

Bildaufzeichnungstechnologien

30 x 45 Minuten, 50 % Theorie, 50% Selbststudium + Modul Projektarbeit

Modul Beschreibung

Grundlagen (Bildbeschreibungsarten, Datenformate, Farbmanagement, Arbeitsabläufe, Kommunikationsgrundlagen); Arten der Bildaufzeichnung (aktuelle Verfahrensweisen, zweidimensionale Techniken, zweidimensionale Texturtechniken, dreidimensionale Aufzeichnung); Vermittlung eigenständigen Entscheidens der Technologie für den jeweiligen Einsatzzweck.

Mona Ulrich

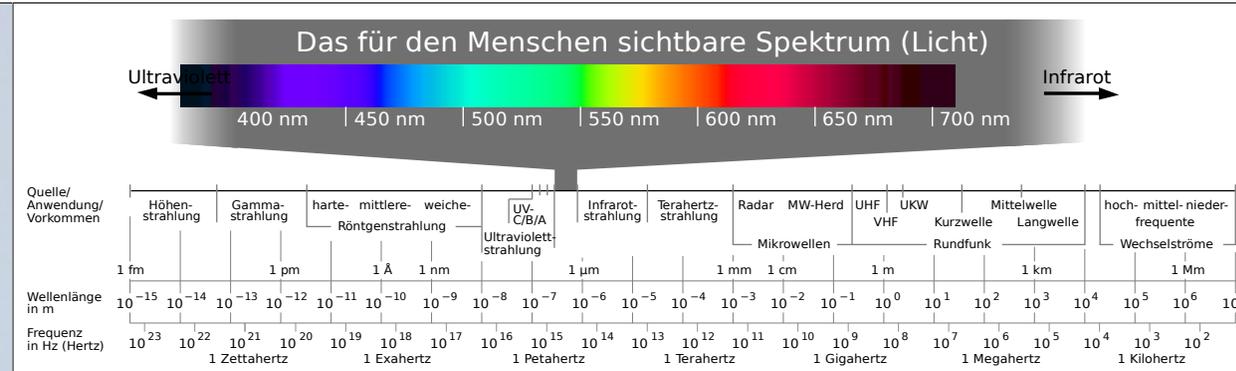
Meilenstein 3

Vom Photon zur Datei

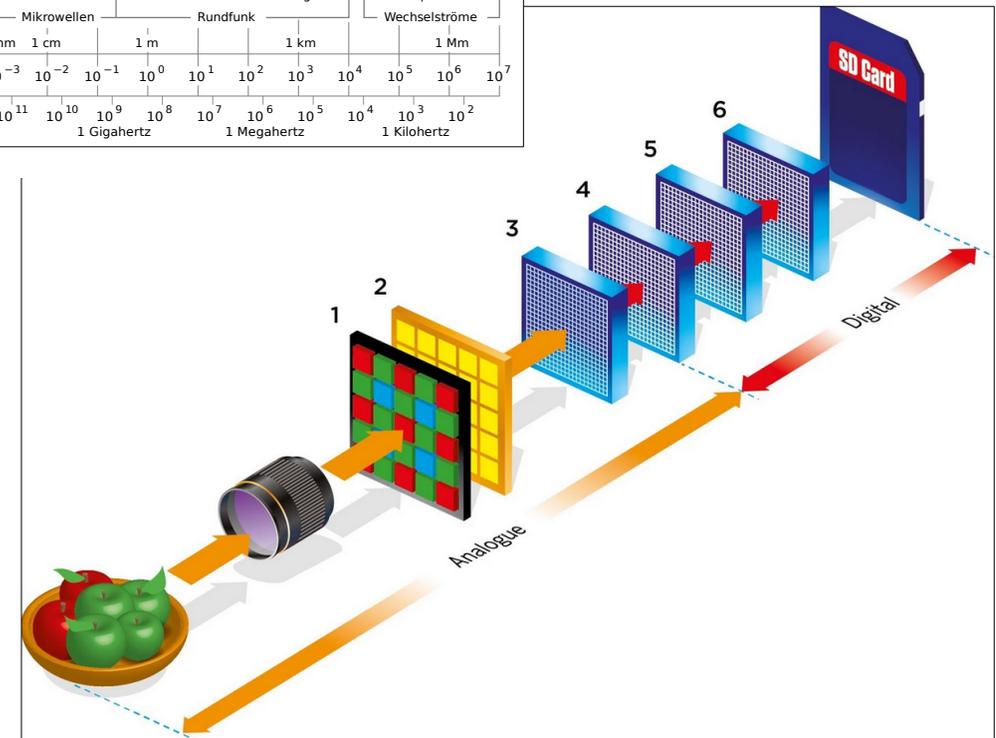
Aus der Einführung: Wie werden die Objekte aufgenommen?



[https://ores.klassik-stiftung.de/ords/ksw_internet/r/300/2?p2_ident=513558&p2_dateiname=513558_\(3723336921\)&p2_gattung=Plastik](https://ores.klassik-stiftung.de/ords/ksw_internet/r/300/2?p2_ident=513558&p2_dateiname=513558_(3723336921)&p2_gattung=Plastik)



https://de.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetisches_Spektrum



<https://www.canon.de/pro/infobank/image-sensors-explained/>

1 Einleitung

Leitfrage 1: Was ist ein archivkonformes digitales Abbild eines Objekts?

Characteristic	Noise
Description	Noise is unwanted variations in the response of an imaging system. It is introduced into the system by the camera originating from the sensor, the or the image processing. Also referred to as visual noise.
Related standards	ISO 15739 (cameras) ISO 21550 (scanners)
Measurement	Noise is measured in uniform areas of an image and expressed as standard deviation in these areas. ISO 15739 describes the method to determinate the RMS (Square) noise. To describe the noise the RMS of the L^* values are determined on the patches of scales. $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (L^* - \bar{L}^*)^2}$
Reference target	The grey scale patches of the target defined in Annex A are used to determine varying signal levels.
Aim	The maximum noise level should be low enough so that noise is not visible in the
Notes	Signal to Noise Ratio (SNR), according to ISO 15739 and ISO 21550, is not measured in this document.

ISO 19264-1:2021, S.10.

Characteristic	ISO scanner dynamic range
Description	Dynamic range in this case describes the ratio of the brightest patch in the original that is not clipped and the darkest patch that is above the noise (SNR of 1)
Related standards	ISO 21550, ISO 15739
Measurement	$d = d_{\max} - d_{\min}$ The dynamic range is measured from a grey scale where d_{\min} is the density of the brightest patch where the output signal of the OECF appears to be unclipped and d_{\max} is the density of the patch with a signal to noise ratio of 1 (see ISO 21550 for details).
Reference target	Grey scale (spectrally neutral) in a test chart as defined in Annex A that is ideally equally spaced in L^* values with a contrast exceeding that of the image capture device.
Aim	d shall be as large as possible but at least exceed the contrast range of typical objects that are digitized with the image capture device.
Notes	

ISO 19264-1:2021, S.10.

Characteristic	White balance
Description	Adjustment of electronic still picture colour channel gains or image processing so that radiation with relative spectral power distribution equal to that of the scene illumination source is rendered as visually neutral (see ISO 14524). This ensures that neutral greys in the original are visually neutral in the image.
Related standards	ISO 14524
Measurement	Calculated from tone reproduction/response curve (TRC) with values in $L^*a^*b^*$. The image needs to be converted from RGB to $L^*a^*b^*$ using the colour encoding description of the colour encoding the image is in (like sRGB, Adobe RGB, ...). White balance is measured using CIE ΔE 2000 (CIE 015:2018) but without lightness information (L^*) to check chroma and hue differences but not luminance ones $\Delta E_{ab,2000} = \sqrt{\left(\frac{DC'}{Kc Sc}\right)^2 + \left(\frac{DH'}{Kh Sh}\right)^2} + Rt \left(\frac{DC'}{Kc Sc}\right) \left(\frac{DH'}{Kh Sh}\right)$
Reference target	Grey scale patches in the target defined in Annex A .
Aim	The smaller the white balance the more accurate the reproduction. Tolerances to be defined in $\Delta E_{ab,2000}$.

ISO 19264-1:2021, S.10.

Leitfrage 2: Welche Bildfehler machen ein digitales Abbild nicht archivkonform?



Westphalen, Christian. Die große Fotoschule, 2016.



Westphalen, Christian. Die große Fotoschule, 2016.



Terpstra, Toby & Miller, Seth & Hashemian, Alireza. (2017). An Evaluation of Two Methodologies for Lens Distortion Removal when EXIF Data is Unavailable. 10.4271/2017-01-1422.



Vignettierung

Grund: Objektiv, Sensor

Testobjekt:



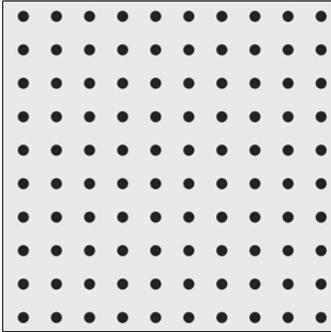
Westphalen, Christian. Die große Fotoschule, 2016.

Characteristic	Illumination non-uniformity
Description	The illuminance non-uniformity consists of two components: it depends on how evenly the scene to be captured is illuminated, and on the degree of shading introduced by the imaging system.
Related standards	ISO 17957 (shading measurement)
Measurement	Capture of a uniform white original and analyse for lightness non-uniformity according to ISO 17957 and determine the L^* value at at least 1 200 points equally spread over the field of view and report the ΔL^* between the max and the min L^* value.
Reference target	Uniform white paper or derived from checkerboard pattern in the target defined in Annex A on which only the patches with the same reflectance (e.g. white patches) are analysed.
Aim	The illuminance should be as uniform as possible.

Verzerrung

Grund: Objektiv (v.a. Zoomobjektiv und Weitwinkelobjektive)

Testobjekt:



10.4271/2017-01-1422.

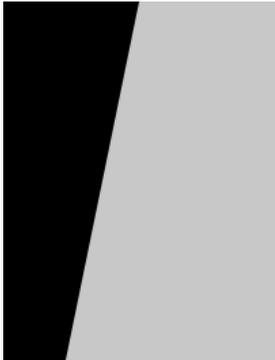
Characteristic	Distortion
Description	Displacement from the ideal shape of a subject (lying on a plane parallel to the image plane) in the recorded image. The distortion measured can originate from three different aspects: lens geometric distortion, scanner motion distortion, image processing distortion.
Related standards	ISO 17850
Measurement	For a regular grid of dots, crosses or line intersections the locations are evaluated on a sub pixel accuracy basis. These locations are compared to a regular grid generated from the central area of the image.
Reference target	The chart can be a dedicated dot or cross chart or the chart as specified in Annex A .
Aim	The distortion shall be as small as possible.
Notes	Distortion can usually be characterized and compensated. Evaluation may be done with activated compensation if system allows for such compensation.

ISO 19264-1:2021, S.15.

Chromatische Aberration

Grund: Objektiv

Testobjekt:



Westphalen, Christian. Die große Fotoschule, 2016. S. 120.

Characteristic	Colour misregistration
Description	Colour-to-colour spatial dislocation of otherwise spatially coincident colour features of an imaged object.
Related standards	ISO 12233 (resolution measurement) ISO 19084 (chromatic displacement)
Measurement	Determination of edge location on a per channel basis for all slanted edges over the imaging field.
Reference target	Slanted edges in the test chart defined in Annex A .
Aim	Geometric distance between the edge location in the different colour channels shall be as small as possible.
Notes	If a dislocation of the edges in different colour channels is uniform over the field a standard colour mis-registration is present. If it varies over the field e.g. from centre to corners a chromatic aberration is present. For a line scanner it may be visible in just one direction. For a line scanning system there may also be a dislocation that comes and goes due do inconsistent motion.

ISO 19264-1:2021, S.12.



Westphalen, Christian. Die große Fotoschule, 2016. S. 202.





Figure 1: Westphalen, Christian. Die große Fotoschule, 2016. S. 202.

Rauschen

Grund: Sensor

Testobjekt:



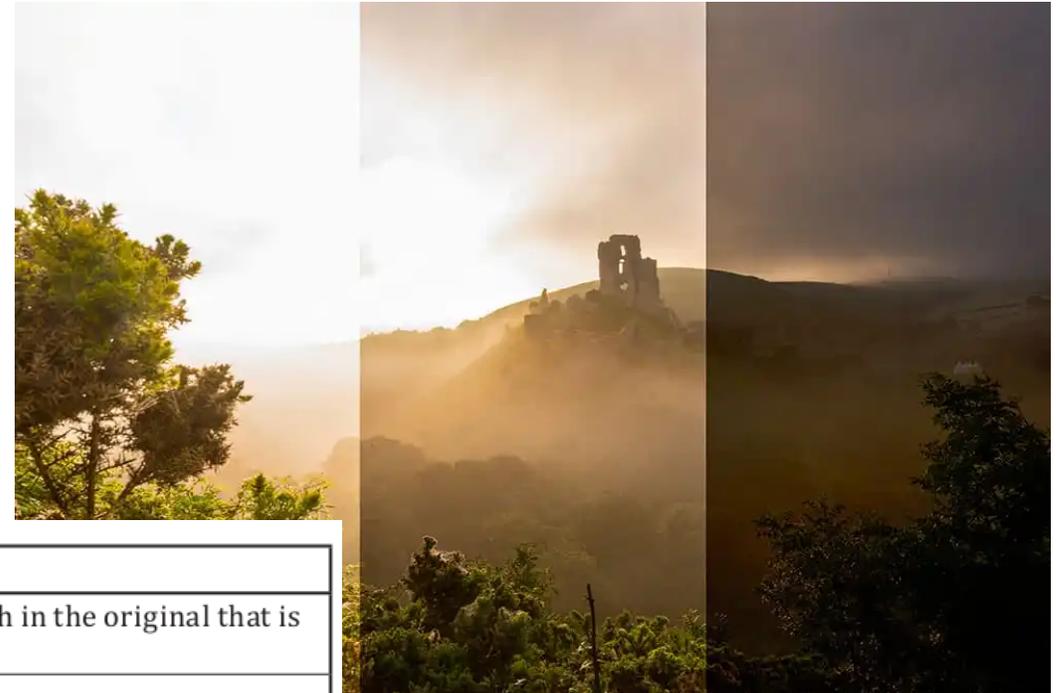
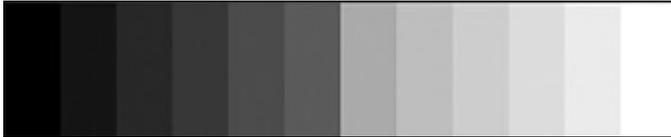
Characteristic	Noise
Description	Noise is unwanted variations in the response of an imaging system. It is introduced into the system by the camera originating from the sensor, the electronics, or the image processing. Also referred to as visual noise.
Related standards	ISO 15739 (cameras) ISO 21550 (scanners)
Measurement	Noise is measured in uniform areas of an image and expressed as standard deviation of the signal in these areas. ISO 15739 describes the method to determinate the RMS (Root Mean Square) noise. To describe the noise the RMS of the L^* values are determined on the patches of the gray scales. $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (L^* - \bar{L}^*)^2}$
Reference target	The grey scale patches of the target defined in Annex A are used to determine the noise at varying signal levels.
Aim	The maximum noise level should be low enough so that noise is not visible in the images.
Notes	Signal to Noise Ratio (SNR), according to ISO 15739 and ISO 21550, is not measured by this document.

ISO 19264-1:2021, S.10.

Geringer Dynamikumfang

Grund: Sensor

Testobjekt:

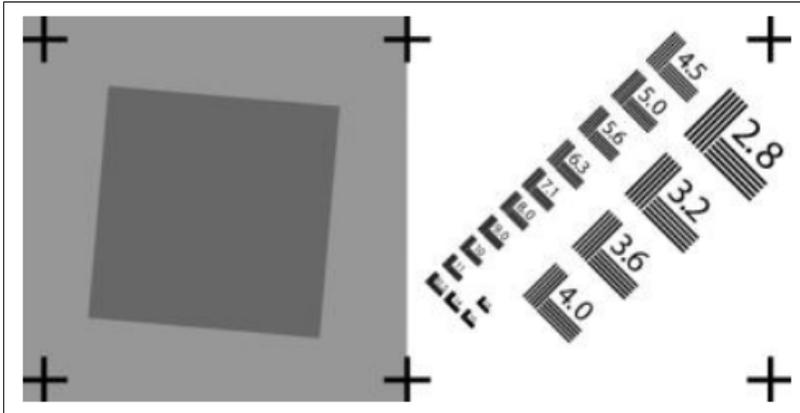


Characteristic	ISO scanner dynamic range
Description	Dynamic range in this case describes the ratio of the brightest patch in the original that is not clipped and the darkest patch that is above the noise (SNR of 1)
Related standards	ISO 21550, ISO 15739
Measurement	$d = d_{\max} - d_{\min}$ The dynamic range is measured from a grey scale where d_{\min} is the density of the brightest patch where the output signal of the OECF appears to be unclipped and d_{\max} is the density of the patch with a signal to noise ratio of 1 (see ISO 21550 for details).
Reference target	Grey scale (spectrally neutral) in a test chart as defined in Annex A that is ideally equally spaced in L^* values with a contrast exceeding that of the image capture device.
Aim	d shall be as large as possible but at least exceed the contrast range of typical objects that are digitized with the image capture device.
Notes	

Aliasing – Moiré-Muster

Grund: Sensor

Testobjekt:



Universal Test Target, Technical Specification, 2009.

Characteristic	Resolution (limiting resolution)
Description	Measure of the ability of a camera system, or a component of a camera system, to depict picture detail (see ISO 12233).
Related standards	ISO 12233, ISO 16067-1
Measurement	Analysis of the edge spread function in a slanted edge target. Use the sampling frequency at 10 % modulation threshold for limiting resolution.
Reference target	The slanted edge structures in the target defined in Annex A are designed for SFR (spatial frequency response) measurements.
Aim	Reaching a frequency as high as possible but not higher than Nyquist (to avoid aliasing) for the 10 % modulation threshold (limiting resolution). Depending on the sampling rate the maximum resolution that can be reached varies. The resolution should be constant over the field of imaging and the difference in different directions (horizontal and vertical respectively slow scan and fast scan direction) should be as small as possible.
Notes	Also known as true optical resolution. Note that resolution measurements based on slanted edge analysis requires uncompressed and unsharpened data. The ratio between the limiting resolution and the theoretical Nyquist limit is based on the obtained sampling rate.

ISO 19264-1:2021, S.13.





Westphalen, Christian. Die große Fotoschule, 2016. S. 216.

Farbstich

Grund: Einstellungen (Weißabgleich)

Testobjekt:



Characteristic	White balance
Description	Adjustment of electronic still picture colour channel gains or image processing so that radiation with relative spectral power distribution equal to that of the scene illumination source is rendered as visually neutral (see ISO 14524). This ensures that neutral greys in the original are visually neutral in the image.
Related standards	ISO 14524
Measurement	Calculated from tone reproduction/response curve (TRC) with values in $L^*a^*b^*$. The image needs to be converted from RGB to $L^*a^*b^*$ using the colour encoding description of the colour encoding the image is in (like sRGB, Adobe RGB, ...). White balance is measured using CIE ΔE 2000 (CIE 015:2018) but without lightness information (L^*) to check chroma and hue differences but not luminance ones
	$\Delta E_{ab} 2000 = \sqrt{\left(\frac{DC'}{Kc Sc}\right)^2 + \left(\frac{DH'}{Kh Sh}\right)^2} + Rt \left(\frac{DC'}{Kc Sc}\right) \left(\frac{DH'}{Kh Sh}\right)$
Reference target	Grey scale patches in the target defined in Annex A .
Aim	The smaller the white balance the more accurate the reproduction. Tolerances to be defined in $\Delta E_{ab} 2000$.



Universal Test Target, Technical Specification, 2009.

UTT Universal Test Target

„With the UTT the National Library of the Netherlands, in cooperation with Image Engineering Dietmar Wueller [IE](#) and Fachverband für Multimediale Informationsverarbeitung e.V. [FMI](#), has now designed a new test target in order to reduce the number of required targets from five to one.“

<https://www.universaltesttarget.com/about.php>

<https://www.universaltesttarget.com/download/UTT%20technical%20specs.pdf>

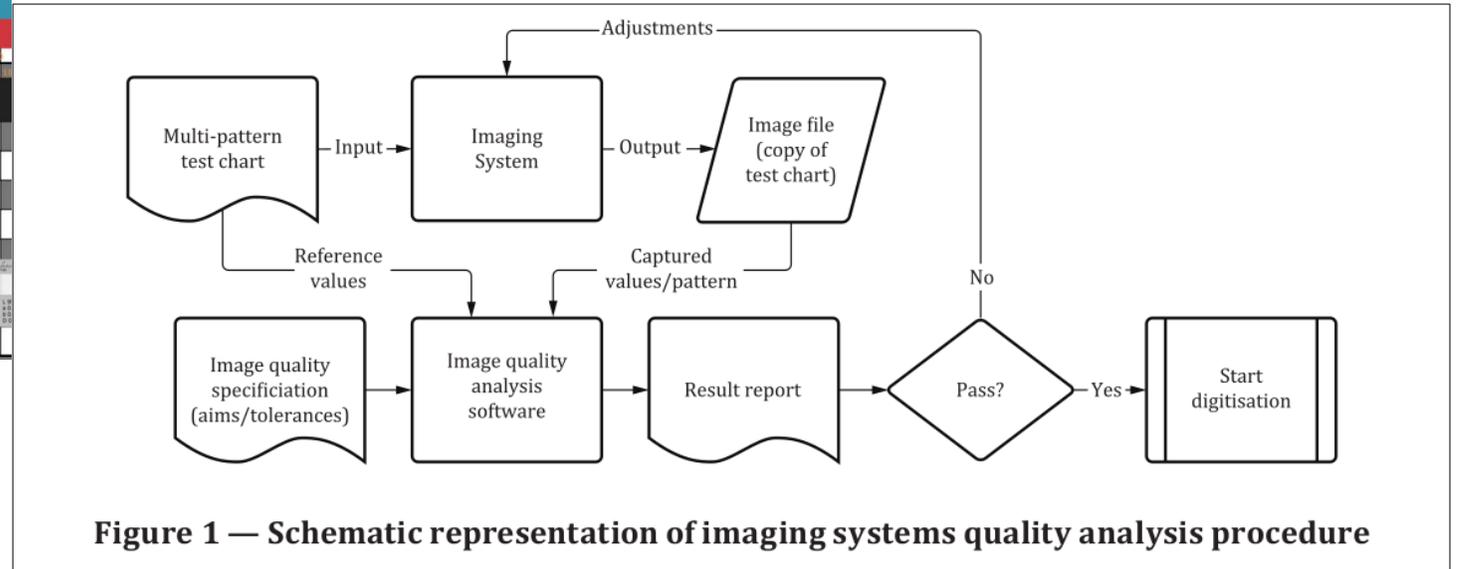
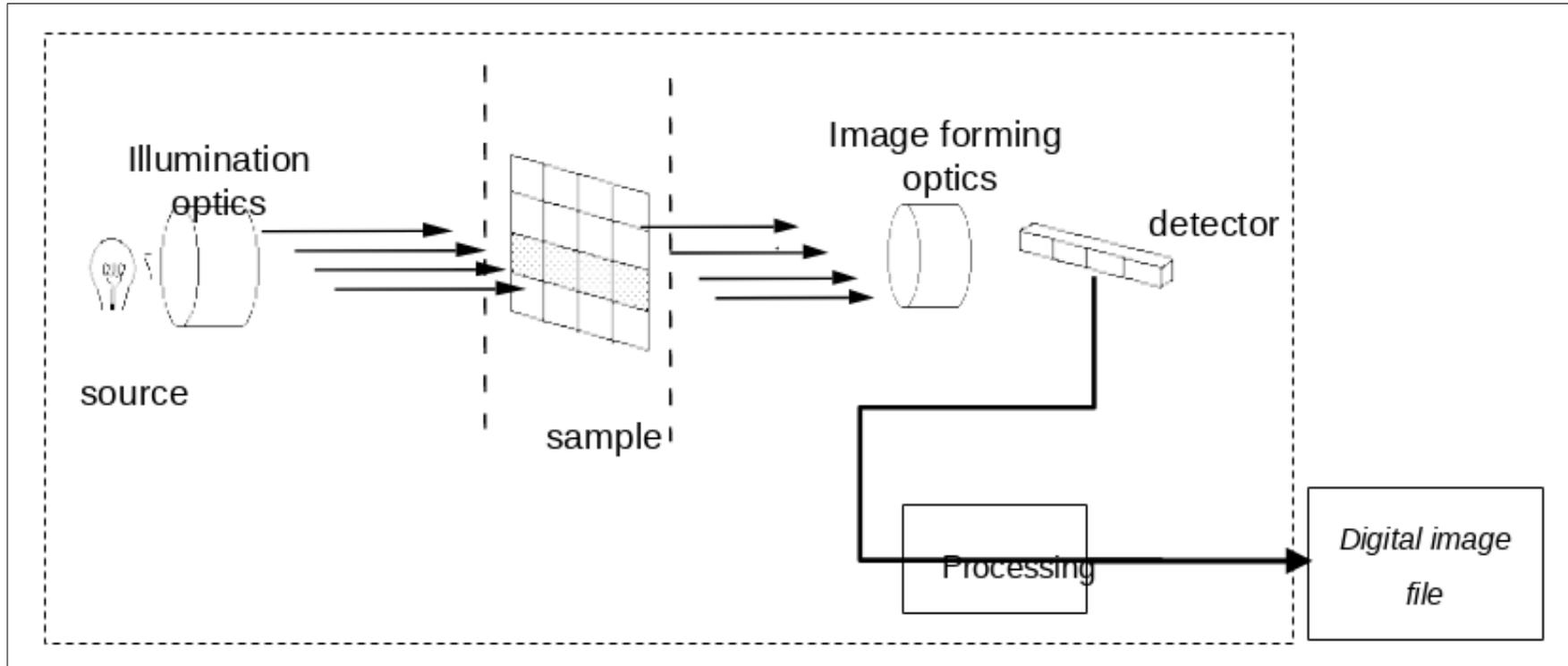


Figure 1 — Schematic representation of imaging systems quality analysis procedure

2 Digital Imaging Systems

„A collection of optical, software, or electronic functions that convert, encode, or otherwise act upon images or their optical or digital derivatives.“¹



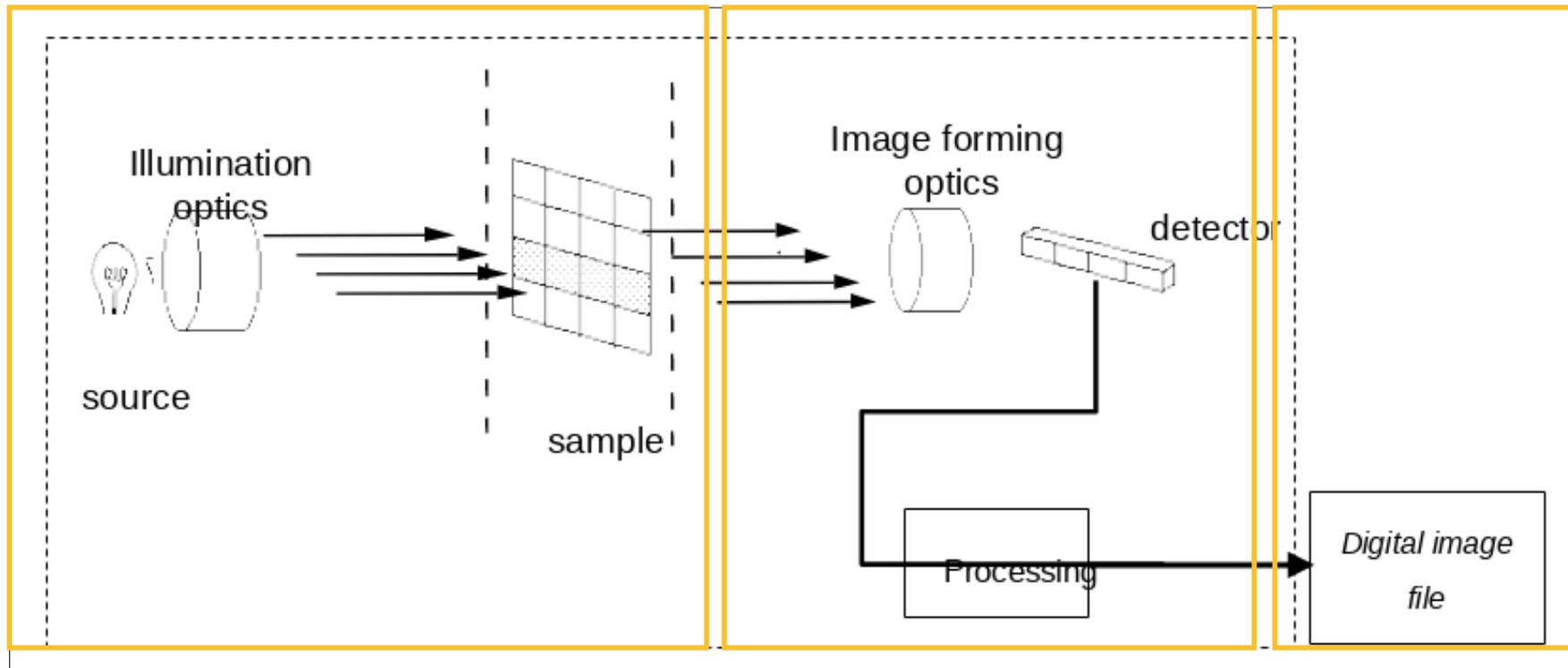
Williams, "Imaging Science for Archivists - 101.", S. 8.

1 Williams, "Imaging Science for Archivists – 101.", S. 8.

Input

Aufnahmegerät

Datei

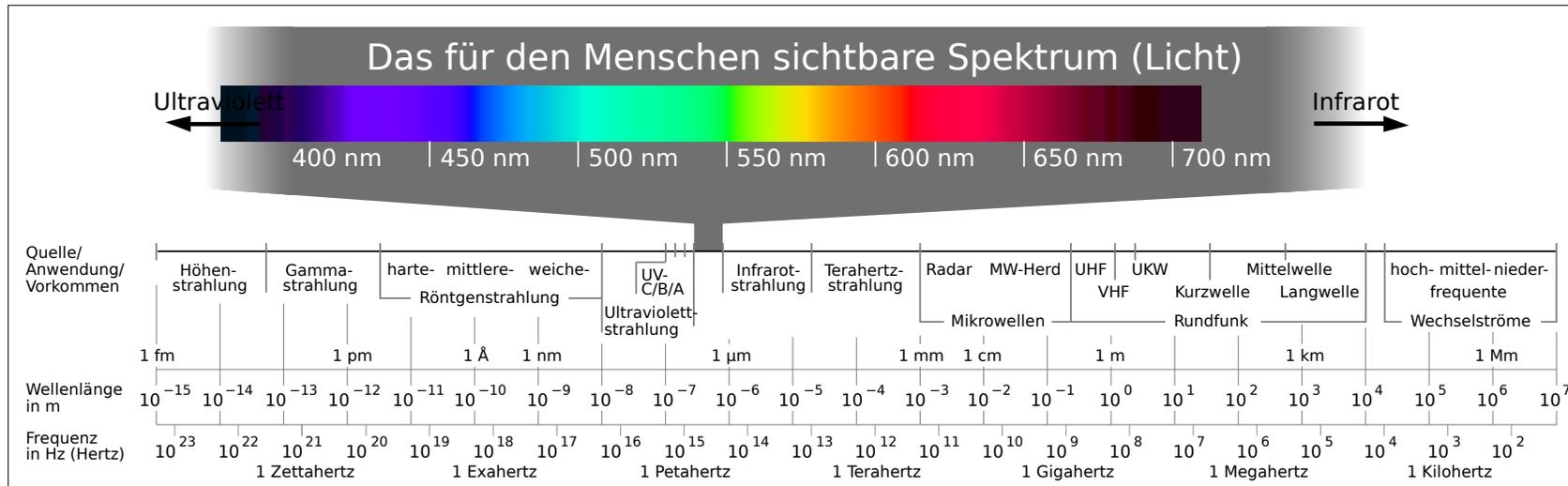


Williams, "Imaging Science for Archivists - 101.", S. 8.

3 Input

3.1 Umgebung / Licht

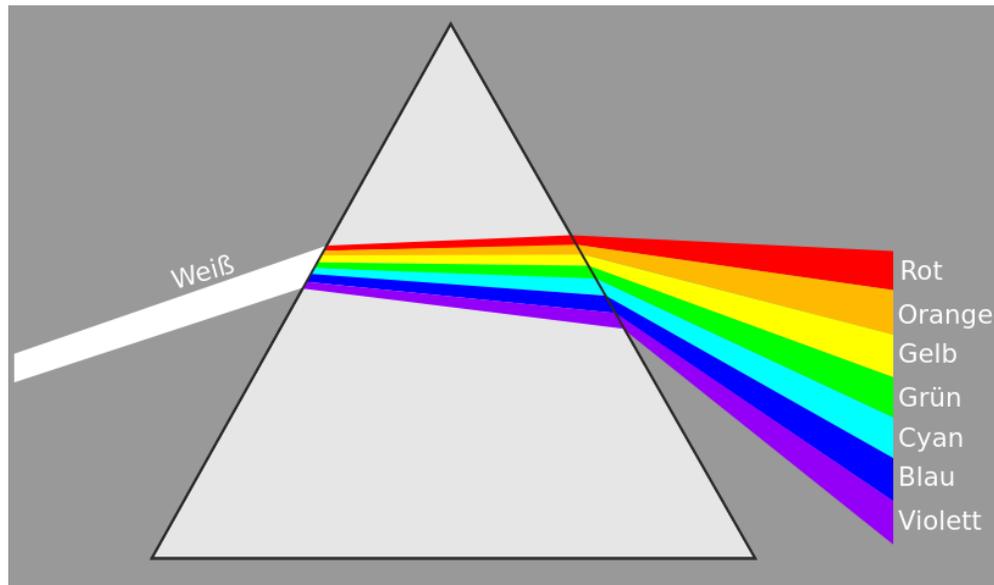
3.1.1 Sichtbares Licht



https://de.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetisches_Spektrum

Das sichtbare Licht der Sonne besteht aus elektromagnetischer Strahlung im Wellenlängenbereich von 380 – 780 nm. Wenn alle Wellenlängen dieses Spektrums enthalten sind erscheint das Licht weiß. Zerlegt man das Licht durch Brechung können die unterschiedlichen Bestandteile des optischen Spektrums des weiß erscheinenden Lichts gesehen werden.

Das optische Spektrum des sichtbaren Lichts ist kontinuierlich. Es wurden sechs Spektralfarben definiert: Violett, Blau, Cyan, Grün, Orange, Rot.



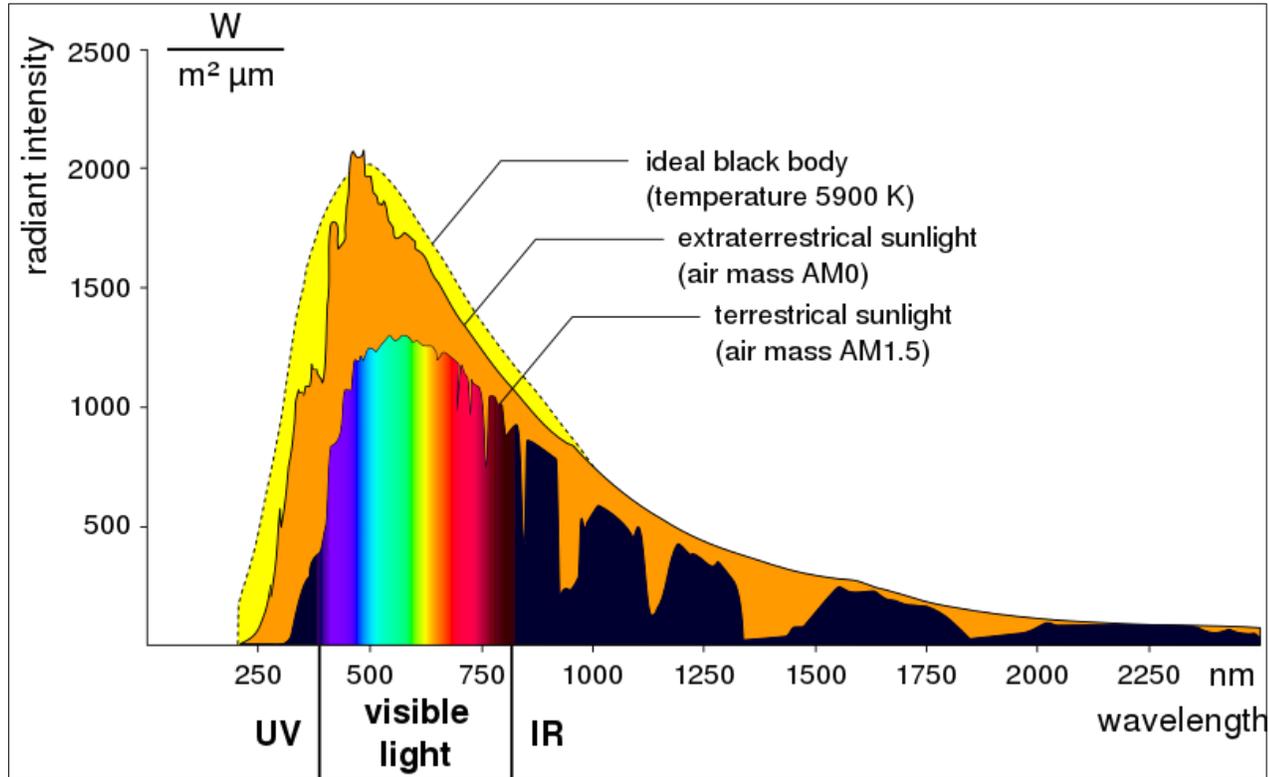
<https://www.leifiphysik.de/optik/farben/grundwissen/spektralfarben>

Farbname	Wellenlänge	Frequenz
violett	380-400 nm	749-789 THz
	400-425 nm	705-749 THz
blau	450-460 nm	652-666 THz
	470-475 nm	631-638 THz
cyan	475-485 nm	618-631 THz
	485-500 nm	600-618 THz
grün	500-520 nm	577-600 THz
	520-540 nm	555-577 THz
	540-550 nm	545-555 THz
	550-560 nm	535-545 THz
gelb	560-565 nm	531-535 THz
	565-570 nm	526-531 THz
	570-575 nm	521-526 THz
	575-580 nm	517-521 THz
orange	580-590 nm	508-517 THz
	590-595 nm	504-508 THz
	595-600 nm	500-504 THz
rot	600-605 nm	496-500 THz
	605-610 nm	491-496 THz
	610-615 nm	487-491 THz
	615-620 nm	484-487 THz
	620-780 nm	384-484 THz

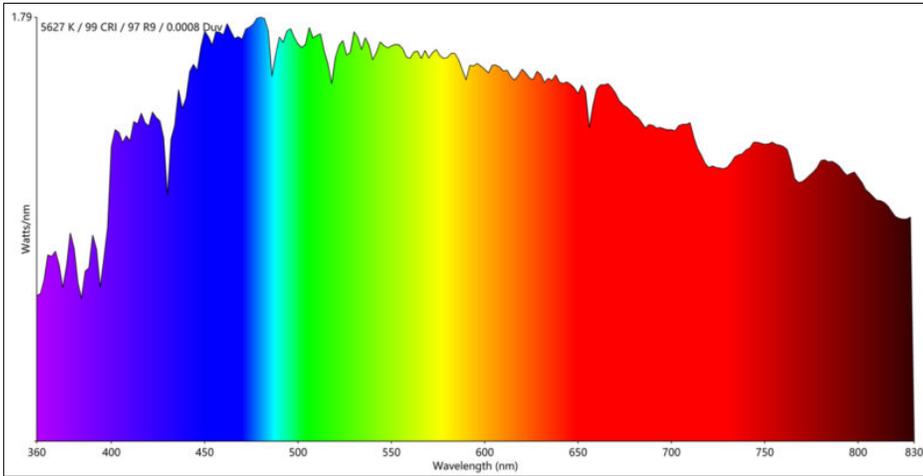
<https://de.wikipedia.org/wiki/Spektralfarbe>

3.1.2 Lichtspektren verschiedener Lichtquellen

3.1.2.1 Sonnenlicht (Temperaturstrahler)

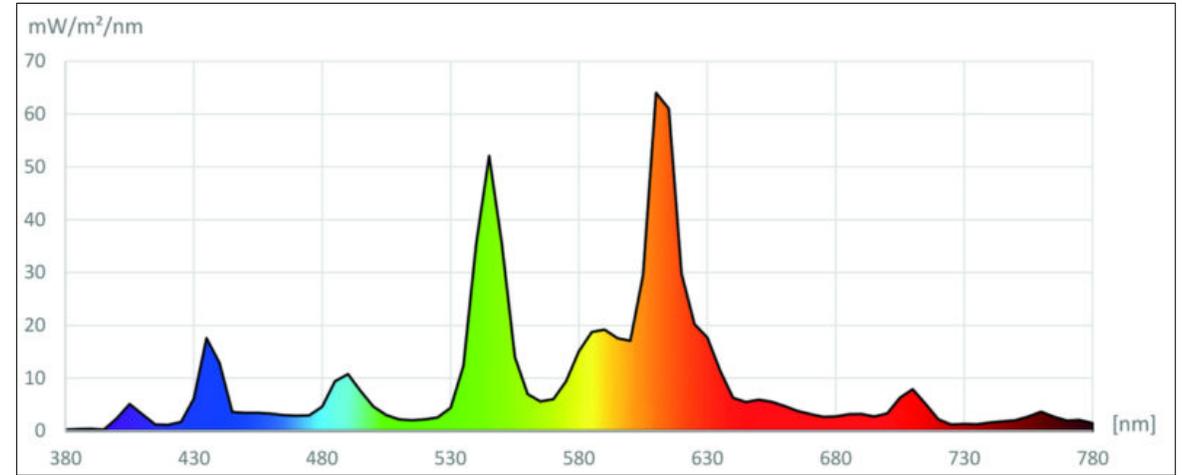


https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sonne_Strahlungsintensitaet.svg



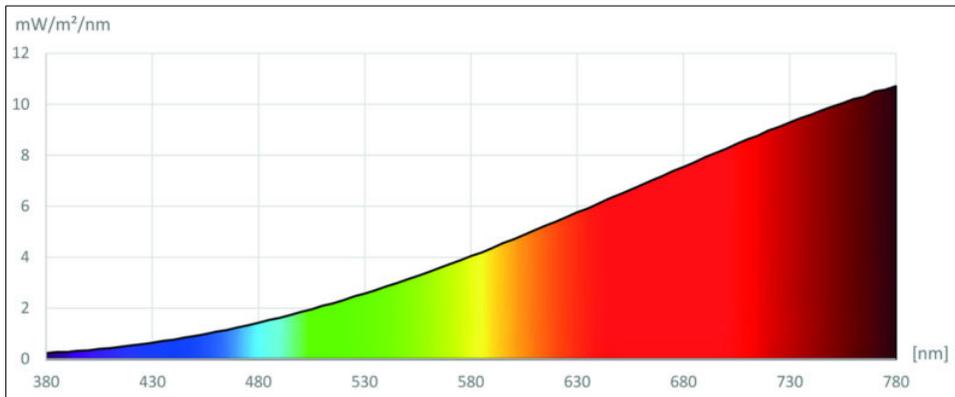
Sonnenlicht

<https://lichtnet.de/artikel/zurueck-zum-sonnenlicht/>



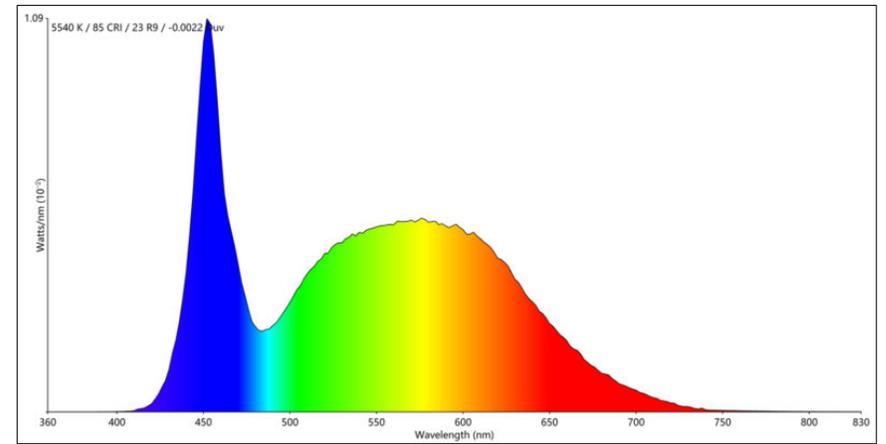
Leuchtstoffröhre

<https://lichtnet.de/artikel/zurueck-zum-sonnenlicht/>



Glühbirne

<https://lichtnet.de/artikel/zurueck-zum-sonnenlicht/>



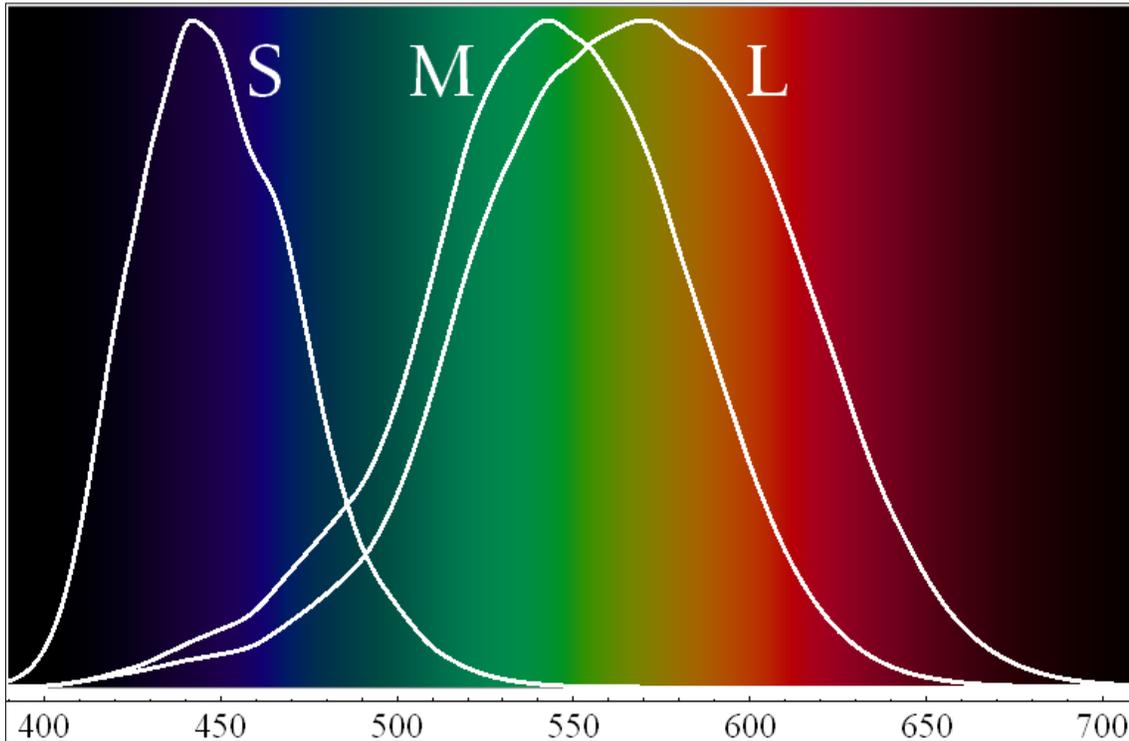
LED

<https://lichtnet.de/artikel/zurueck-zum-sonnenlicht/>

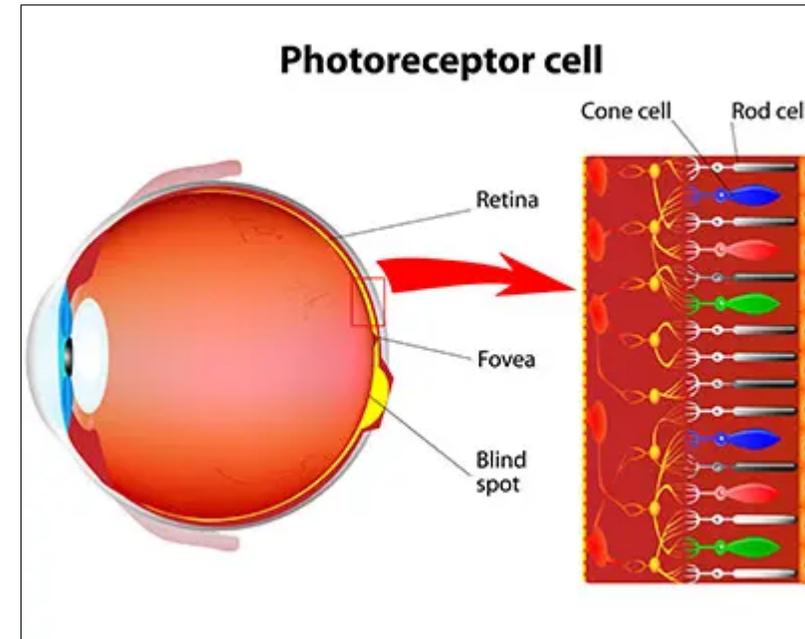
3.1.2.2 Menschliche Farbwahrnehmung

How we see color: https://www.youtube.com/watch?v=l8_fZPHasdo

Farbmischung 1: Additive Farbmischung: <https://www.youtube.com/watch?v=8fRFKSLsbb0>



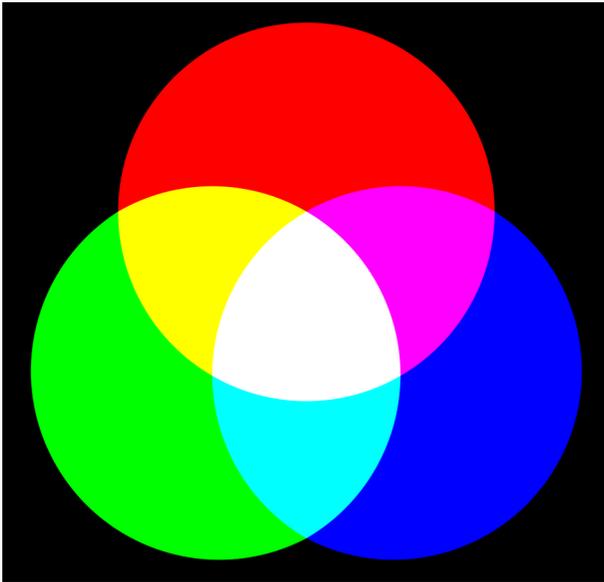
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cone-fundamentals-with-srgb-spectrum.png>



<https://www.aao.org/eye-health/anatomy/photoreceptors>

3.1.2.3 Additive Farbmischung

„Die **additive Farbmischung** (auch **additive Farbsynthese** oder **physiologische Farbmischung**) ist ein Phänomen, das die Änderung des vom Auge empfundenen Farbeindrucks durch sukzessives Hinzufügen eines jeweils anderen Farbreizes beschreibt (additiv = hinzufügend). Grundsätzlich ist das Farbsehen mit Hilfe unterschiedlich farbempfindlicher Sensoren im Auge eine additive Mischung. Da die additive Farbmischung in Auge und Gehirn stattfindet, wird sie auch physiologische Farbmischung genannt.“ https://de.wikipedia.org/wiki/Additive_Farbmischung



https://de.wikipedia.org/wiki/Additive_Farbmischung

3.2 Objekt

3.2.1 Optische Dichte OD

Die optische Dichte, auch als Extinktion bezeichnet, ist eine physikalische Größe, die die Eigenschaft eines Materials oder Mediums quantifiziert, Licht zu absorbieren oder zu streuen, wenn es durch das Material hindurchtritt. Je höher die optische Dichte ist, desto stärker wird das Licht absorbiert oder gestreut, und desto weniger Licht tritt durch das Material hindurch.

3.2.1.1 Formel

Optische Dichte OD, berechnet mit Wellenintensität (I):

$$E_{\lambda} = \log_{10} \frac{I_0}{I}$$
$$= -\log_{10} \frac{I}{I_0}$$

Transmissionsgrad (T), berechnet mit Wellenintensität (I):

$$T = \tau = \frac{I}{I_0}$$

Opazität (O), berechnet mit Wellenintensität (I):

$$O = \frac{1}{T} = \frac{I_0}{I}$$

3.2.1.2 Densitometrie (Messung)

„Die Densitometrie basiert auf der Linearität zwischen Farbmenge und optischer Dichte. Je mehr Farbe, desto weniger Licht wird reflektiert oder transmittiert.“ [https://de.wikipedia.org/wiki/Densitometrie_\(Farbdichtemessung\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Densitometrie_(Farbdichtemessung))

Durchlichtdensitometer

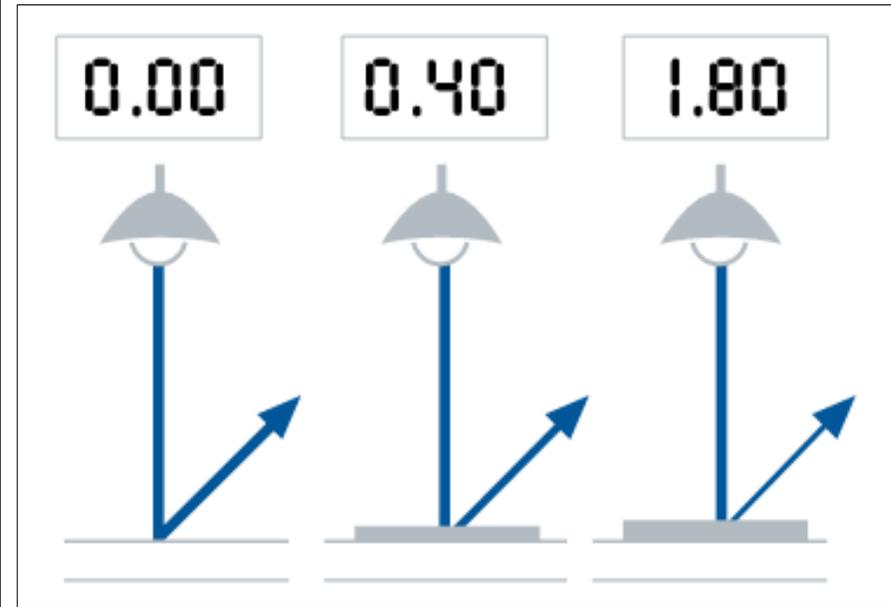


https://www.hpv-ev.org/upload/fachwissen_farbe_qualitaet.pdf

$$D_t = -\log T$$

Transmissionsdichte (D_t), Transmissionsgrad (T)

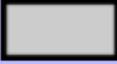
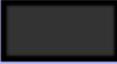
Auflichtdensitometer



https://www.hpv-ev.org/upload/fachwissen_farbe_qualitaet.pdf

$$D_r = -\log R$$

Remissionsdichte (D_r), Remissionsgrad (R)

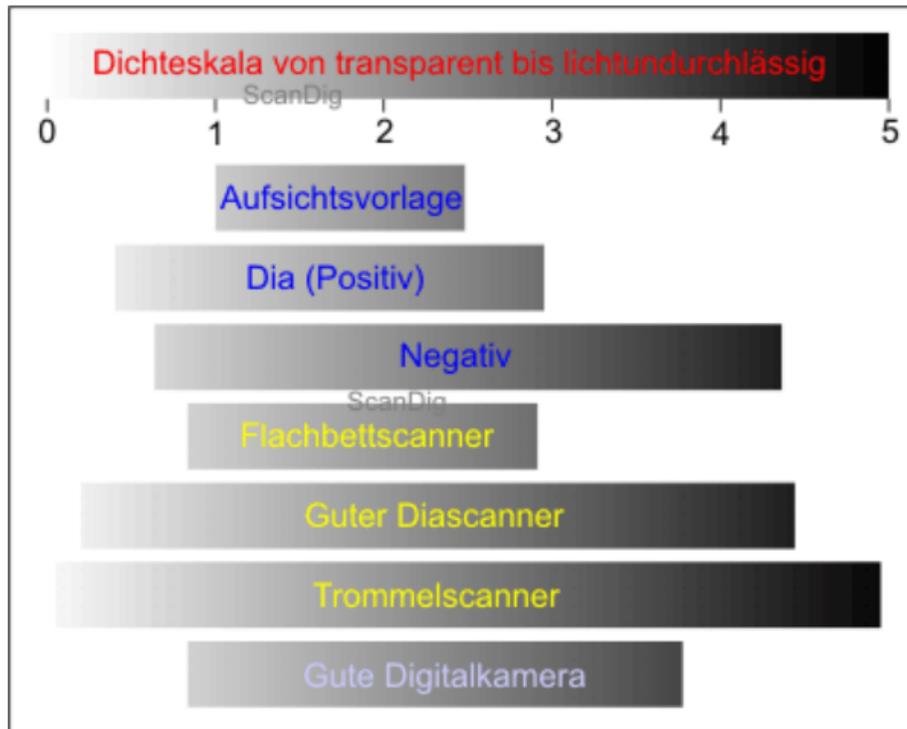
Grade of transmission τ (Light permeability)	Amount of light transmitted	Opacity (Light impermeability)	Density	Colour (Slide frame)
1	100%	1	0	
0,1	10%	10	1	
0,01	1%	100	2	
0,001	0,1%	1.000	3	
0,0001	0,01%	10.000	4	
0,00001	0,001%	100.000	5	

<https://www.filmscanner.info/en/Dichte.html>

3.2.1.3 Bezug: Density Range bei Scannern

„A scanner has a certain minimal density and a certain maximum density as also the resulting range of density. Within this range, it can capture completely all colour shades of an original; the colour shades outside the range of density are not recognized by the scanner and/or cut off.“

<https://www.filmscanner.info/en/Dichte.html>



<https://www.filmscanner.info/en/Dichte.html>

Geringer Dynamikumfang
 Grund: Sensor
 Testobjekt:

Characteristic	ISO scanner dynamic range
Description	Dynamic range in this case describes the ratio of the brightest patch in the original that is not clipped and the darkest patch that is above the noise (SNR of 1)
Related standards	ISO 21550, ISO 15739
Measurement	$d = d_{\max} - d_{\min}$ The dynamic range is measured from a grey scale where d_{\min} is the density of the brightest patch where the output signal of the OECF appears to be unclipped and d_{\max} is the density of the patch with a signal to noise ratio of 1 (see ISO 21550 for details).
Reference target	Grey scale (spectrally neutral) in a test chart as defined in Annex A that is ideally equally spaced in L^* values with a contrast exceeding that of the image capture device.
Aim	d shall be as large as possible but at least exceed the contrast range of typical objects that are digitized with the image capture device.
Notes	

Epson Perfection V750 Pro

Technik	
Scannertyp	Flachbett-Scanner
Scanauflösung	6.400 dpi (horizontal x vertikal)
Optische Auflösung	Main 6.400 dpi x Sub 9.600 dpi
Optische Dichte	4 Dmax
Scanbereich	216 mm x 297 mm (horizontal x vertikal)
Papierformate	A4 (21.0x29,7 cm)
Farbtiefe	Eingang: 48 Bits Farbe , Ausgang: 48 Bits Farbe
Kategorie	Hohe Auflösung

https://www.epson.de/de_DE/produkte/scanner/consumer/epson-perfection-v750-pro/p/1760?pid=1760

SUPER COOLSCAN 5000

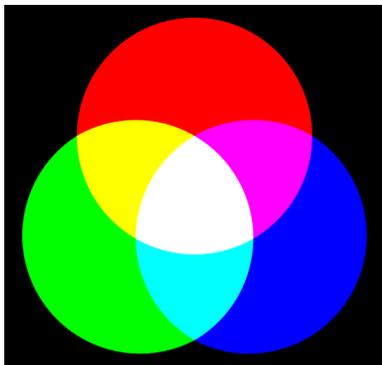
Übersicht	<u>Spezifikationen</u>	Funktionsbeispiele	Zubehör (inklusive)	2
• Optical resolution [dpi]	4000			
• Film type(s)	35mm, 35mm film strips, APS (IX 240) film and glass slides for microscopes			
• Interface	USB 2.0			
• Density range	4.8			
• Illumination source	R, G, B and infrareded (IR) LEDs			
• Lens Optics: Elements (ED elements) / groups	7 / 3			
• Approx. scan time (35mm, 2900dpi, noCMS, Win PC) [sec]	20			
• Approx. dimensions (W x H x D) [mm]	96 x 172 x 315			
• Approx. weight [kg]	3			

https://web.archive.org/web/20100912163728/http://www.nikon.de/de_DE/product/discontinued/film-scanners/2009/super-coolscan-5000

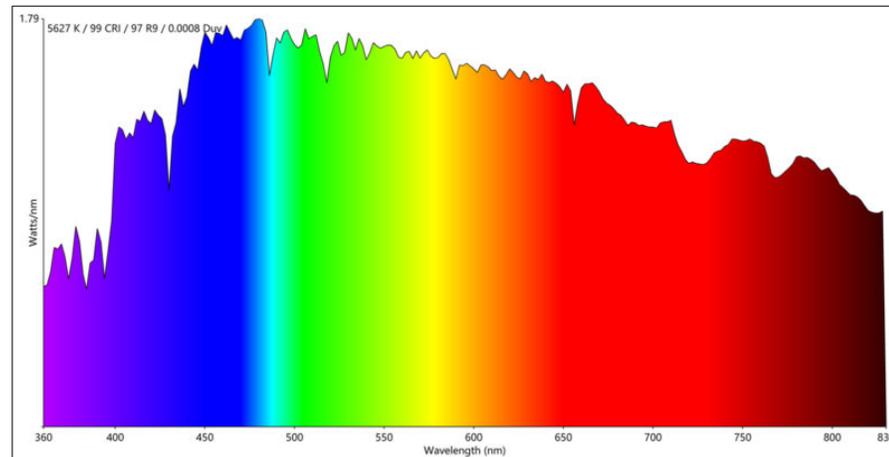
3.2.1.4 Farbige Objekte

Das Licht, das aus Strahlung mit unterschiedlicher Wellenlängen besteht, fällt auf das Objekt. Nun wird nicht das ganze Licht reflektiert, Teile davon werden absorbiert. Die reflektierende Strahlung (bestehend aus unterschiedlichen Wellenlängen) ergibt die Farbe in dem wir das Objekt sehen.

Wird das Sonnenlicht gleichermaßen reflektiert, erscheint das Objekt weiß. Werden Strahlungen im Wellenlängenbereich 380 – 500 nm absorbiert und nur die im Bereich 500 – 780 nm reflektiert, fehlt der Blauanteil der Strahlung und das Objekt erscheint uns gelb.



https://de.wikipedia.org/wiki/Additive_Farbmischung



<https://lichtnet.de/artikel/zurueck-zum-sonnenlicht/>

Farbname	Wellenlänge	Frequenz
violett	380-400 nm	749-789 THz
	400-425 nm	705-749 THz
blau	450-460 nm	652-666 THz
	470-475 nm	631-638 THz
cyan	475-485 nm	618-631 THz
	485-500 nm	600-618 THz
grün	500-520 nm	577-600 THz
	520-540 nm	555-577 THz
	540-550 nm	545-555 THz
gelb	550-560 nm	535-545 THz
	560-565 nm	531-535 THz
	565-570 nm	526-531 THz
orange	570-575 nm	521-526 THz
	575-580 nm	517-521 THz
	580-590 nm	508-517 THz
rot	590-595 nm	504-508 THz
	595-600 nm	500-504 THz
	600-605 nm	496-500 THz
	605-610 nm	491-496 THz
rot	610-615 nm	487-491 THz
	615-620 nm	484-487 THz
	620-780 nm	384-484 THz

<https://de.wikipedia.org/wiki/Spektralfarbe>

3.2.1.5 Bezug: Weißabgleich

Die Farbe des Objekts ist abhängig von der Lichtquelle.

Der Weißabgleich in den Einstellungen sorgt dafür, dass Farbstiche ausgeglichen werden.

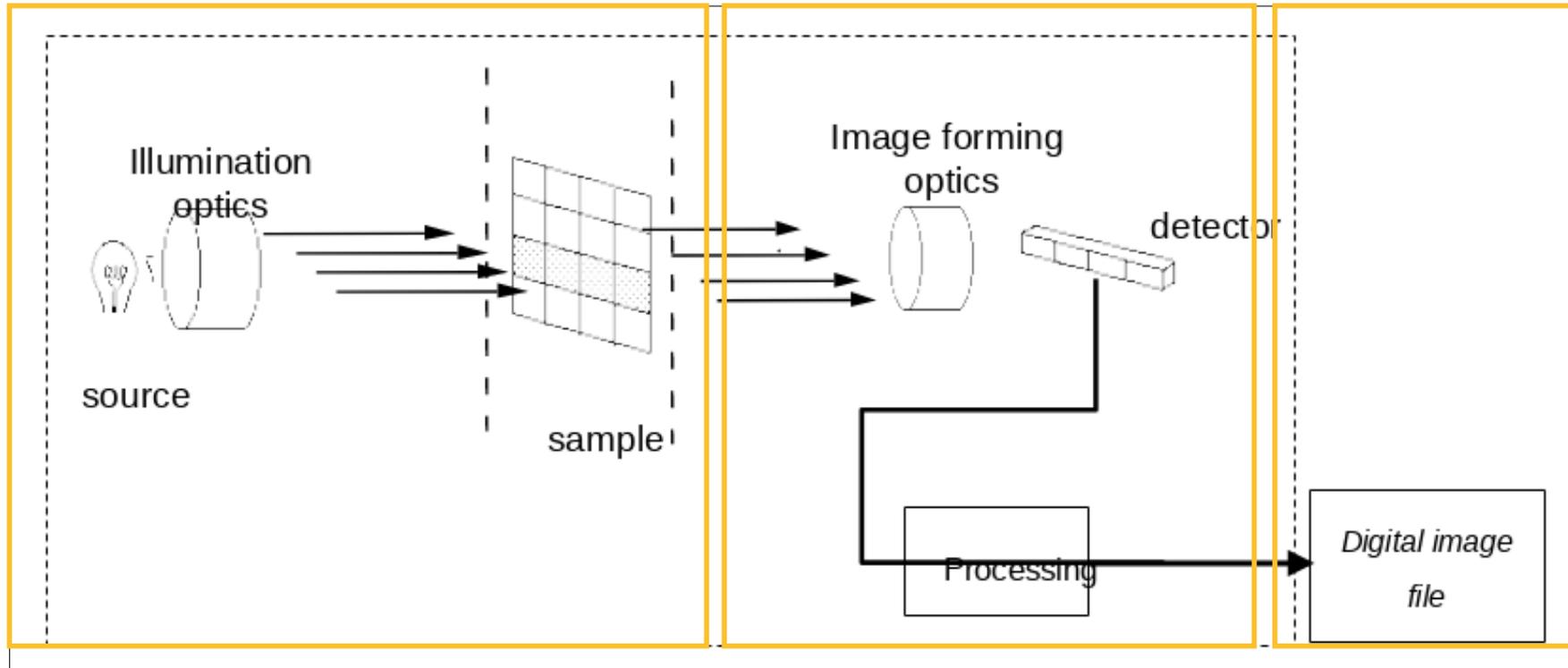


Symbol	Modus	Farbtemperatur in Kelvin
	Automatisch	3000-7000
	Tageslicht	5200
	Schatten	7000
	Wolkig	6000
	Kunstlicht	3200
	Leuchtstoff	4000
	Manuell	2000-10000
	Blitz	Automatische Einstellung

Input

Aufnahmegerät

Datei



Williams, "Imaging Science for Archivists - 101.", S. 8.

4 Aufnahmegerät

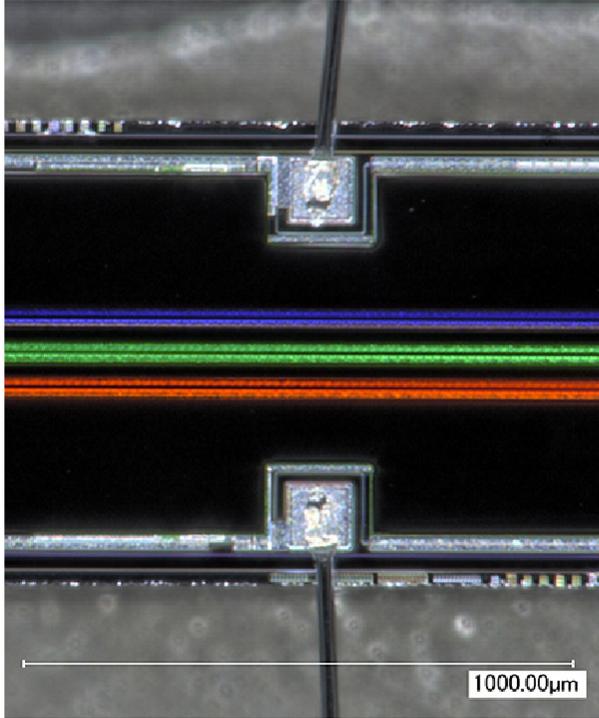
4.1 Bildsensoren

Sensoren messen die auftreffende Lichtintensität pro Pixel: Über den photoelektrischen Effekt wird Licht in Strom umgewandelt. Dieser Strom wird über einen Analog-Digital-Wandler als Zahl erfasst. Anschließend werden die digitalen Daten zu Bilddaten weiterverarbeitet.

Erst über Farbfilter, die vor die lichtempfindlichen Sensoren gelegt werden, können Farbinformationen aufgezeichnet werden. Dabei werden Filter der Grundfarben der additiven Farbmischung Rot, Grün, Blau verwendet, um nur die jeweiligen Wellenlängenbereiche des Lichts durchzulassen. Die gemessene Lichtintensität hinter einem Blaufilter misst dementsprechend nur noch die Intensität des blauen Lichts, usw.

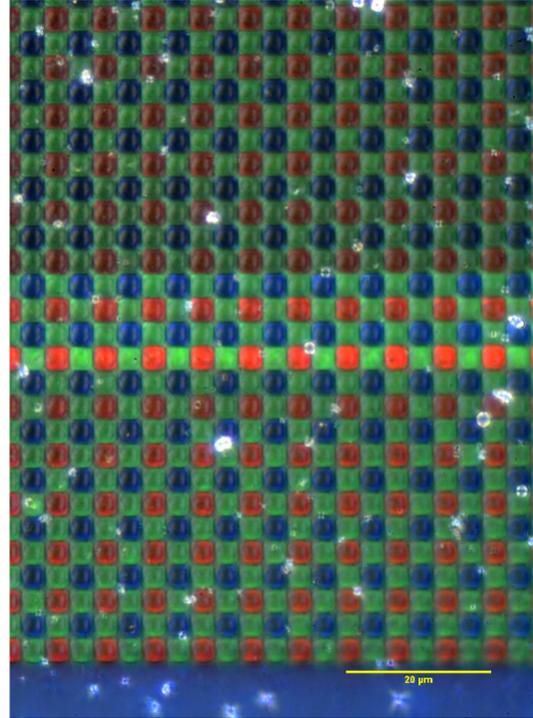
Das in Strom umgewandelte Licht wird mit einem Analog-Digital-Wandler in digitale Werte übersetzt. Hier entscheidet die **Bittiefe** des A/D-Wandlers mit wie vielen Abstufungen das analoge Signal auswerten kann.

Zeilen- und Flächensensoren



Trilinearer Zeilensensor

Aufnahmen: Roland Lenz



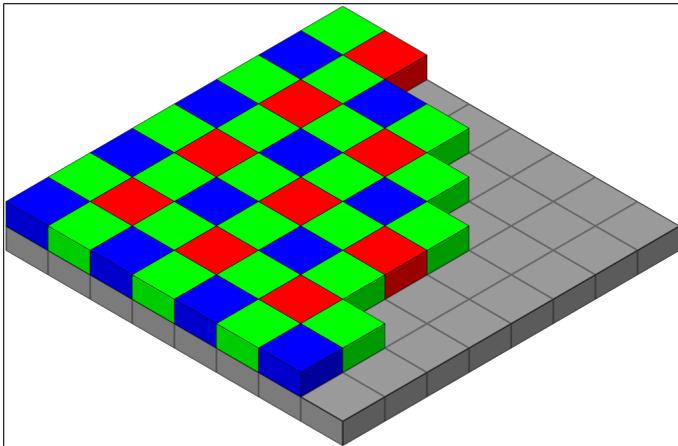
Flächensensor mit Mikrolinsen und Bayer-Matrix

Kurs: Fotografie Restaurierung [fortlaufend], Mario Röhrle,
<https://portal.abk-stuttgart.de/course/view.php?id=583>

4.1.1 Flächensensor

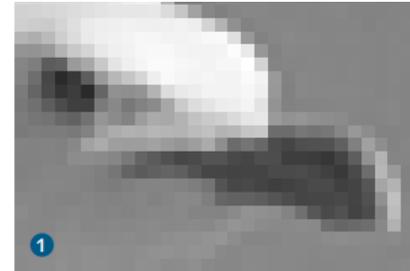
4.1.1.1 Bayer Filter

Das Bayer-Muster, das auf den meisten Bildsensoren verwendet wird, besteht aus einem sich wiederholenden 2x2 Muster. Dieses Muster besteht aus einem blauen Pixel, einem roten Pixel und zwei grünen Pixeln. Das Bayer-Muster begünstigt **Aliasing**.

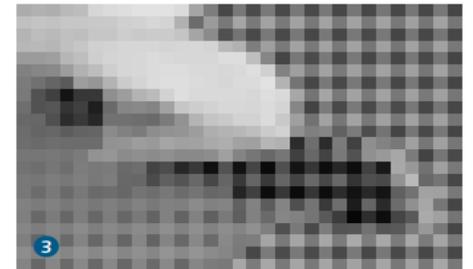
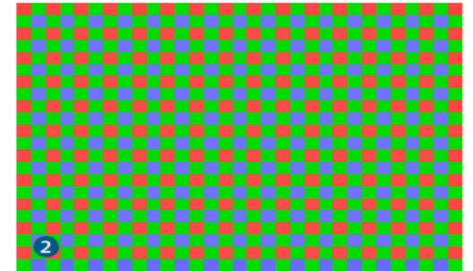


https://en.wikipedia.org/wiki/Bayer_filter

1. Lichtintensität pro Pixel ohne Bayer-Filter
2. Bayer Muster für Farbinformation
3. Lichtintensität pro Pixel mit Bayer-Filter
4. Bayer Muster mit Helligkeits-Informationen
5. Berechnete RGB Werte pro Pixel (Demosaicing)

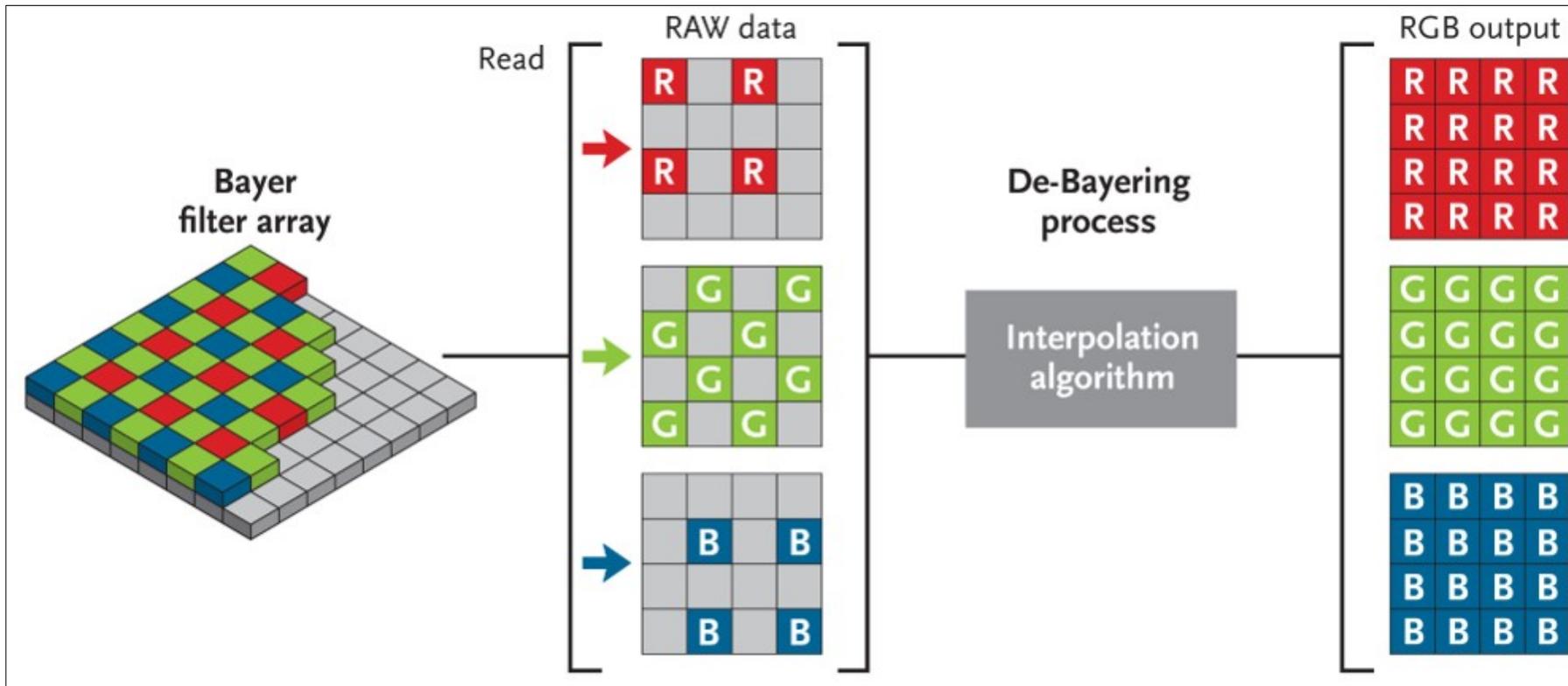


Westphalen, Christian. Die große Fotoschule, 2016. S. 40.



Demosaicing

Da ein einzelnes Pixel auf dem Sensor nur eine Farbinformation misst, jedoch im Bild ein Pixel mit vollständigen RGB-Werten erscheinen soll, müssen die fehlenden Farbwerte durch Berechnungen anhand der benachbarten Pixel bestimmt werden. Dieser Prozess wird als Demosaicing bezeichnet und zielt darauf ab, drei vollständige Farbkanäle aus den Daten des Farbfilerarrays zu generieren.



https://github.com/Usmankhujaev/Bayer-Interpolation-for-RAW-format-images-using-OPENMP_library/blob/master/images/bayer_3.jpg

4.1.1.2 Sensortypen

CCD-Sensoren

- Der CCD-Sensor (Charge-Coupled Device, de: ladungsgekoppeltes Bauteil) besteht aus lichtempfindlichen, siliziumbasierten Halbleiterelementen.
- Jedes dieser Halbleiterelemente ist ein Fotodetektor (ein Pixel), das einfallende Photonen in Elektronen umwandelt.
- Die Elektronen werden über die Belichtungszeit akkumuliert, anschließend transportiert, zentral verstärkt und ausgelesen.

Ein CCD-Sensor hat somit drei Grundfunktionen:

1. Ladungssammlung
2. Ladungstransport
3. Ladungswandlung und Verstärkung

Vgl.: E. Hering, R. Martin (Hgg): Photonik. Grundlagen, Technologie und Anwendung. Berlin: Springer, 2006. Seite 434

CMOS-Sensoren / APS

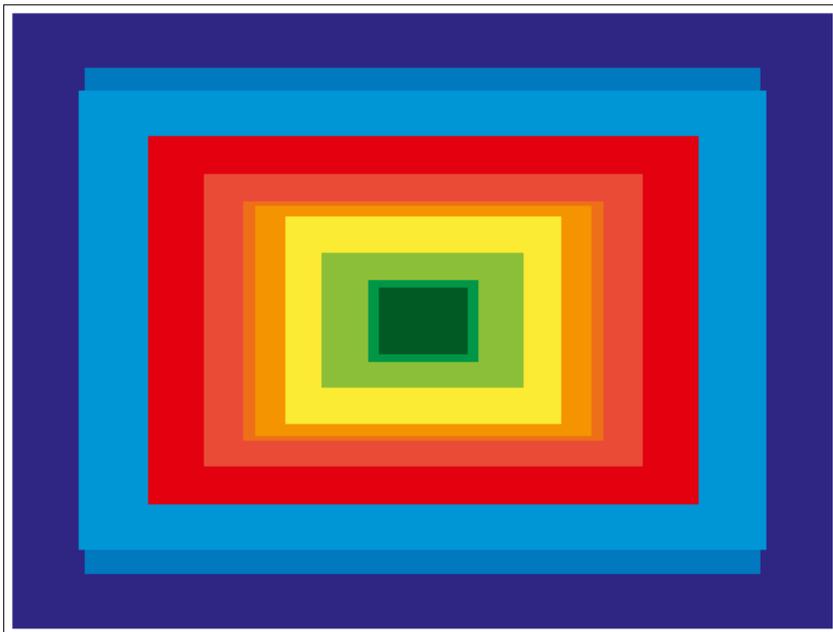
- Der APS (Active Pixel Sensor, de: aktiver Pixelsensor) wird in CMOS-Technik (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) gefertigt und daher oft als CMOS-Sensor bezeichnet.
- Jedes Element eines CMOS-Sensors besteht aus einem siliziumbasierten Halbleiterelement, das als Photodiode wirkt. Im Gegensatz zu CCD-Sensoren besitzt jedes Element jedoch einen eigenen Verstärker und kann direkt ausgelesen werden.
- Es wird unterschieden zwischen Sensoren, die direkt auf dem Chip einen Analog-Digital-Wandler besitzen und solchen, bei denen der Wandler außerhalb liegt.
- APS gibt es seit den 1990er Jahren und sind inzwischen die vorherrschende Bildsensortechnologie.

Kurs: Fotografie Restaurierung [fortlaufend], Mario Röhrle, <https://portal.abk-stuttgart.de/course/view.php?id=583>

4.1.1.3 Eigenschaften Flächensensoren

4.1.1.3.1 Sensorgröße

Die Sensorgröße bezieht sich auf die physikalische Größe des Bildsensors.



Westphalen, Christian. Die große Fotoschule, 2016. S. 46.

Farbe	Größe in mm	Bezeichnung	Beispielkamera
■	40 × 53,4	Mittelformat	Hasselblad H6D-100c, PhaseOne XF 100MP
■	32,9 × 43,8	Mittelformat	Hasselblad H6D-50c, Pentax 645Z
■	30 × 45	Mittelformat	Leica S
■	24 × 36	Vollformat, Kleinbild	Nikon D5, D810, D750, D610; Sony-α7-Reihe, Canon EOS 5D Mark IV, 6D, 1D X Mark II
■	28,7 × 19,1	APS-H (1 : 1,3)	Canon 1D Mk IV
■	15,6 × 23,6	APS-C (DX) (1 : 1,5)	Nikon D500, D7200, Fujifilm X-Pro2
■	14,9 × 22,3	APS-C (1 : 1,6)	Canon EOS 760D, 80D ...
■	13,5 × 18	(Micro) Four Thirds	Olympus OM-D E5, Panasonic-Lumix-G-Reihe
■	13,2 × 8,8	Nikon CX	Nikon 1 (J, V, S, AW)
■	5,6 × 7,6	1/1,7 Zoll	Nikon Coolpix P7700, Canon PowerShot G16
■	4,2 × 5,6	1/2,3 Zoll	Canon Ixus, Nikon Coolpix S9500, Pentax Q

Westphalen, Christian. Die große Fotoschule, 2016. S. 46.

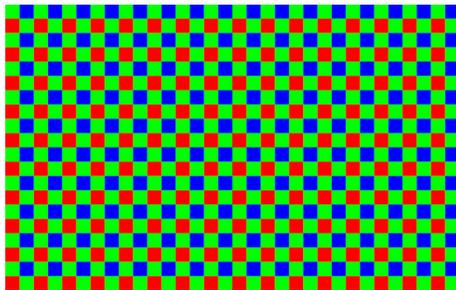
4.1.1.3.2 Pixelanzahl

Die Pixelanzahl eines Sensors gibt an, wie viele einzelne Bildpunkte auf dem Sensor vorhanden sind, die Licht erfassen und in elektrische Signale umwandeln können.

Angegeben in Megapixel.

Anzahl Pixel wirken sich positiv aus auf:

- Höhere **Auflösung**



4.1.1.3.3 Pixelgröße

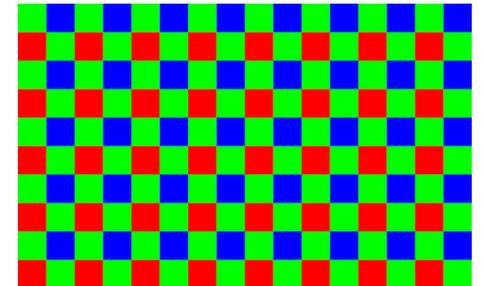
Die Pixelgröße eines Sensors gibt die physikalische Größe jedes einzelnen Bildpunkts auf dem Sensor an.

Größere Pixel können mehr Licht einfangen und bieten in der Regel eine bessere Bildqualität, insbesondere bei schlechten Lichtverhältnissen.

Die Pixelgröße wird teilweise als Pixelabstand angegeben.

Größere Pixel wirken sich positiv aus:

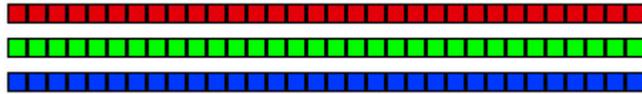
- Höhere **Dynamic Range**
- Höhere **Farbtiefe / Bittiefe**
- Weniger **Rauschen**



4.1.1.4 Zeilensensor

Die Sensortypen CCD und CMOS, die sich in den Digitalkameras als Flächensensoren befinden, befinden sich auch in Scannern – anders angeordnet, als Zeilensensor.

Ebenfalls sind vor den Sensoren RGB Filter für die Ermittlung der Farbinformationen angebracht.



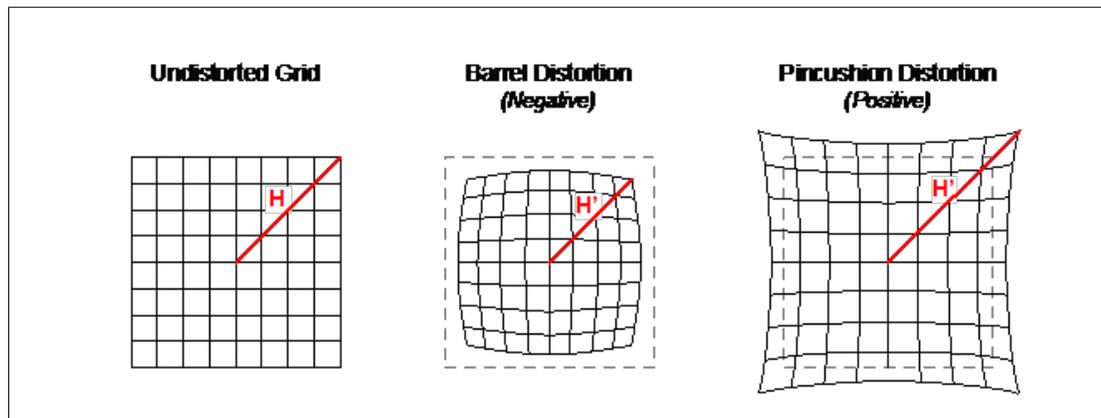
4.1.2 Kamerasysteme

Grundlagen Aufbau & Optik: <https://ciechanow.ski/cameras-and-lenses/>

4.1.2.1.1 Fehler durch Optik

Distortion

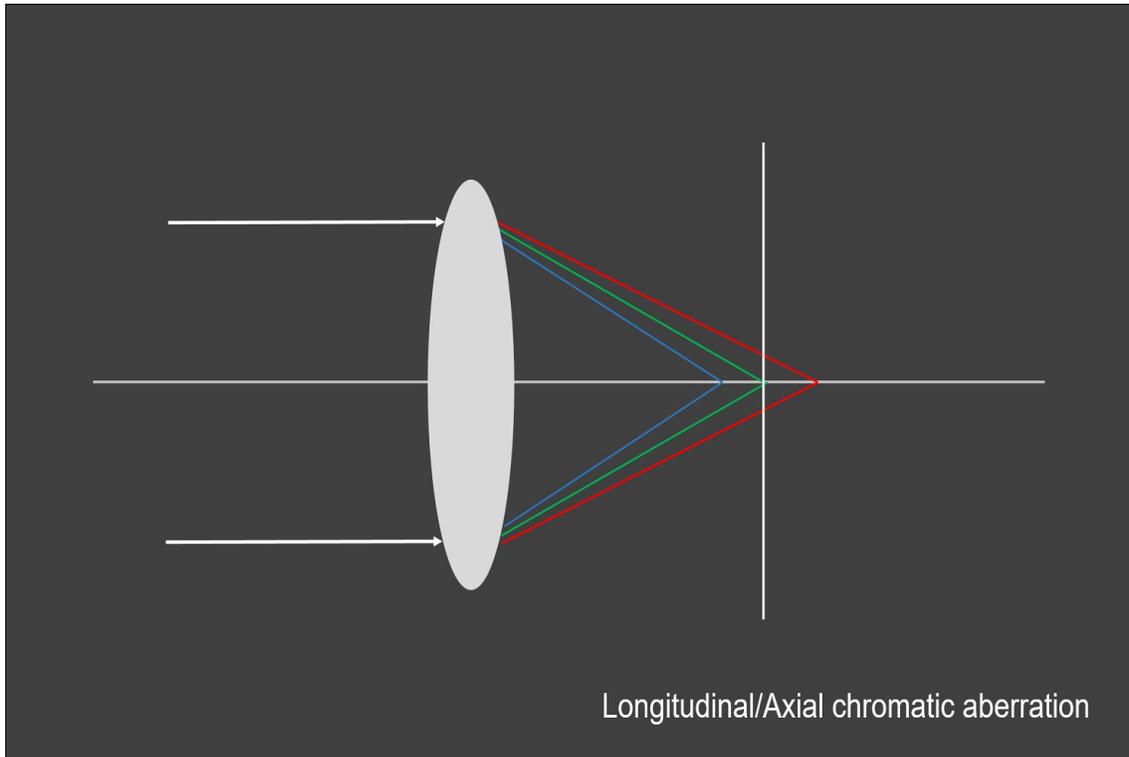
„Distortion commonly occurs from aberrations near the edges of an image. Each type of distortion usually develops through different variables. Barrel distortion, for example, is often the result of a lens at full zoom, while pincushion distortion occurs most often from telephoto lenses. Waveform distortion results from a large angle camera in zoom mode, combining both barrel and pincushion distortion.“²



<https://www.image-engineering.de/library/image-quality/factors/1062-distortion?highlight=WyJkaXN0b3J0aW9uIl0=>

² <https://www.image-engineering.de/library/image-quality/factors/1062-distortion?highlight=WyJkaXN0b3J0aW9uIl0=>

Chromatic Aberration



<https://www.image-engineering.de/library/image-quality/factors/1074-chromatic-aberration>

Chromatische Aberration tritt auf, wenn die unterschiedlichen Wellenlängenbereiche des Lichts unterschiedlich stark durch ein optisches System gebrochen wird, was zu Farbsäumen oder Farbverschiebungen in den Bildern führt.

Kurzwelliges Licht wird stärker gebrochen als langwelliges Licht.

Dies geschieht oft an den Rändern von Objekten im Bild und kann als bläuliche oder rötliche Verfärbung sichtbar sein.

Chromatische Aberration kann durch die Verwendung hochwertiger Objektive mit speziellen Linsen minimiert werden, und sie kann auch durch Bildbearbeitungssoftware nachträglich korrigiert werden.

Vignettierung

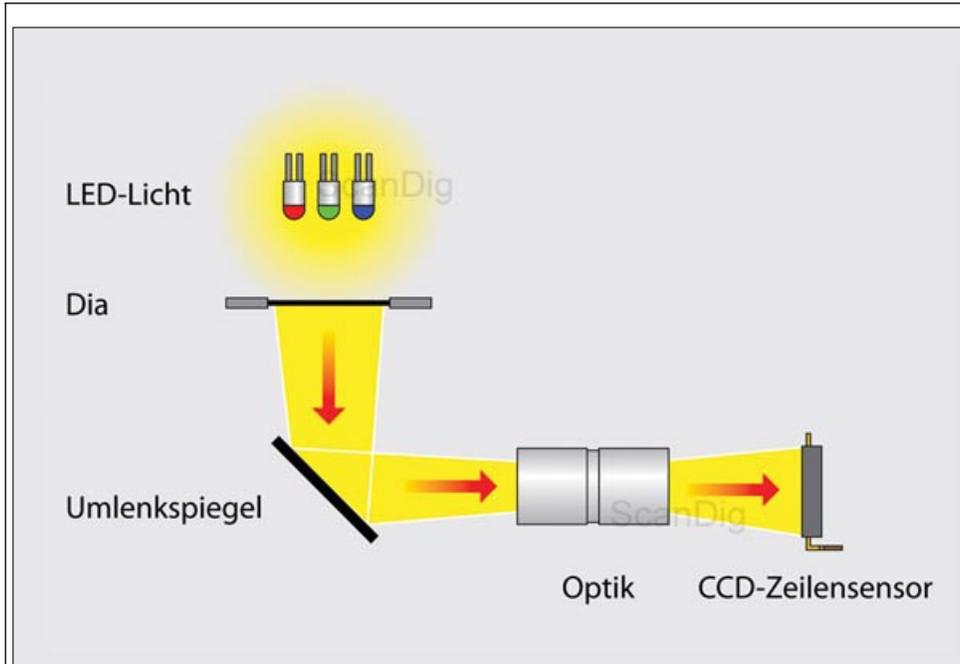
Schräg auf das Objektiv fallende Lichtstrahlen gelangen bei einer offenen Blende nicht so gut zum Sensor. Außerdem ist ein Sensor weniger effizient darin, schräg einfallende Lichtstrahlen zu nutzen als solche, die direkt auf ihn treffen. Positive Auswirkungen haben Mikrolinsen vor den Pixeln.



Westphalen, Christian. Die große Fotoschule, 2016. S. 126.

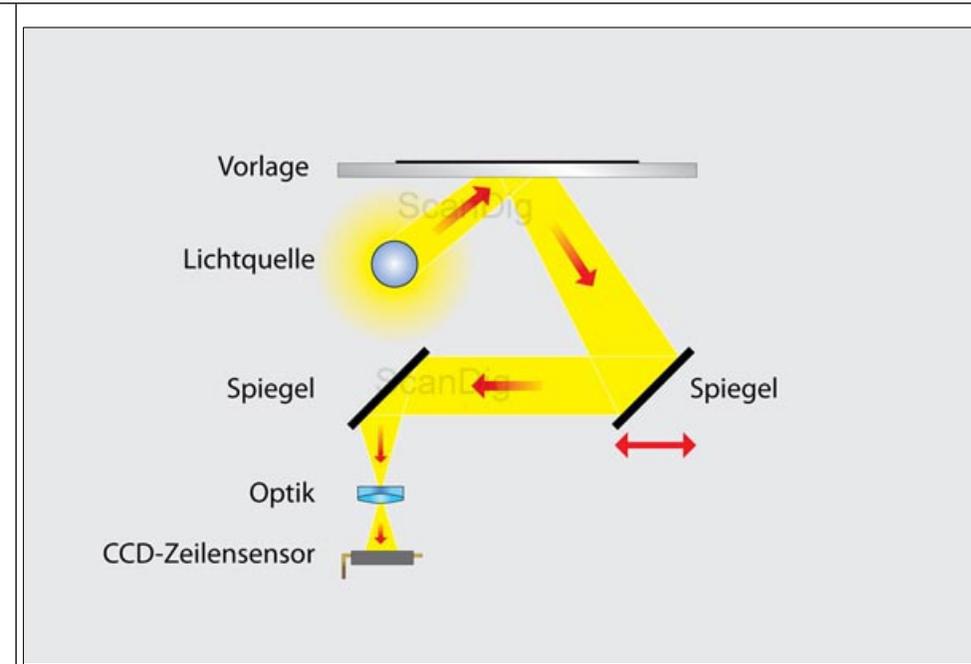
4.1.3 Scann-Systeme

4.1.3.1 Grundlagen Aufbau & Optik



<https://www.filmscanner.info/en/FilmscannerKlassen.html>

Dia Scanner



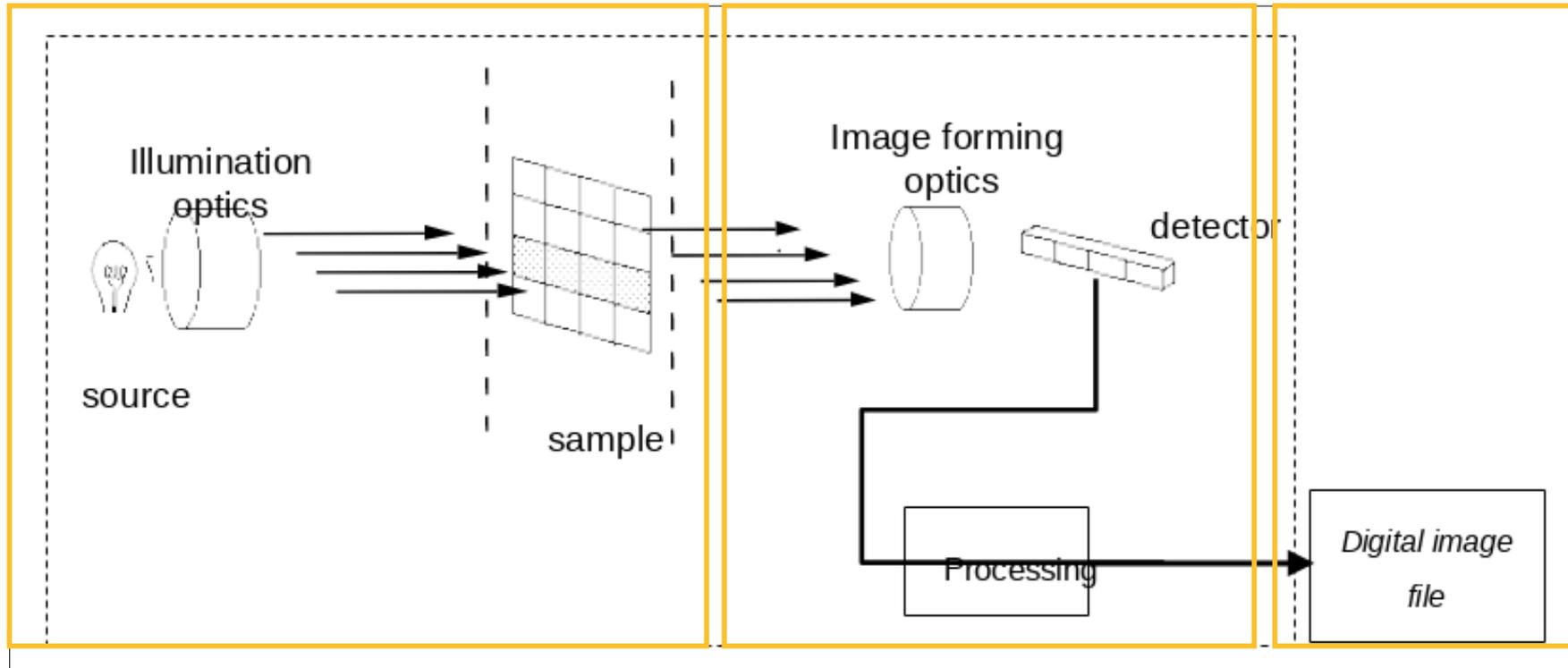
<https://www.filmscanner.info/en/FilmscannerKlassen.html>

Flachbettscanner

Input

Aufnahmegerät

Datei



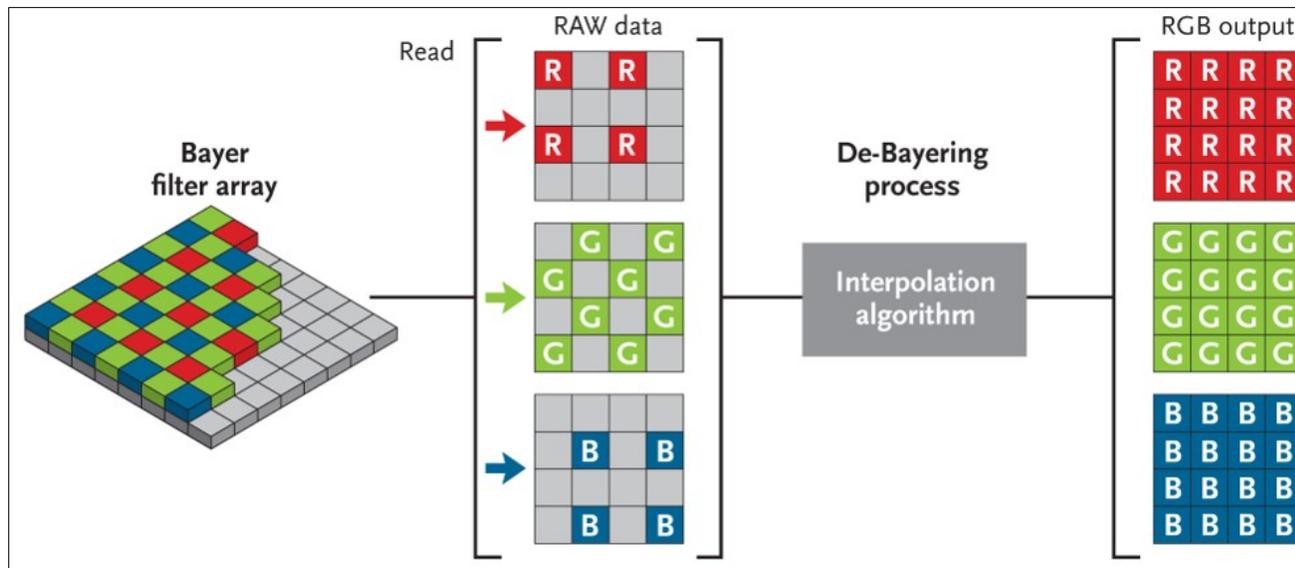
Williams, "Imaging Science for Archivists - 101.", S. 8.

5 Dateien

5.1 Dateiformate

5.1.1 Raw-Formate

Raw-Formate, speichern die (beinahe) unprozessierten Daten vom Sensor. Im Falle es Sensors mit Bayer-Filter, bedeutet das, dass die Daten vor dem Demosaicing (der Berechnung der RGB-Werte pro Pixel) gespeichert werden.



<https://www.linkedin.com/pulse/ccd-vs-cmos-whats-most-difference-william-li>

Raw-Dateien sind proprietäre Formate, die von den Herstellern entwickelt werden. Das von Adobe entwickelte Raw-Format DNG³ (Digital Negative) ist offen aber patentiert.

Wenn man die Daten nicht im Raw-Format speichert, werden diese verarbeitet, z.B. werden die RGB-Werte durch das Demosaicing berechnet und die in den Einstellungen hinterlegten Funktionen (Weißabgleich, Tonwertkorrektur, Anwendung von Farbprofilen sowie Schärfung und Rauschunterdrückung) ausführt.

5.1.2 Komprimierung

Datenkomprimierung ist der Prozess, bei dem die Größe von Daten reduziert wird, um Speicherplatz zu sparen oder die Übertragungszeiten zu verkürzen. Es gibt zwei Hauptarten von Komprimierung: verlustbehaftete und verlustfreie Komprimierung. Bei der verlustbehafteten Komprimierung gehen einige Informationen bei der Komprimierung verloren, während bei der verlustfreien Komprimierung alle Daten wiederhergestellt werden können.

5.1.3 TIFF

LZW Kompression, verlustfrei

5.1.4 JPEG

In der Regel mit verlustbehafteter Kompressions. Es gibt verschiedene verlustfreie JPG-Varianten (JPEG-LS, JPEG 2000).

3 DNG Spezifikation: https://helpx.adobe.com/content/dam/help/en/photoshop/pdf/DNG_Spec_1_7_1_0.pdf.

5.1.5 FADGI

„Also, some people suggest that it is best to save raw image files, because no “bad” image processing has been applied. This assumes that one can do a better job adjusting for the deficiencies of a scanner or digital camera than the manufacturer, and that one has a lot of time to adjust each image. Raw image files will not look good on screen, nor will they match the appearance of originals. Raw image files cannot be used easily; this is true for inaccurate unadjusted files as well. Every image, or batch of images, will have to be evaluated and adjusted individually. This level of effort will be significant, making both raw files and inaccurate unadjusted files inappropriate for master image files. Additionally, sustainability of format should be considered. Many formats have become obsolete over time, thus making image files inaccessible. Consider carefully the longevity of file type when deciding what file format should be used. We believe that the benefits of adjusting images to produce the most accurate visual representation of the original outweigh the insignificant data loss (when processed appropriately), and this avoids leaving images in a raw unedited state. If an unadjusted/raw scan is saved, future image processing can be hindered by unavailability of the original for comparison. If more than one version is saved (unadjusted/raw and adjusted), storage costs may be prohibitive for some organizations, and additional metadata elements would be needed. In the future, unadjusted or raw images will need to be processed to be used and to achieve an accurate representation of the originals, and this will be difficult to do.“⁴

4 Technical Guidelines for Digitizing Cultural Heritage Materials, Federal Agencies Digital Guidelines Initiative, 2023. S. 86.

5.1.5.1.1 Farbraum

Die Aufzeichnung einer Kamera unterscheidet sich nicht nur in der Abstufungsmöglichkeit durch die Bittiefe, sondern auch durch die maximal darstellbare Buntheit der Farben. Meist können Sie zwischen zwei Standardfarbräumen in der Kamera wählen: sRGB und Adobe RGB.

Diese Einstellungen sind allerdings nur für das JPEG-Format von Bedeutung, denn beim Raw-Format ist immer der kameraeigene Farbraum eingebettet, der noch größer ist und die aufgezeichnete Farbinformation komplett erhält.

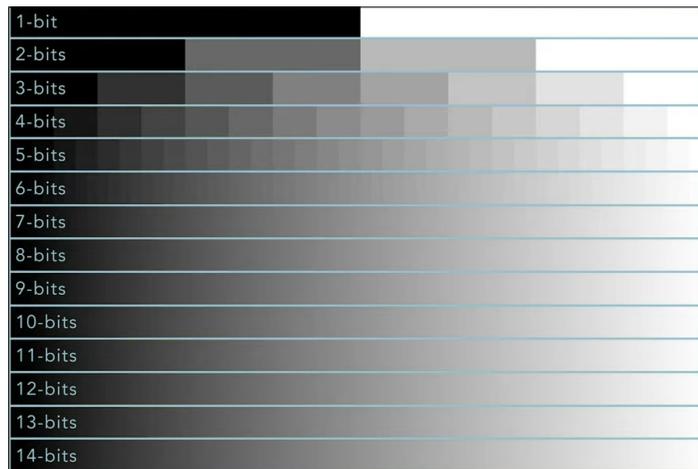
5.1.6 Bildgröße

Die Bildgröße bezeichnet die Anzahl der Pixel im Seitenverhältnis.

5.1.7 Farbtiefe

Die Farbtiefe bezeichnet die Anzahl der Bits die pro Pixel zur Verfügung stehen, um dessen Wert zu beschreiben.

Bestimmt wird die Farbtiefe durch den A/D-Wandler, der das analoge Signal in digitale Werte übersetzt, und die Fähigkeit der Sensoren einen hohen Dynamikumfang erfassen.



<https://www.youtube.com/watch?v=DyxrDW3WLKw>

Manchmal werden mit 8 Bit Farbtiefe, 8 Bits pro Pixel, und manchmal 8 Bits pro Farbe und Pixel gemeint. In der Regel wird damit die Bits pro Kanal und Pixel bezeichnet.

8 Bit RGB = $2^8 \times 2^8 \times 2^8 = 2^{24} \sim 16$ Mio. Farben

16 Bit RGB = $2^{16} \times 2^{16} \times 2^{16} = 2^{48} \sim 281$ Bio. Farben

5.1.7.1 Dateigröße (Datenmenge)

Dateigröße (Datenmenge) in Bytes

Die Dateigröße ist abhängig von den Bildgröße in Pixel und der Bittiefe/Farbtiefe.

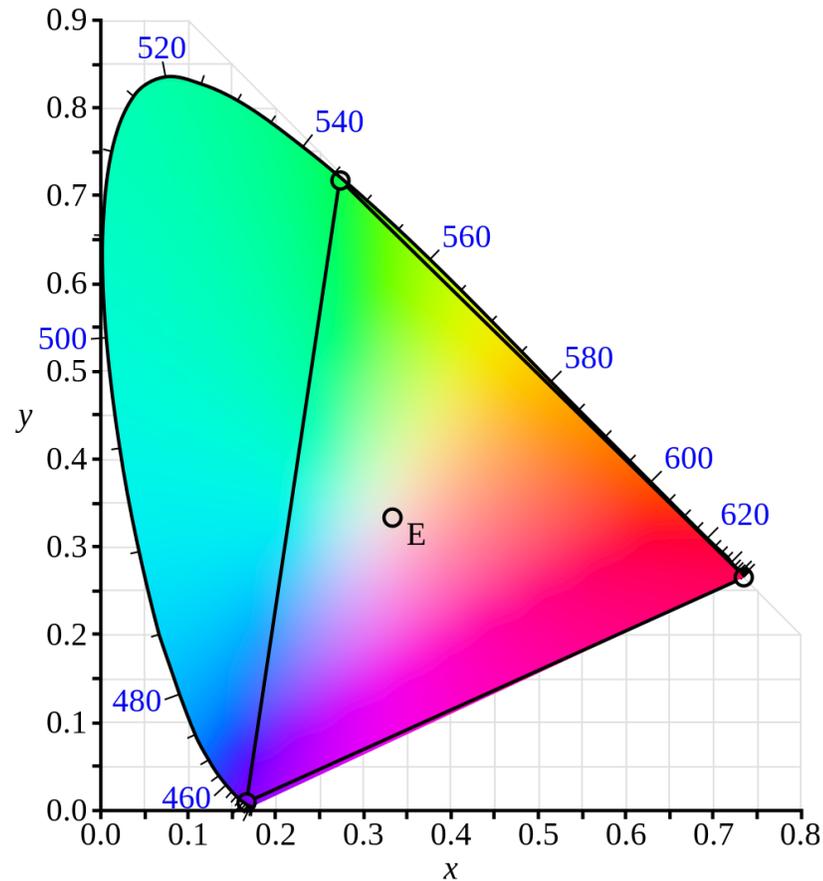
Bei einem Bild mit 100 x 100 Pixel und einer Farbtiefe von 8 Bit besteht das Bild aus 240000 Bits.

6 Farbmanagement

6.1 Farbmodell

Farbmodelle sind abstrakte mathematische Modelle, die beschreiben, wie Farben als Zahlensätze dargestellt werden können. Sie definieren die Struktur und die Art und Weise, wie Farben in einem bestimmten System dargestellt werden.

6.1.1 CIE-XYZ Farbmodell (auch CIE 1931)



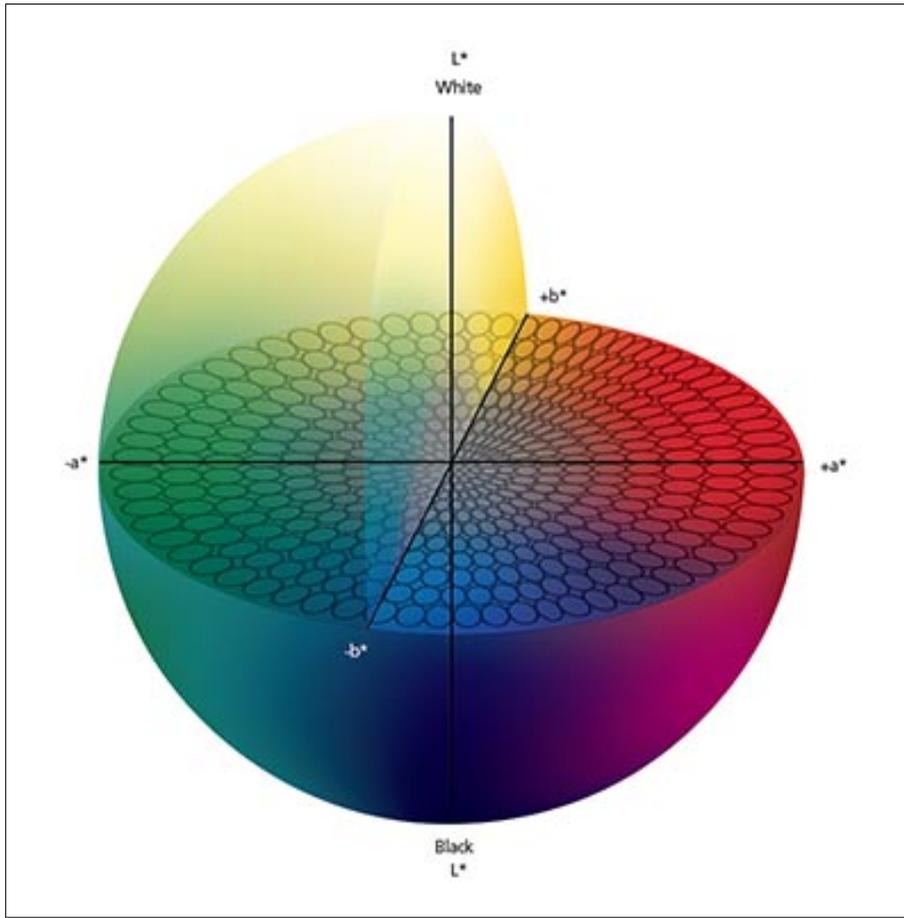
Das CIE XYZ Farbmodell wurde 1931 von der Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) entwickelt und basiert auf experimentellen Daten zur menschlichen Farbwahrnehmung.

Es dient als Standard zur Farbmessung und bietet eine objektive Methode zur Beschreibung von Farben, unabhängig von spezifischen Geräten.

CIE 1931 xy chromaticity diagram

Das CIE 1931 Chromaticity Diagramm ist ein Werkzeug, das die Farbinformationen aus dem dreidimensionalen CIE XYZ-Farbmodell in eine zweidimensionale Darstellung (x, y) überführt.

6.1.2 CIE-LAB Farbmodell



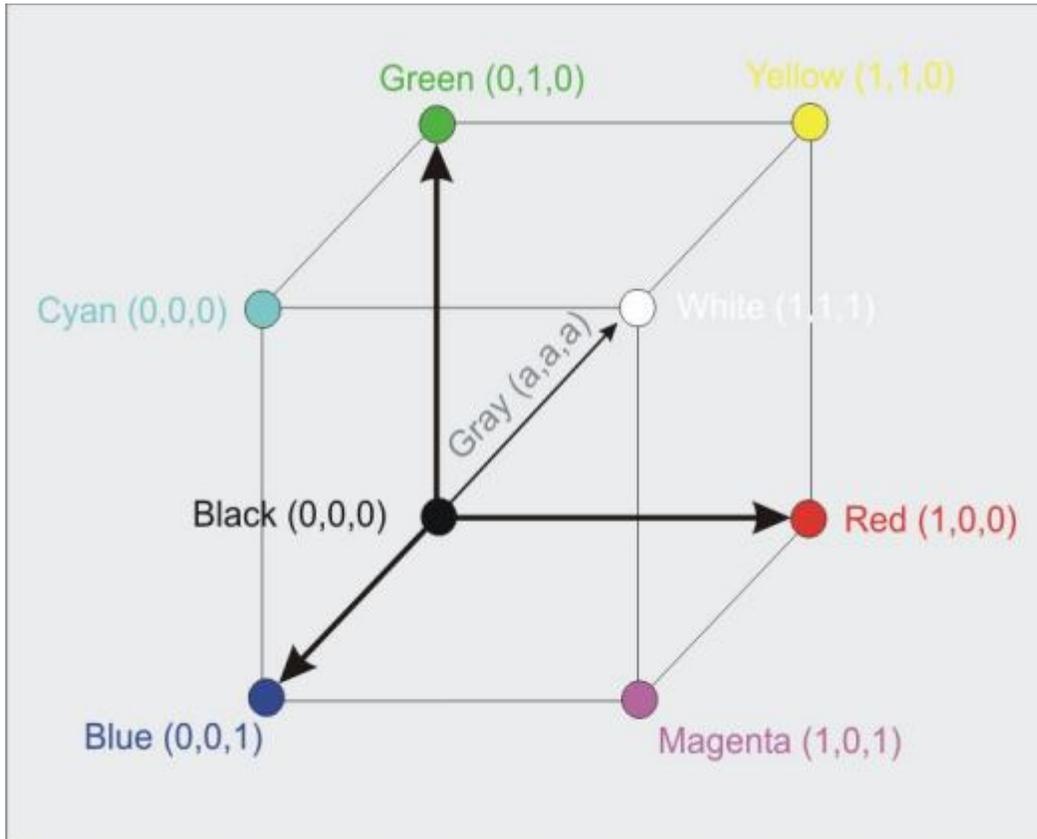
Das Lab-Farbmodell (CIELAB) basiert auf der menschlichen Farbwahrnehmung und wird oft in der Farbmessung und -vergleich verwendet. Es besteht aus drei Komponenten: L^* (Helligkeit), a^* (Farbkomponente von Grün bis Rot) und b^* (Farbkomponente von Blau bis Gelb).

L : 0 bis 100

a : -128 bis +12

b : -128 bis +127

6.1.3 RGB Farbmodell



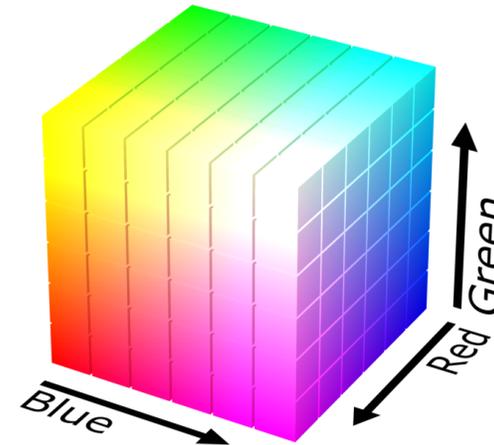
https://homepages.thm.de/~hg10013/Lehre/MMS/SS01_WS0102/Farbmodelle/Kapitel/Kapitel4.html

Das RGB Farbmodell basiert auf der additiven Farbmischung und wird hauptsächlich in digitalen Bildschirmen und elektronischen Displays verwendet.

R: 0-255

G: 0-255

B: 0-255



https://www.researchgate.net/figure/RGB-color-space-mapped-into-a-cube-where-each-vertex-represents-each-component-Adapted_fig4_359116469

6.1.4 CMY Farbmodell

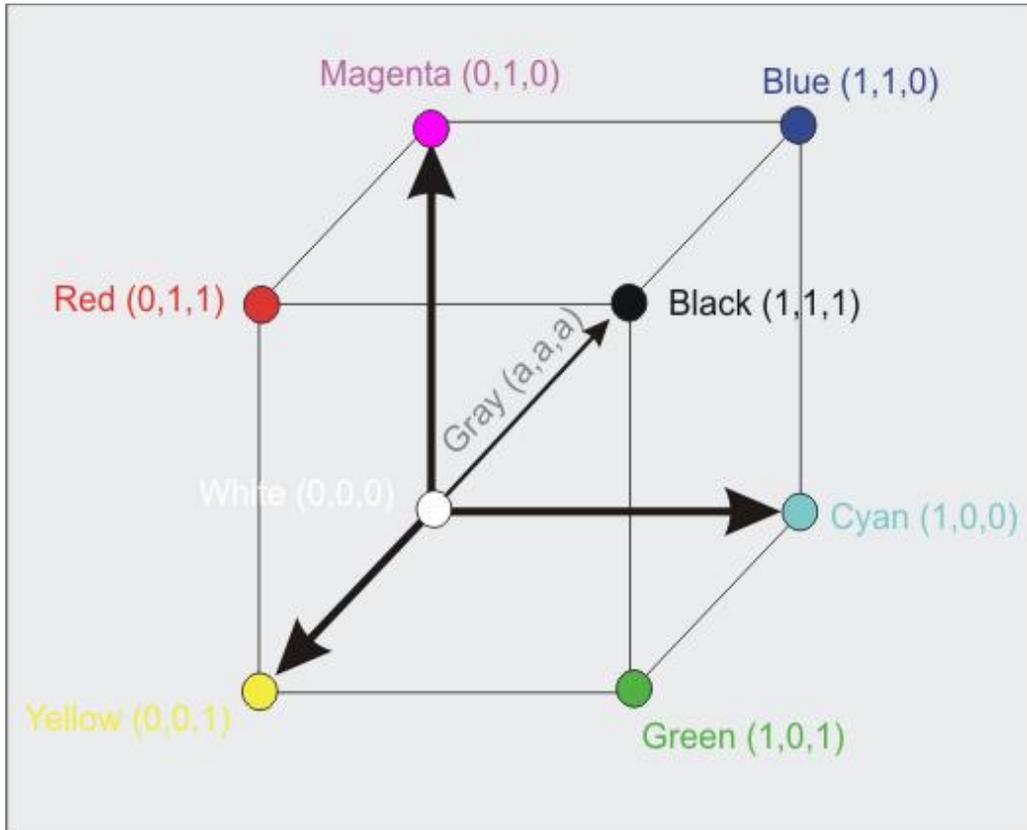


Figure 2:
https://homepages.thm.de/~hg10013/Lehre/MMS/SS01_WS0102/Farbmodelle/Kapitel/Kapitel4.html

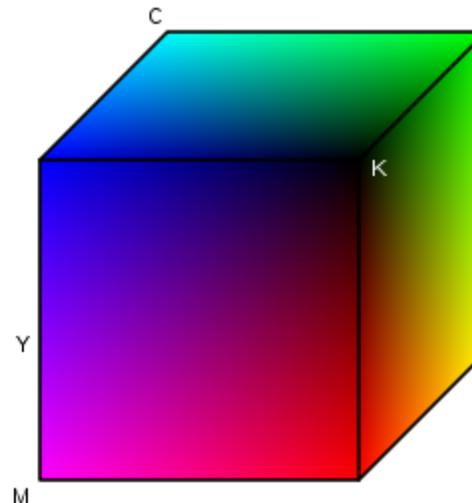
Ein subtraktives Farbmodell, das Farben durch das Mischen von Cyan, Magenta, Gelb und Schwarz darstellt. Es wird hauptsächlich im Druckwesen verwendet.

C: 0 - 100

M: 0 - 100

Y: 0 - 100

K: 0 - 100

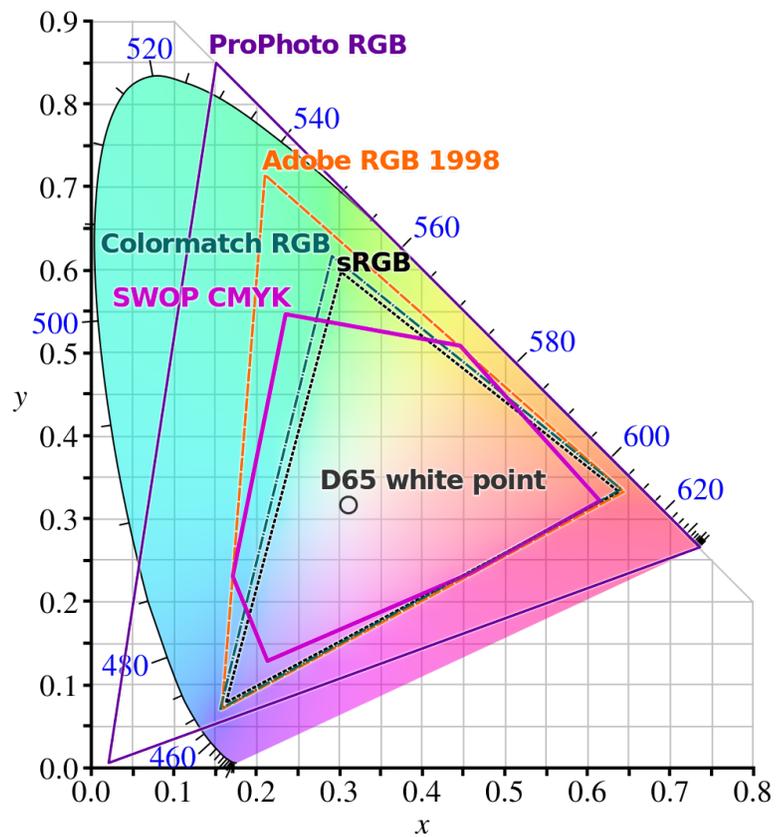


https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CMYK_farbwuerfel.svg

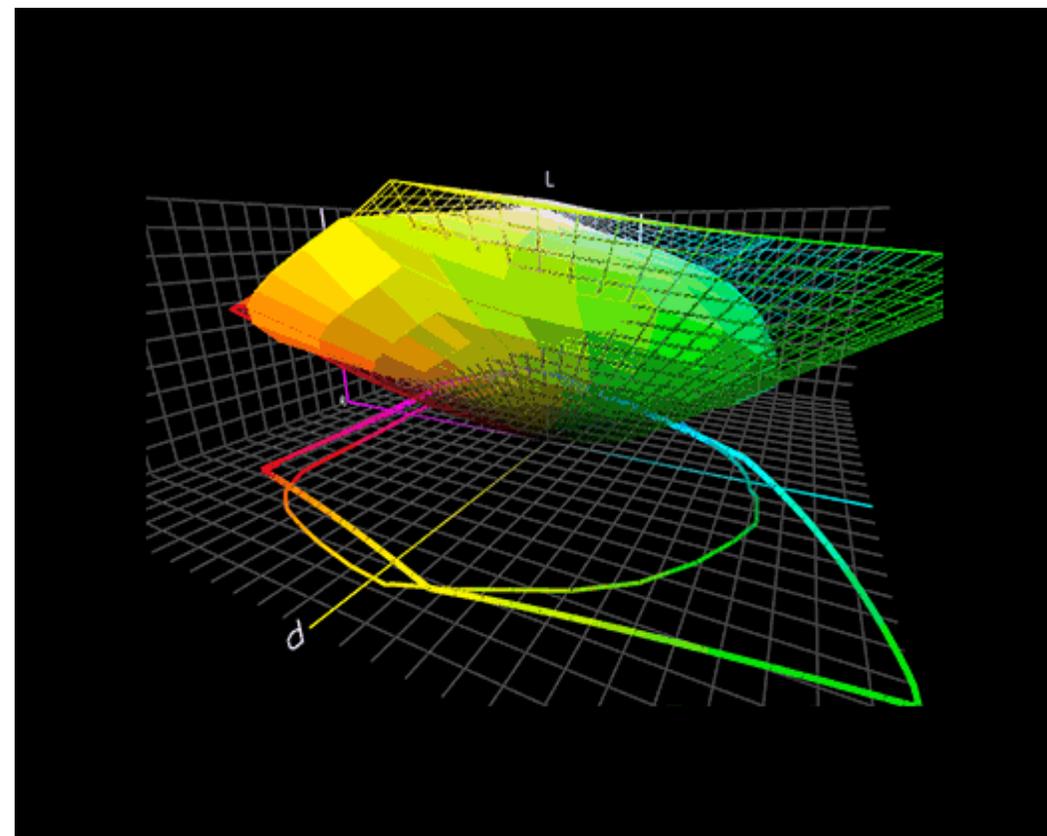
6.1.5 Konvertierung zwischen Farbmodellen

Die Konvertierung zwischen Farbmodellen erfolgt über die Modelle CIE XYZ oder CIE Lab als sogenannter Profile Connection Space (PCS).

Quellprofil (z.B. sRGB für ein Bild) und Zielprofil (z.B. CMYK für Druck) werden über das PCS miteinander verknüpft. Dies geschieht durch Erstellung einer Übersetzungstabelle (Link-Table), die die Umwandlung von Farbwerten zwischen den beiden Profilen ermöglicht.



Darstellung von Farbräumen in CIE 1931 Chromaticity Diagram



Darstellung eines Farbraums in CIE-LAB

6.2 Farbraum / Gamut / Farbumfang

Der Farbraum bezeichnet die Gesamtheit aller Farben, die ein bestimmtes **Gerät oder Medium** darstellen, wiedergeben oder aufzeichnen kann. Dies umfasst Monitore, Drucker, Scanner, Filmkameras und andere bildgebende Geräte.

RGB und CMYK Farbräume sind geräteabhängig. Der LAB-Farbraum ist geräteunabhängig.

Gamut Viwer

<https://www.chromix.com/colorthink/#download>

<https://www.imatest.com/support/download-gamutvision/>

<https://www.iccview.de/3d-color-space.html>

6.2.1 Farbprofil

Farbprofile enthalten Informationen über den Farbraum. Ein ICC-Profil (auch Farbprofil genannt; ICC steht für International Color Consortium) ist ein standardisierter Datensatz, der den Farbbereich eines Farbaufnahme- oder Farbwiedergabegeräts beschreibt, wie beispielsweise eines Monitors, Druckers oder Scanners.

6.2.2 Definierte Farbräume

Obwohl RGB-Farbräume geräteabhängig sind, existieren standardisierte RGB-Farbräume. Beispielsweise sind sRGB und AdobeRGB Farbräume, die auf dem RGB-Farbmodell basieren. Sie können jedoch nur einen Teil der theoretisch möglichen Farben des RGB-Modells abbilden.

Beispiele:

- Adobe RGB
 - Adobe entwickelte diesen Farbraum, um den CMYK-Farbraum eines Farbdruckers mit dem RGB-Arbeitsraum von Bildschirmen und anderen Ausgabemedien abzugleichen. Dadurch sollte sichergestellt werden, dass die auf dem Bildschirm dargestellten Farben auch im Druck korrekt wiedergegeben werden.
- sRGB
 - Dieser Farbraum wurde 1996 durch eine Zusammenarbeit von Hewlett-Packard und Microsoft Corporation entwickelt und von W3C, Exif, Intel, Pantone, Corel sowie vielen anderen Industrievertretern anerkannt.

6.2.3 Farbräume und Farbprofile in der Praxis

6.2.3.1 Gamut-Mapping

Gamut-Mapping ist ein wesentlicher Bestandteil des Farbmanagements. Es sorgt dafür, dass Farben, die in einem Gerät darstellbar sind, auf ein anderes Gerät übertragen werden können, ohne dass es zu großen Farbabweichungen oder -verlusten kommt.

Da verschiedene Geräte unterschiedliche Gamuts haben, kann es vorkommen, dass bestimmte Farben, die ein Gerät darstellen kann, von einem anderen Gerät nicht korrekt wiedergegeben werden können. Hier kommt das Gamut-Mapping ins Spiel.

Das Gamut-Mapping wird durch Farbprofile und Rendering Intents gesteuert. Ein Rendering Intent ist eine Methode, die festlegt, wie Farben von einem Gamut in einen anderen übertragen werden sollen.

6.2.3.2 Eingbettete Geräte Profile

Eingebettete Geräteprofile sind spezifische Farbprofile, die direkt in eine Datei eingebettet sind. Diese Profile enthalten Informationen darüber, wie Farben auf dem Gerät, mit dem die Datei erstellt wurde, dargestellt werden. Durch die Einbettung dieser Profile kann sichergestellt werden, dass die Farben korrekt interpretiert und angezeigt werden, wenn die Datei auf einem anderen Gerät geöffnet wird.

7 Auflösung

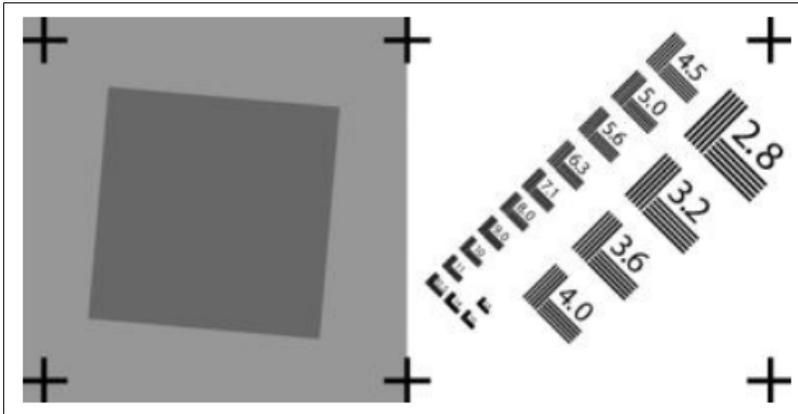
Die Auflösung beschreibt die Fähigkeit eines Aufzeichnungs- oder Ausgabesystem Details wiederzugeben. Bei der Aufzeichnung spielen Film (analog), Sensor und das Objektiv eine Rolle. Daher kann die Auflösung eines Bildes nicht einfach mit der Bildgröße in Pixel angegeben werden. Die tatsächliche Auflösung muss gemessen werden.

Characteristic	Resolution (limiting resolution)
Description	Measure of the ability of a camera system, or a component of a camera system, to depict picture detail (see ISO 12233).
Related standards	ISO 12233, ISO 16067-1
Measurement	Analysis of the edge spread function in a slanted edge target. Use the sampling frequency at 10 % modulation threshold for limiting resolution.
Reference target	The slanted edge structures in the target defined in Annex A are designed for SFR (spatial frequency response) measurements.
Aim	Reaching a frequency as high as possible but not higher than Nyquist (to avoid aliasing) for the 10 % modulation threshold (limiting resolution). Depending on the sampling rate the maximum resolution that can be reached varies. The resolution should be constant over the field of imaging and the difference in different directions (horizontal and vertical respectively slow scan and fast scan direction) should be as small as possible.
Notes	Also known as true optical resolution. Note that resolution measurements based on slanted edge analysis requires uncompressed and unsharpened data. The ratio between the limiting resolution and the theoretical Nyquist limit is based on the obtained sampling rate.

7.1 Messung - Sampling Frequency Response (SFR)

„The measurement of resolution is a measurement of the spatial frequency response (SFR*). This function describes how well the system under test can reproduce a range of spatial frequencies on a scale from 0% (complete loss of information) to 100% (perfect reproduction without data loss).“ <https://www.image-engineering.de/library/image-quality/factors/1055-resolution>

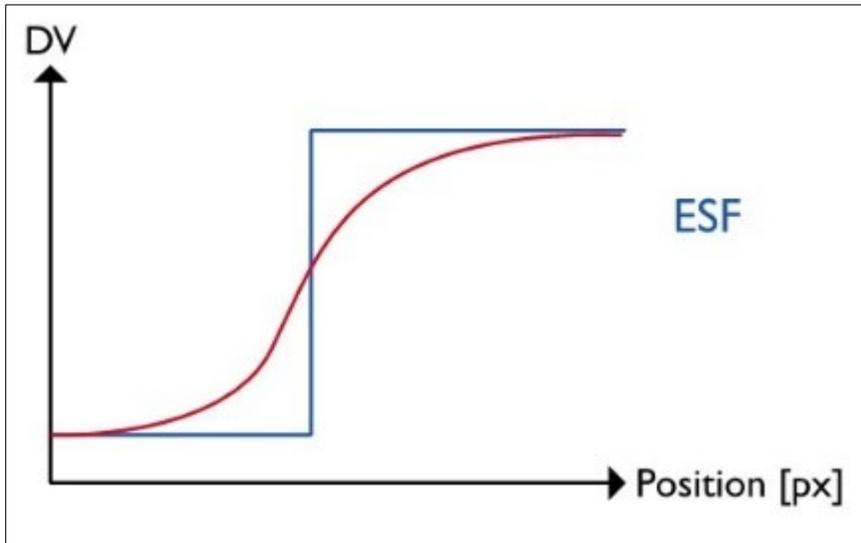
Teststruktur: Slanted Edges



Universal Test Target, Technical Specification, 2009.

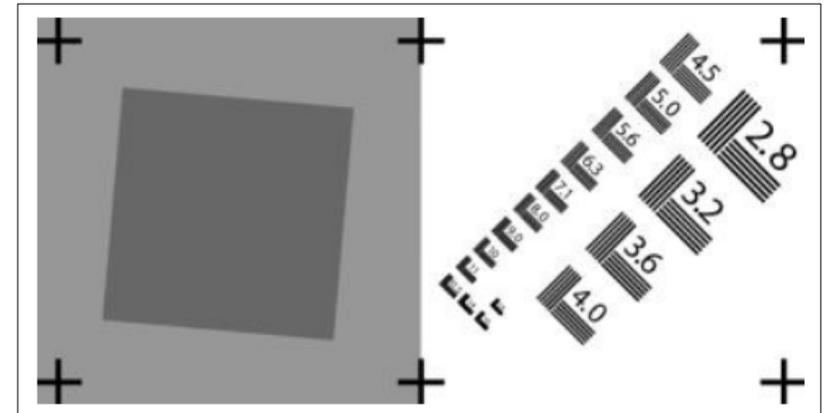
1.) Obtain the edge spread function

„The edge spread function (ESF) describes how the system under test reproduces an edge. In other words, it shows the transition from the low-intensity to the high-intensity part of an edge in the image.“



<https://www.image-engineering.de/library/image-quality/factors/1055-resolution>

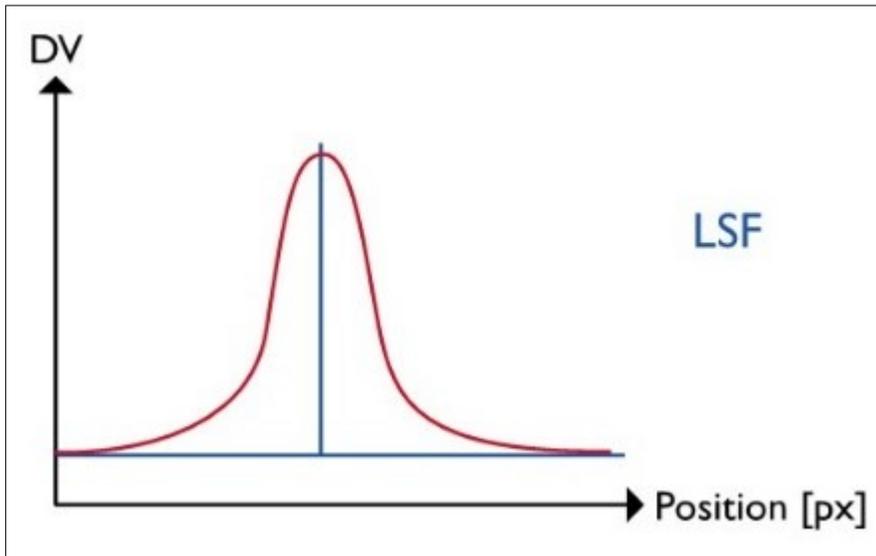
DV = data value



Universal Test Target, Technical Specification, 2009.

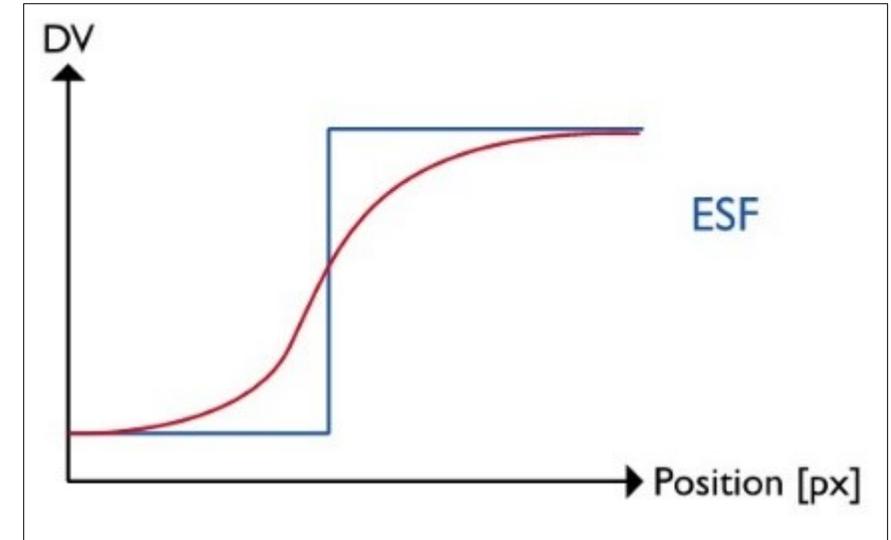
2.) Obtain the line spread function

„The line spread function (LSF) is simply the first derivative of the ESF. In some traditional lens test stations, the LSF is directly obtained without first knowing the ESF by reproducing a slit. While the procedure has some construction benefits, it is not as flexible as the slanted edge approach.“



<https://www.image-engineering.de/library/image-quality/factors/1055-resolution>

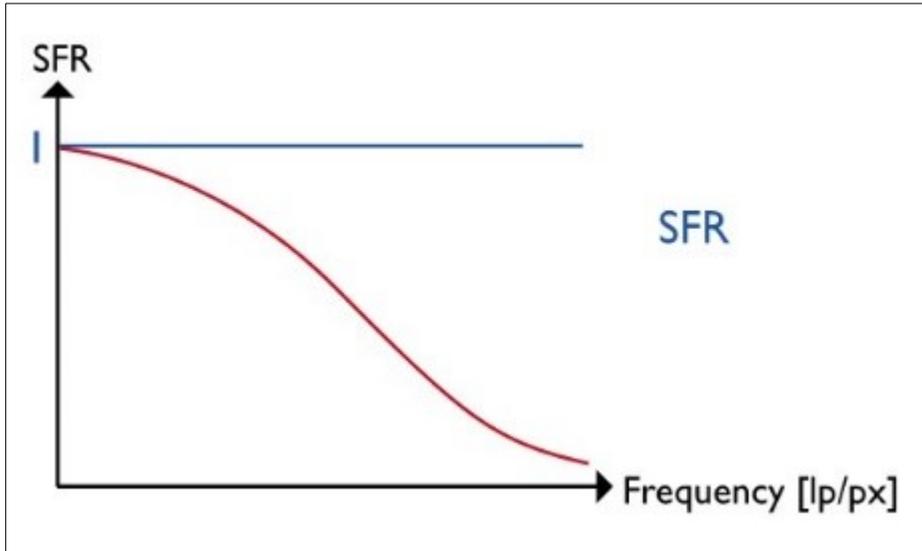
Die erste Ableitung der ESF – gibt also Steigung des Graphen an.



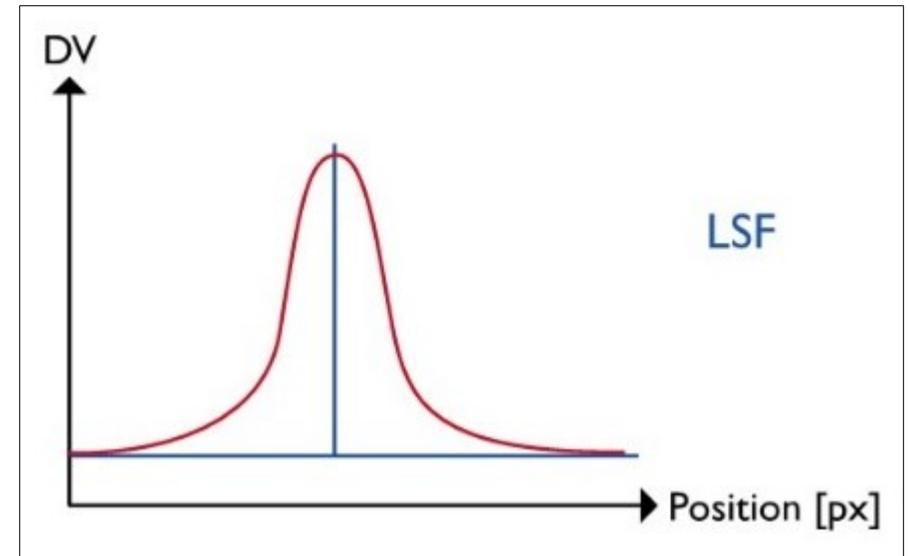
<https://www.image-engineering.de/library/image-quality/factors/1055-resolution>

3.) Obtain the spatial frequency response

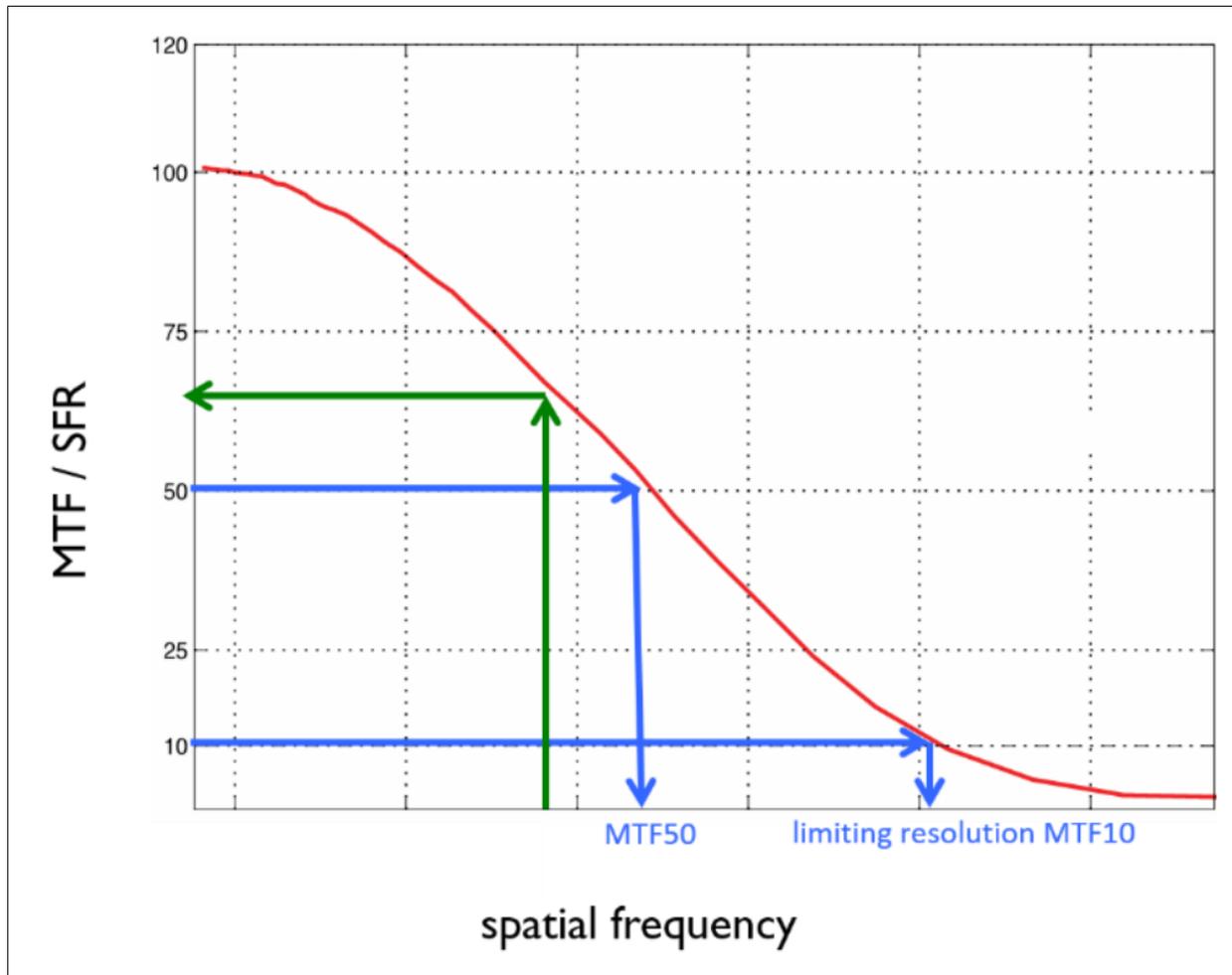
The SFR is finally calculated as the Fourier transformation of the LSF. A Fourier transformation converts a signal from the time/spatial domain into the frequency domain. Meaning that the signal is no longer described by “intensity vs. position” but by showing the combination of various spatial frequencies that the signal requires.



<https://www.image-engineering.de/library/image-quality/factors/1055-resolution>



<https://www.image-engineering.de/library/image-quality/factors/1055-resolution>



<https://www.image-engineering.de/library/image-quality/factors/1055-resolution>

7.2 Angaben Scanner

1. **Nominelle Auflösung:** Dies bezieht sich auf die Auflösung, die ein System oder ein Sensor nominell oder theoretisch haben sollte. Zum Beispiel könnte die nominelle Auflösung einer Kamera die Anzahl der Pixel in einem Bild sein, wie z. B. 12 Megapixel.
2. **Interpolierte Auflösung:** Bei der Interpolation wird die nominelle Auflösung durch Software- oder Hardwaretechniken erhöht, um eine höhere Auflösung zu erzielen. Dies geschieht oft durch Hinzufügen von zusätzlichen Pixeln basierend auf den benachbarten Pixeln.
3. **Effektive Auflösung:** Dies bezieht sich auf die tatsächliche Auflösung, die in einem Bild oder einer Abbildung erreicht wird, nachdem alle relevanten Faktoren berücksichtigt wurden, wie z. B. optische Unschärfen, Rauschen oder Verarbeitungsartefakte.

„Den spannendsten Aspekt des 10T, also seine hohe Auflösung, haben wir natürlich auch untersucht. Als Testverfahren haben wir die Schärfebestimmung mit einem USAF 1951 Testtarget vorgenommen. [...] Die im Datenblatt des Reflecta 10T angegebenen 10.000 spi sind keine interpolierte, also keine künstlich hochgerechnete Auflösung. Es handelt sich vielmehr um die nominelle optische Auflösung, also um die Auflösung, mit der der Scanner die Vorlage tatsächlich abtastet. Mit der effektiven Auflösung, also der Auflösung die der Scanner dann tatsächlich erreicht, stimmt dieser Wert aber nicht zwingend überein. Der Vorgänger ProScan 7200 hatte bei einer nominellen Auflösung von 3600 spi noch eine effektive Auflösung von 2597 spi. Hier klafften die angegebenen Leistungsdaten und der tatsächlich erreichte Wert also nicht allzuweit auseinander. Beim Reflecta 10T ist das anders. Die nominelle Auflösung von 10.000 spi verfehlte unser Scanner recht deutlich, wir maßen 3649 spi bei voller Auflösung. Verglichen mit dem Vorgänger hat sich die Auflösung also beachtlich verbessert.“⁵

5 <https://www.heise.de/news/Filmscanner-Reflecta-10T-137-Megapixel-aus-Kleinbild-Dias-2293307.html?seite=3>

Übersicht	<u>Spezifikationen</u>	Funktionsbeispiele	Zubehör (inklusive)	2
• Optical resolution [dpi]	4000			
• Film type(s)	35mm, 35mm film strips, APS (IX 240) film and glass slides for microscopes			
• Interface	USB 2.0			
• Density range	4.8			
• Illumination source	R, G, B and infrareded (IR) LEDs			
• Lens Optics: Elements (ED elements) / groups	7 / 3			
• Approx. scan time (35mm, 2900dpi, noCMS, Win PC) [sec]	20			
• Approx. dimensions (W x H x D) [mm]	96 x 172 x 315			
• Approx. weight [kg]	3			

https://web.archive.org/web/20100912163728/http://www.nikon.de/de_DE/product/discontinued/film-scanners/2009/super-coolscan-5000

Technik	
Scannertyp	Flachbett-Scanner
Scanauflösung	6.400 dpi (horizontal x vertikal)
Optische Auflösung	Main 6.400 dpi x Sub 9.600 dpi
Optische Dichte	4 Dmax
Scanbereich	216 mm x 297 mm (horizontal x vertikal)
Papierformate	A4 (21.0x29,7 cm)
Farbtiefe	Eingang: 48 Bits Farbe , Ausgang: 48 Bits Farbe
Kategorie	Hohe Auflösung

https://www.epson.de/de_DE/produkte/scanner/consumer/epson-perfection-v750-pro/p/1760?pid=1760

Characteristic	Sampling rate (obtained)
Description	Sampling rate in pixels per unit of space determined from imaging a test chart with known geometric structures.
Related standards	
Measurement	Determine the number of pixels for a block with a given geometric size in the image of a test chart and convert to number of pixels per inch.
Reference target	Checkerboard structure on Target defined in Annex A .
Aim	The obtained sampling rate should be as close as possible to the claimed sampling rate provided in the metadata of the image file.
Notes	<p>Also known as sampling frequency.</p> <p>Sampling rate should not be confused with limiting resolution.</p> <p>The sampling rate of a digital reproduction can be used to calculate the size of the physical record if stored in an uncompressed format.</p> <p>The sampling rate limits the maximum possible resolution of an imaging system. According to the Nyquist theorem, it is necessary to have at least two detecting points (pixels) on a cycle of a harmonic signal to be able to reproduce the signal. In other words, to scan a black-and-white test structure, you should have at least one pixel for the white part and one pixel for the black part to be able to reproduce the structure.</p>