG KONTROLLIEREN

Mit dem **Zebra** kann die Belichtung kontrolliert werden. Es gibt zwei verbreitete Arten:

- 100 IRE Zebra: Muster über 100 IRE
- 75 Zebra: Muster 70 – 90 IRE für Hauttöne. Kaukasisch ca. 80 IRE

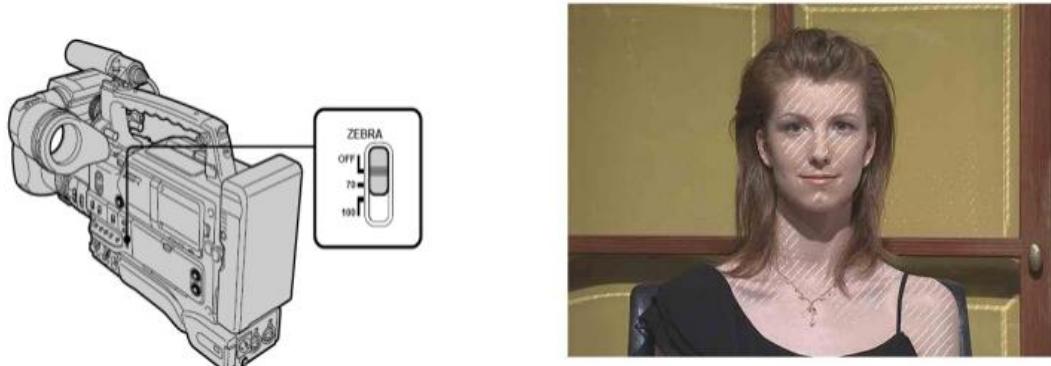


Abbildung 118: 75 IRE Zebra

#### 3.3.1 DIE AUTOMATIKEN

##### Die Programmautomatik

Es gibt viele verschiedene Arten der Programmautomatik (die Motivautomatiken fallen unter diese Gruppe). Doch allen gemeinsam ist, dass die Kamera sowohl über die Belichtungszeit als auch über die Blende entscheidet. Dadurch sind dem Fotografen zwei seiner wichtigsten Gestaltungsmittel aus der Hand genommen. Manche Vollautomatiken erlauben ein sogenanntes Shiften der Werte, dh., dass der Fotograf einen Wert (zB. die von der Kamera vorgegebene Blende) ändert, und die Kamera korrigiert dann den anderen (in diesem Fall die Belichtungszeit).

## Die Zeitaufomatik

**Vorwahl der Blende.** Ihr Einsatzgebiet sind alle die Fälle, bei denen es auf eine exakte Bestimmung der Blende ankommt. Die Landschaftsfotografie fällt ebenso darunter wie die Architektur-, die Sach- und die Porträtfotografie. Auch für das Anfertigen von Reproduktionen lässt sie sich gut einsetzen.

Auf keinen Fall darf man allerdings vergessen, die Länge der automatisch gebildeten Zeit zu kontrollieren, weil es sonst zu (evtl. unerwünschten) Bewegungsunschärfen und Verwacklern kommen kann.

## Die Blendenaufamatik

Nach **Vorwahl der Belichtungszeit** bildet die Kamera die der Helligkeit entsprechende Blende. Diese Automatik ist also dann richtig, wenn es um die Darstellung von Bewegung geht, denn diese wird von der Belichtungszeit beeinflusst. Somit ist sie optimal für Sportfotografie, Schnappschüsse und journalistische Bilder.

## 4 DAS SWAGVF-PRINZIP UND PRAXISTIPPS

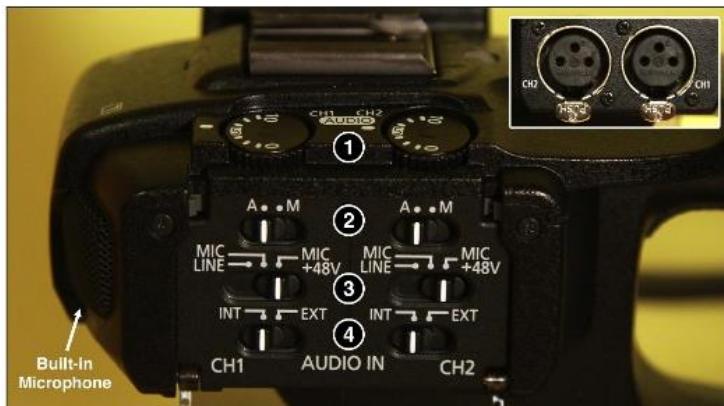
### 4.1 DAS SWAGVF-PRINZIPI

Um sich die **wichtigsten Kameraeinstellungen** für Foto und Video zu merken kann man folgende Stütze nutzen **SWAGVF**:

- S: Sound
- W: Weißabgleich
- A: Apertur
- G: Gain
- V: Verschlusszeit
- F: Fokus

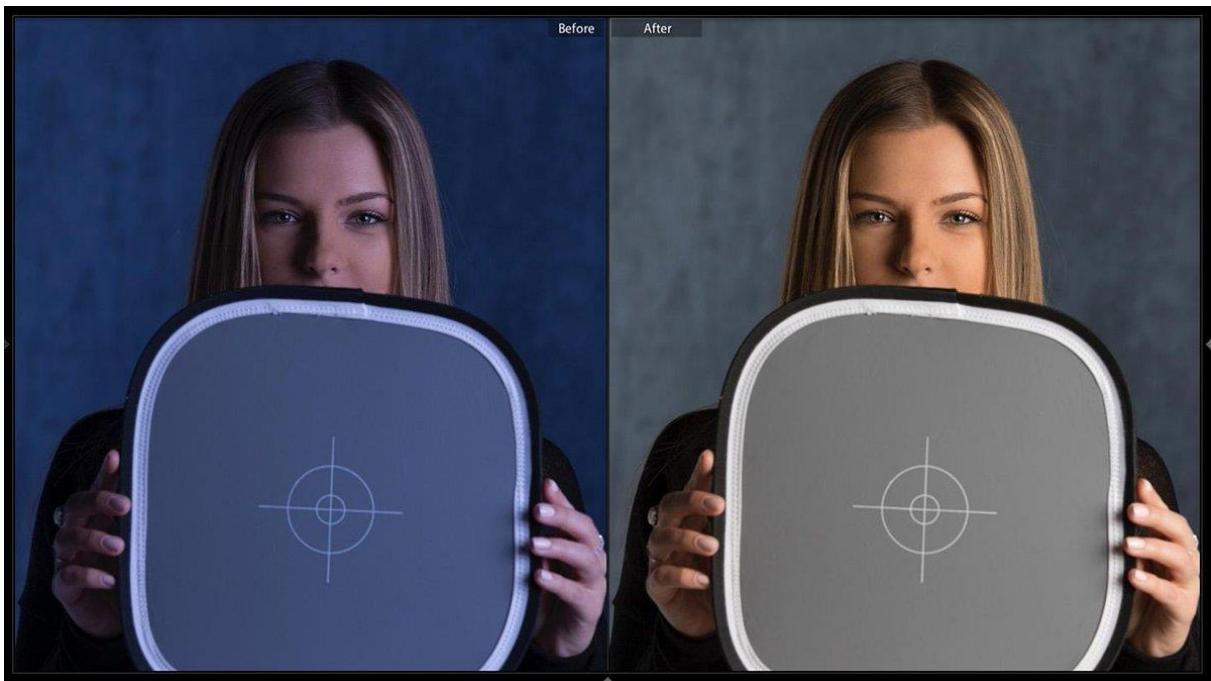
---

#### 4.1.1 SOUND




---

#### 4.1.2 WEIßABGLEICH





#### 4.1.3 APERTUR, GAIN/ISO UND VERSCHLUSSZEIT



#### 4.1.4 FOKUS

Entscheide dich für **manuelles Fokussieren** oder **Autofokus** evtl. mit Face-Detection. Nutze unbedingt Fokus-Peaking.

Bei **manuellem Fokussieren mit Videoobjektiven** beachte folgenden Vorgang: **Zoomen auf Augen und Scharfstellen**, dann **auszoomen** und **Bildkomposition** durchführen.



## 4.2 PRAXISTIPPS

### Tiere (Haustiere)

- Aus Augenhöhe der Tiere fotografieren.
- Bei Tieren mit schwarzem Fell den Blitz einsetzen, das gibt schöne Reflexe auf dem Fell. (Blitz von der Seite, sonst Gefahr roter Augen)
- Aquarium: Scheibe im Becken einziehen, um die Fische im vorderen Bereich zu halten, damit sie sich nicht zwischen den Pflanzen verstecken können. Licht mit Blitz (TTL-Messung oder per Histogramm einregeln) von oben.
- Kühe: Nah ran, Weitwinkel ...

### Kinder

- Aus Augenhöhe fotografieren.
- Typische Aktionen und Situationen suchen.
- Das Fotografieren regelmäßig in die Spiele integrieren und für die Kinder zu einer Selbstverständlichkeit machen.

### Feuerwerk

- Weitwinkel (leichtes Tele kann aber auch sinnvoll sein)
- Stativ
- Fernauslöser
- Niedrigste ISO/Gain
- Blende 11

- Kamera auf „B“ stellen (Langzeitbelichtung) und wenn das Feuerwerk im Gange ist, mittels Draht- oder Fernauslöser den Verschluss aufmachen und solange offen lassen bis genug Feuerwerk aufs Bild gekommen ist (2 bis 4 Sekunden).
- Evtl. spiegelnde Flächen, Wasser, Glasfassade, feuchter Boden, etc. mit ins Bild nehmen

## Landschaft

- Bildecken beobachten.
- Vorder- Mittel- und Hintergrund einbeziehen.
- Größendynamik durch Wahl des Aufnahmestandpunktes und der Brennweite steuern.
- durch Reduktion auf das Typische den Charakter herausarbeiten
- Negativformen (Himmel etc.) beachten

## Hochzeit, Feier

- Örtlichkeiten vorher begehen, um die Lichtsituationen kennen zu lernen.
- Pfarrer (Standesbeamten) vorher nach Fotogenehmigung (Blitz erlaubt? Wann darf fotografiert werden?) fragen.
- Achte darauf, dass man in der Kirche der einzige Fotograf ist, ein evtl. Blitzlichtgewitter von den diversen Tanten und Onkels kann die gesamte Situation zerstören.
- Ablauf der Feier vorher abklären (auch solche Sachen wie Entführung der Braut oder kleine Show- oder Spieleinlagen der Verwandtschaft).
- Überlege vorher, welche Situationen Pflichtmotive sind. (Brautpaar mit Trauzeugen, Eltern, Gruppenaufnahme der Gäste, Ringwechsel, Brauchtum bei der Feier). Absprache nötig.
- In der Kirche und auch in den Räumen der Feier kann man oft nicht indirekt blitzen (Decke zu bunt/zu hoch). Übe deshalb das Aufhellblitzen vorher. Externes Blitzgerät.
- Übe das manuelle Fokussieren bei wenig Licht.
- Die Belichtungsmessung bei Fotos der Braut wird durch das weiße Brautkleid oft irritiert. Messe auf einen anderen Bildbereich (Graukarte). Oder mache eine Lichtmessung mit einem externen Belichtungsmesser.
- Ausreichend Karten, und Akkus für Blitz und Kamera einplanen.
- Wenn man üblicherweise nur oder überwiegend statische Motive (Landschaften etc.) fotografiert, sollte man vorher das Fotografieren von Menschen unbedingt üben.

## Portrait

- Leichtes Tele.
- Person evtl. schminken, Haare richten.
- Dreipunktbeleuchtung, bzw. 1 Studioblitz mit Reflektor (Gold) und evtl. Hintergrundlicht. Generell sollte das Hauptlicht von leicht oberhalb und leicht seitlich kommen.
- Diffuses Licht verwenden und auf Schatten achten.
- Auf Hintergrund achten. Nicht zu viele Details, eher flächig bzw. in Unschärfe durch offene Blende.
- Dreiviertelansicht und Frontalansicht (eher bei Standardporträts). Bei Charakterporträts kann Seitenlicht verwendet werden.
- Gesicht muss perfekt belichtet sein. Mit Spotmessung arbeiten.
- Immer auf die Augen scharf stellen.
- Porträts außen nicht in der Mittagszeit machen. Warten auf schräger einfallendes Licht.

## Produktfotografie

- Ausleuchtung als wichtiger Faktor.
- Bei Serien sind Standardansichten/Perspektiven zu wählen. Auch auf gleich blende Farbtemperatur/Lichtfarbe ist zu achten.
- Hohe Blendenzahlen für gute Schärfe (meist gewünscht).
- Lichtzelt, Produkttisch mit Beleuchtung von unten.
- Spiegelungen kontrollieren, das Produkt ist zu inszenieren ua. mit Hilfe von Anordnung, Gegenüberstellung, Farbchoreografie, Glanz durch Sprays.
- Ein kontrollierter Aufbau und perfekte Ausleuchtung sind as A und O.

---

#### 4.2.1 BILDBEISPIELE PORTRÄT



Abbildung 119: Typisches Standardporträt



Abbildung 120: Standardporträt, Schatten dienen der Modellierung des Gesichts



Abbildung 121: Serie



Abbildung 122: Gruppenporträt (Joey Lawrence)



Abbildung 123: Inszenierung (Joey Lawrence)



Abbildung 124: Charakterporträt: Reflektor bei Außenaufnahme. 35 mm f/1,4 - 1/3000 s



Abbildung 125: Porträt mit Kontext. 35 mm f/2, 1/6400 s, ISO 400.



Abbildung 126: Low-Key



**Abbildung 127:** Alles Stereotypen in einem Bild. Street-Photography mit Kamera aus der Hüfte. Einfangen von alltäglichen Situationen. 35 mm, f/8, 1/140 s, ISO 400.



**Abbildung 128:** Street-Photography mit Kamera aus der Hüfte. 35 mm, f/8, 1/140 s.



Abbildung 129: Meisterhafte Themen-Porträts von Frank Horvat

---

#### 4.2.2 BILDBEISPIELE PRODUKTFOTOGRAFIE



Abbildung 130: Food-Fotografie



Abbildung 131: Beleuchtung ua. von hinten



Abbildung 132: Farbchoreografie



Abbildung 133: Achte bei Uhren auf die Uhrzeit ;)







# Bildindex

Abbildung 1: Schnitt durch eine digitale Spiegelreflex-Kamera .....	5
Abbildung 2: Polarisierung des Lichts .....	7
Abbildung 3: Beugungseffekt .....	7
Abbildung 4: Camera Obscura .....	8
Abbildung 5: Erste bekannte Fotografie von Nièpce .....	9
Abbildung 6: Daguerres Name am Eiffelturm .....	9
Abbildung 7: Begehbarer Camera Obscura .....	10
Abbildung 8: Lochkamera Harman TiTAN.....	12
Abbildung 9: Beispiel Lochkamera (Harman TiTAN) .....	12
Abbildung 10: Beispiel Lochkamera (Harman TiTAN).....	13
Abbildung 11: Beispiel Lochkamera, Farbaufnahme (Harman TiTAN) .....	13
Abbildung 12: Zerstreuungskreis .....	14
Abbildung 13: Schärfentiefe .....	15
Abbildung 14: Zerstreuungskreise .....	15
Abbildung 15: Objektiv der Lichtstärke 1,8 bei Blende 4 .....	16
Abbildung 16: Verhältnis Brennweite, Arbeitsdistanz (WD) und Bildwinkel (Sichtwinkel) .....	17
Abbildung 17: Hyperfokale Distanz .....	18
Abbildung 18: Unterschiedliche Blendenzahl bei gleicher Brennweite und Abstand.....	19
Abbildung 19: Abbildungsmaßstab .....	21
Abbildung 20: Diagonaler Bildwinkel eines Objektivs .....	22
Abbildung 21: Bildwinkel und Sichtfeld (FOV). Bei 50 mm APS-C ergibt sich trotz gleicher Brennweite eine „gecropte“ Abbildung.....	22
Abbildung 22: Typische Aufnahmeformate von DSLR-Kameras .....	23
Abbildung 23: Einäugige DSLR.....	28
Abbildung 24: DSLM Fuji X Pro-2, Hybridsucher .....	29
Abbildung 25: Sucherkamera (OVF) mit Mattscheibe und optischem Sucher.....	29
Abbildung 26: Leica M Messsucherkamera (OVF), monochrom.....	30
Abbildung 27: Fuji X-E2 Systemkamera mit elektronischem Sucher (EVF) .....	30
Abbildung 28: Hybridsucher OFV und EVF im Vergleich bei der X-PRO 1. Der Rahmen beim OVF hilft beim Ausschnitt/Parallaxenfehler.....	31
Abbildung 29: Messsucher (Schnitbildindikator), manuelle Fokussierung .....	32
Abbildung 30: Fokussierung mit Mehrzonen Autofokus .....	32
Abbildung 31: Mittelformat GFX 50s.....	33
Abbildung 32: Fachkamera mit digitalem Rückteil.....	34
Abbildung 33: Fachkamera Sinar P3 .....	35
Abbildung 34: Fachkamera Verschiebung .....	36
Abbildung 35: Fachkamera Seitwärtsverschiebung .....	36
Abbildung 36: Schwenkung um Horizontalachse .....	37
Abbildung 37: Schwenkung um Vertikalachse .....	37
Abbildung 38: Bildbeispiel für Scheimpflug-Prinzip .....	38
Abbildung 39: Shift-Effekt.....	39
Abbildung 40: Tilt-Effekt.....	39
Abbildung 41: Shift-Effekt in der Bildbearbeitung.....	40
Abbildung 42: Shift-Objektiv für Kleinformatkameras .....	41
Abbildung 43: Tilt- und Shift-Objektiv für Kleinformatkameras.....	41

Abbildung 44: Tilt-Shift-Effekt (Frontstandarte nach unten geshiftet um die Perspektive bzw. stürzende Linien zu korrigieren, getiltet zur Verlagerung der Schärfeebele nach der Scheimpflug-Regel) .....	42
Abbildung 45: Fachkamera auf optischer Bank.....	42
Abbildung 46: digitales Hasselblad V-System .....	43
Abbildung 47: digitales Hasselblad H-System.....	43
Abbildung 48: digitale Rückteile zur Verwendung an zB Fachkameras.....	44
Abbildung 49: Phase One 645 DF mit Option zum Wechsel zwischen Schlitz- und Zentralverschluss. Objektiv und Rückteil sind flexibel austauschbar, was eine große Kompatibilität zu vielen Objektiv- und Rückteilherstellern ermöglicht (Open-Platform-Kamera). ....	44
Abbildung 50: Aufbau Kamera-Sensor (Canon 1D) .....	45
Abbildung 51: Aufbau Fuji X-Trans CMOS-Sensor .....	46
Abbildung 52: Verschiedene Farbfilter-Techniken .....	46
Abbildung 53: Farbinterpolation .....	47
Abbildung 54: 3-Chip-Technik.....	47
Abbildung 55: Schema eines CCD .....	48
Abbildung 56: Frame Transfer und Interline CCD .....	49
Abbildung 57: CMOS-Sensor Schema .....	50
Abbildung 58: Canon CMOS-Sensor in 10 x Vergrößerung (unten). Deutlich sichtbar ist das Bayer-CFA. ....	50
Abbildung 59: Funktionsprinzip CCD und CMOS.....	51
Abbildung 60: Farbartefakte .....	52
Abbildung 61: Blooming .....	52
Abbildung 62: Dunkelstrom .....	53
Abbildung 63: Moiré links. Rechts entfernt durch Anti-Aliasing-Filter.....	53
Abbildung 64: Dynamikumfang versus ISO .....	54
Abbildung 65: Bild mit kontrollierter Schärfeebele und weichem Bokeh .....	56
Abbildung 66: Schärfe abhängig von der Blendenzahl .....	57
Abbildung 67: Fokus-Peaking .....	58
Abbildung 68: Phasendetektion.....	59
Abbildung 69: AF-Sensor Canon .....	60
Abbildung 70: Bildstabilisierung.....	61
Abbildung 71: Gutes Bokeh. Achte auf die kreisrunde Blende.....	63
Abbildung 72: Schlechtes Bokeh .....	63
Abbildung 73: Hoher Kontrastumfang, der vom Chip nicht bewältigt werden konnte. Sonne scheint zum Fenster rein und Personen liegen im Schatten. Bei dieser Situation hilft nur der Standortwechsel oder bei Videokameras die Knee-Funktion. ....	64
Abbildung 74: Kleine Abbildungstiefe durch niedrige Blendenzahl, fatal bei Gruppenaufnahmen. Abblenden und Blitz, bzw. höhere ISO wären Abhilfe.....	64
Abbildung 75: Verwackelungsunschärfe (provoziert) .....	65
Abbildung 76: Die Form der Zerstreuungskreise deutet auf Blendeneinstellung hin.....	65
Abbildung 77: Streulicht durch Sonne im Bild .....	66
Abbildung 78: Schärfelage durch kippen der Kamera verlagert.....	66
Abbildung 79: „Cremiges“ Bokeh durch Abwesenheit von Glanzlichtern (Blende f/1,4 35 mm). Die Schärfentiefe beträgt ca. 2 cm.....	67
Abbildung 80: Sonne lacht - Blende 8 - mit Polfilter, 18 mm .....	67
Abbildung 81: Einfangen von Bewegung durch Verschlusszeit (1/40 s).....	68
Abbildung 82: Elektronischer Verschluss bei Offenblende f/1,4 35 mm, 1/12000 s.....	68
Abbildung 83: Objektivkonstruktion mit mehreren Linsen .....	69
Abbildung 84: Blütenstand mit Makro-Objektiv .....	71
Abbildung 85: Fisch-Eye-Objektiv.....	72

Abbildung 86: Verzeichnung: Normal, Tonnenform, Kissenform .....	73
Abbildung 87: Blendenreflexe/Streulicht .....	73
Abbildung 88: Bildfeldwölbung .....	74
Abbildung 89: Chromatische Abberation .....	75
Abbildung 90: Sphärische Abberation .....	75
Abbildung 91: Astigmatismus im Foto mit Richtungspfeil .....	76
Abbildung 92: Lichtdurchgang durch Glasscheibe .....	77
Abbildung 93: Polfilter in Durchlassrichtung .....	78
Abbildung 94: Polfilter in Sperrrichtung .....	78
Abbildung 95: Polfilter-Einsatz metallische Oberflächen und Glas .....	79
Abbildung 96: Fotografische Filter .....	79
Abbildung 97: Polfilter-Einsatz Landschaft .....	80
Abbildung 98: Beispiel ND-Filter .....	81
Abbildung 99: Typische dynamische Bildkomposition durch Wahl eines Weitwinkel-Objektivs (18 mm APS-C) .....	86
Abbildung 100: Aufnahme mit Tele-Objektiv (230 mm APS-C). Abflachung (Telefotokompression) der Tiefe .....	86
Abbildung 101: Teleobjektiv für Close-Up genutzt, besser wäre ein Makro-Objektiv .....	87
Abbildung 102: Vogel mit AF-C und Dreck am Sensor .....	87
Abbildung 103: Weitwinkel 18 mm f/4. Wichtig für durchgehende Schärfe ist die Lage des Fokuspunkts .....	88
Abbildung 104: 35 mm f/2,8 ACROS-Film-Scan .....	88
Abbildung 105: Vergleich zweier Aufnahmen mit unterschiedlicher Blendenöffnung bei gleicher Entfernung. Beachte, dass die Schärfentiefe im Vordergrund die schwieriger zu kontrollierende ist .....	89
Abbildung 106: Einsatz eines Polfilters. Nicht nur für Wasser und Himmel sinnvoll .....	90
Abbildung 107: 35 mm f/1,8. Nicht auf Gesicht fokussieren, sonst ist der Vordergrund unscharf .....	90
Abbildung 108: Abdunkelung des Himmels mit Polfilter .....	91
Abbildung 109: Bei kurzen Abständen und offener Blende kann man die Schärfe durch Vor- und Zurückbewegen ändern, nicht durch Fokusring. Das geht schneller und ist stabiler gegen Verwackelung .....	91
Abbildung 110: Dynamische Bildgestaltung durch Weitwinkel-Objektiv (Tonnen-Verzeichnung im Bild oben) .....	92
Abbildung 111: Gestaltungsmittel Tiefenunschärfe .....	93
Abbildung 112: Kurze Verschlusszeit um den Hintergrund abzudunkeln. 60 mm f/2,5 1/3000 s .....	93
Abbildung 113: Nur mit Kontrolle der Entfernung, Zeit, Blende und Brennweite sind solche Bilder ohne Makro-Objektiv möglich (in diesem Fall 300 mm 1:4 – 5,6) .....	94
Abbildung 114: Kurze Verschlusszeiten bei schnellen Bewegungen und offene Blende für Motiv-Isolierung .....	94
Abbildung 115: High Key Bild mit Konzentration des Blicks auf die Bildmitte .....	95
Abbildung 116: 60 mm Makro f/2,4 APS-C ist aufgrund der geringen Verzeichnung und Bildfeldwölbung gut für Portrait und Produktfotografie geeignet .....	95
Abbildung 117: Tabelle Empfindlichkeit .....	98
Abbildung 118: 75 IRE Zebra .....	100
Abbildung 119: Typisches Standardportrait .....	107
Abbildung 120: Standardportrait, Schatten dienen der Modellierung des Gesichts .....	107
Abbildung 121: Serie .....	108
Abbildung 122: Gruppenporträt (Joey Lawrence) .....	108
Abbildung 123: Inszenierung (Joey Lawrence) .....	109
Abbildung 124: Charakterportrait: Reflektor bei Außenaufnahme. 35 mm f/1,4 - 1/3000 s .....	109
Abbildung 125: Porträt mit Kontext. 35 mm f/2, 1/6400 s, ISO 400 .....	110
Abbildung 126: Low-Key .....	110
Abbildung 127: Alles Stereotypen in einem Bild. Street-Photography mit Kamera aus der Hüfte. Einfangen von alltäglichen Situationen. 35 mm, f/8, 1/140 s, ISO 400 .....	111
Abbildung 128: Street-Photography mit Kamera aus der Hüfte. 35 mm, f/8, 1/140 s .....	111
Abbildung 129: Meisterhafte Themen-Porträts von Frank Horvat .....	112

Abbildung 130: Food-Fotografie .....	113
Abbildung 131: Beleuchtung ua. von hinten.....	114
Abbildung 132: Farbchoreografie .....	115
Abbildung 133: Achte bei Uhren auf die Uhrzeit ;)	115

## Quellennachweis

*Der große humboldt Fotolehrgang, Tom Striewisch*

*Fotografie, Christoph Caspari*

*Jürgen Pirringer (Abbildungen teilw., Texte, Foto-Archiv), 2015 - 2019*

*Wikipedia Stand Mai 2018*

*eso.org, Sebastian Deiries,*

*H. Rauchberger, Skript, 1998*

*Dr. Moradei, ITU*

*Fotografie und Fototechnik, Time Life*