

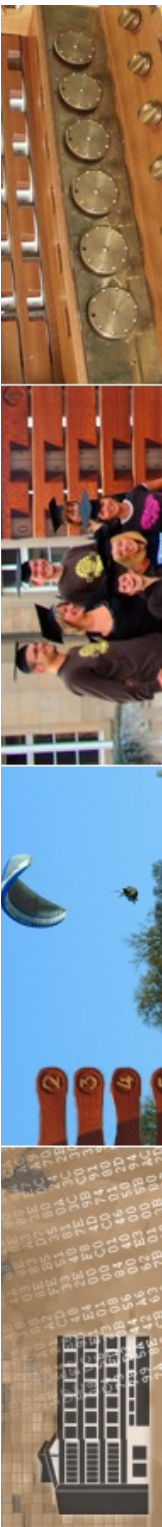


Digitale Fotografie für das Web MEINF4330

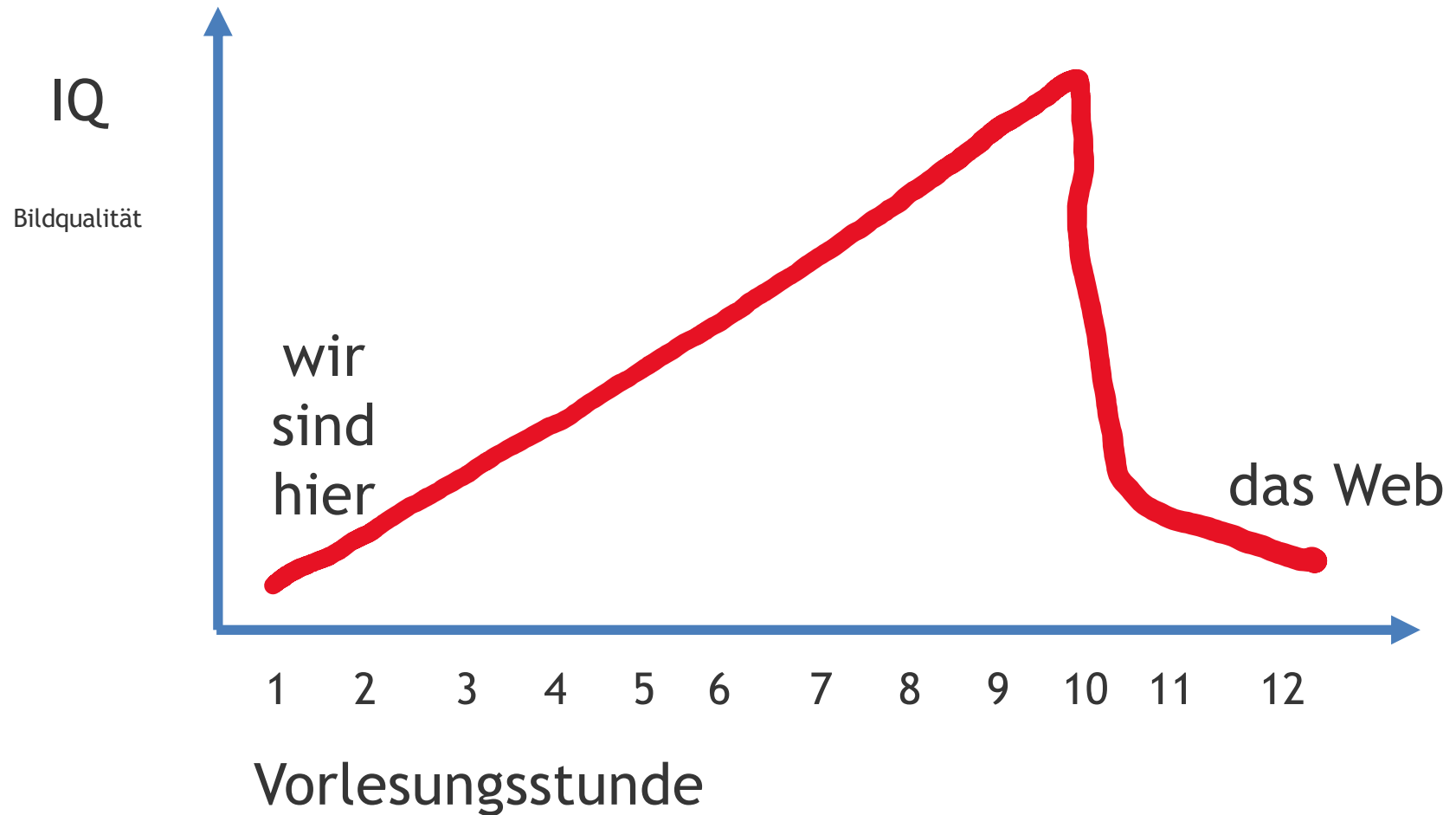
Grundlagen der Fotografie I Physik

30.10.2025

Version 1.0

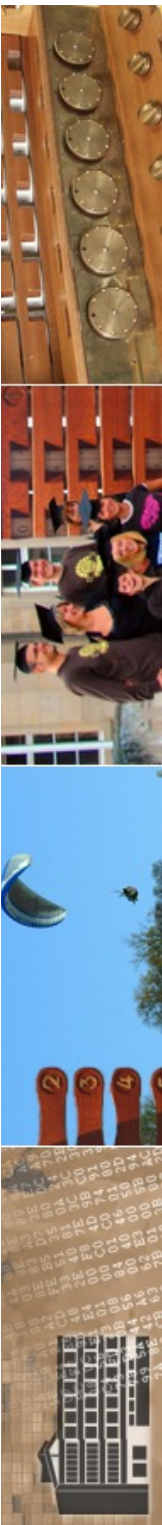


der “rote Faden“



die nächsten Inhalte

- Bauprinzipien von Kameras - (fast) egal ob analog oder digital
- der Weg zur korrekten Aufnahme
 - Fokussieren
 - Belichten
 - Blende
 - Zeit
 - Empfindlichkeit



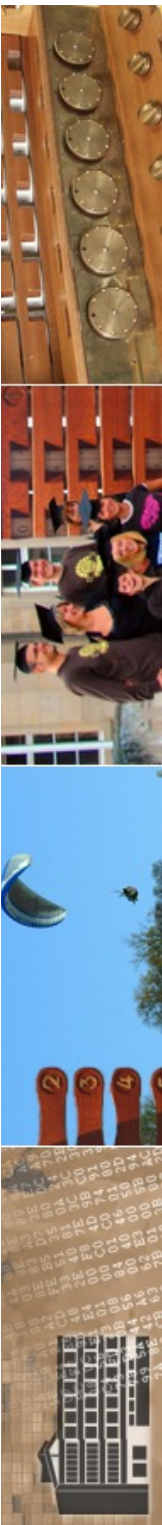


wir wollen das verstehen



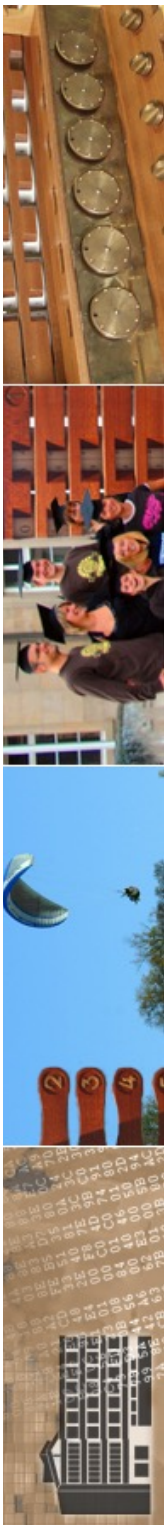
analog oder digital

- analoge Kamera: Belichten auf Film (Rollfilm), der danach entwickelt (Verstärken der Belichtung) und fixiert (dauerhaft machen) gemacht werden muss
- digitale Kamera: statt Film lichtempfindlicher Sensor, der direkt eine Aufnahme datei bereit stellt
- **gleiche Grundprinzipien!**



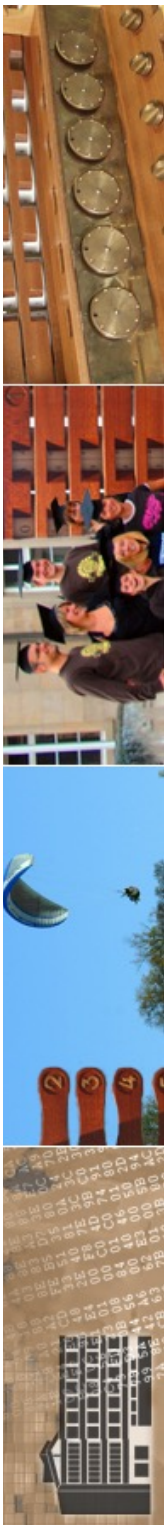
remember...

- Kleinbild: 36mm x 24mm (3 : 2)
 - Mittelformat: „größer als Kleinbild“ 😊
 - quadratisch, 5 : 4 oder 4 : 3
 - APS-C: etwa halbes Kleinbild (3 : 2)
 - Four-Thirds: 17,3mm x 13mm (4 : 3)
 - Micro-Four-Thirds
 - kleines Auflagenmaß (19mm)

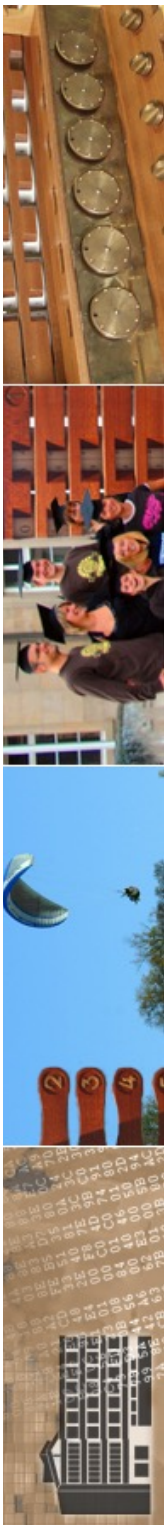


Prinzipien der Kameragehäuse

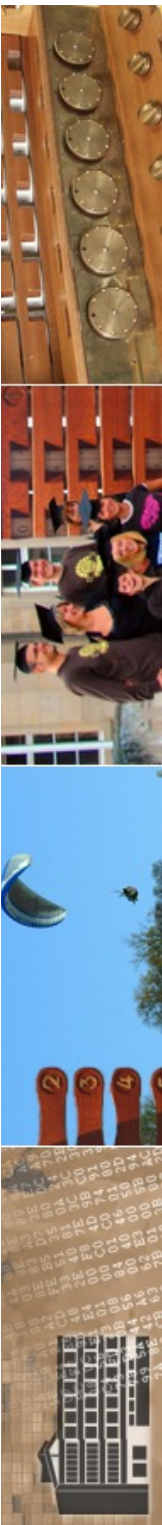
- verschiedene grundlegende Architekturen
 - Laufbodenkamera
 - Sucherkamera (RF: RangeFinder)
 - Spiegelreflex (SLR: Single Lens Reflect)
 - weitere Sondertypen wie die „zweiäugige Rollei“



Laufbodenkamera (ab ca. 1880)



Linhof (München)

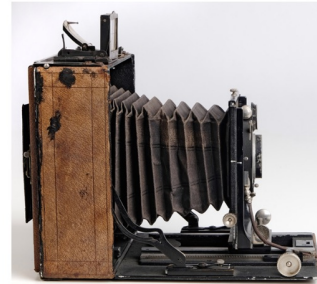




1910: Linhof Ganzmetall-Kamera



1911: V. Linhof München, 9x12
Hochformat



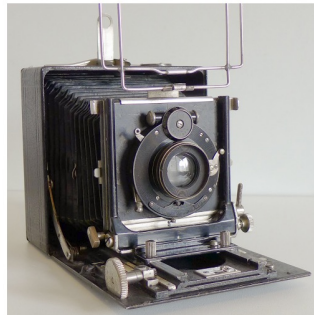
1911: "V. Linhof München" 9x12 cm
Quadrat



1927: Linhof 10x15, Quadrat



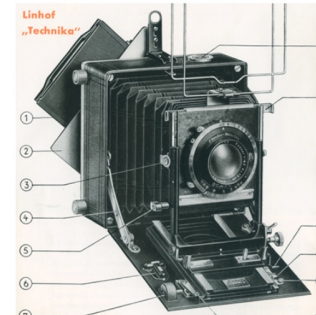
1934: Ur-Technika



1934ca Linhof Kamera #2031



1936: Linhof Standard



1936: Linhof Technika



1946: Technika III 9x12



1956: Linhof Technika Press 6x9



1956: Super Technika IV 9x12



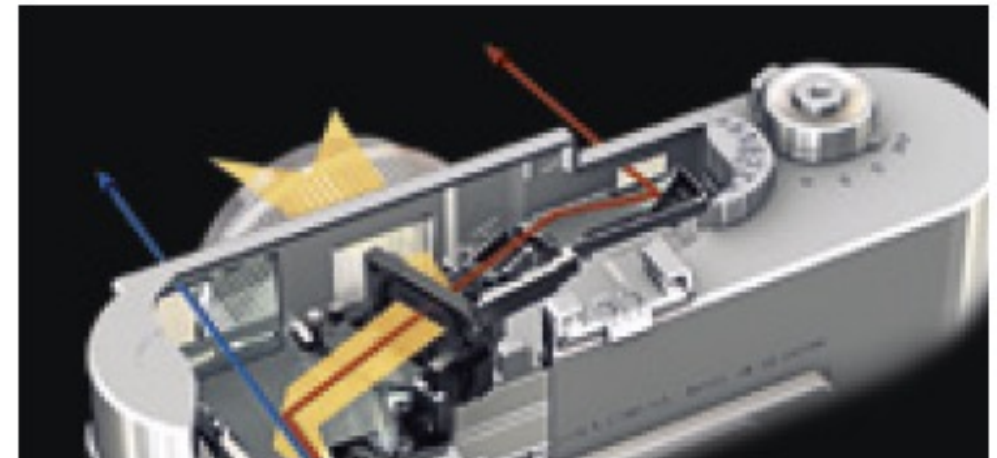
1962: Super Technika IV 6x9, Gold



RF: Range Finder (Sucherkamera)



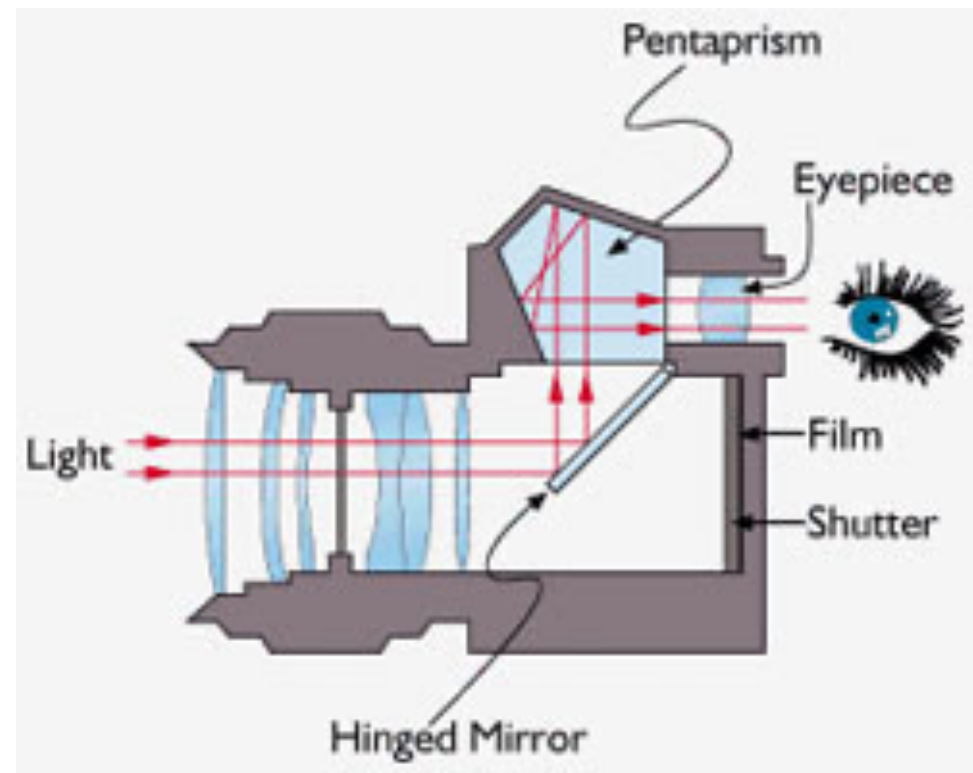
RF

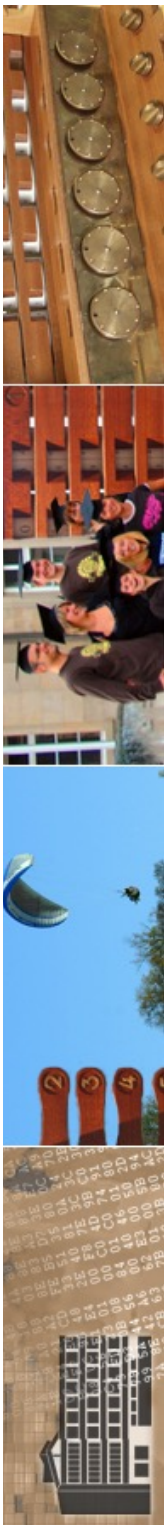


SLR: Single Lense Reflex (Spiegelreflex)



2000: (D)SLR





Retro Review: 23 years ago, Nikon's groundbreaking D1 DSLR changed everything

165

Published Aug 30, 2022 | [Jeremy Gray](#)

[Share](#) [Tweet](#)

- https://www.dpreview.com/news/8245234562/retro-review-23-years-ago-nikon-s-groundbreaking-d1-dslr-changed-everything?utm_source=self-desktop&utm_medium=marquee&utm_campaign=traffic_source



2013: MILC/DSLM



Sony 2013

20.10.2015: Leica SL 601



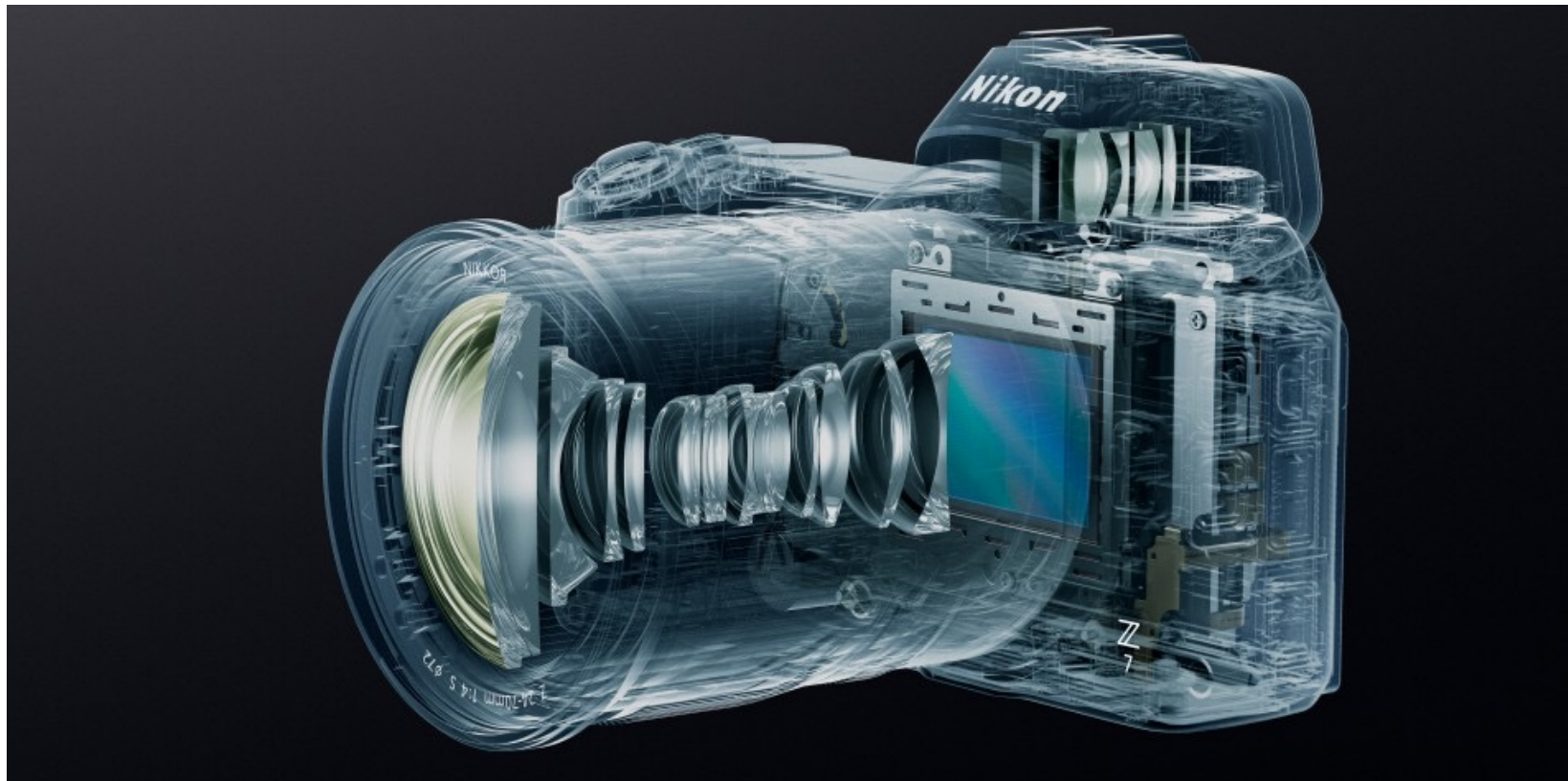
MILC/DSML



MILC/DSML



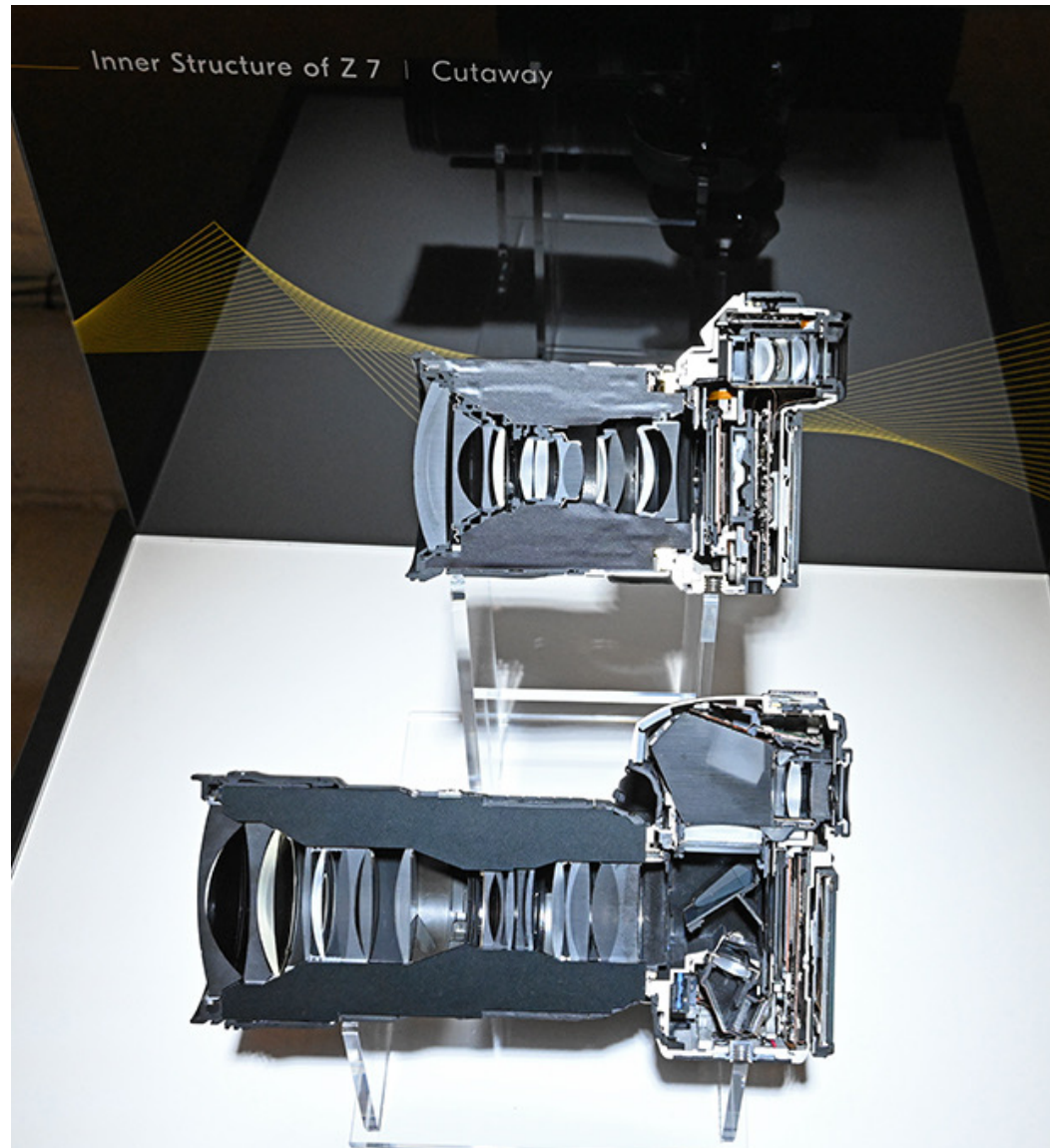
MILC/DSLM

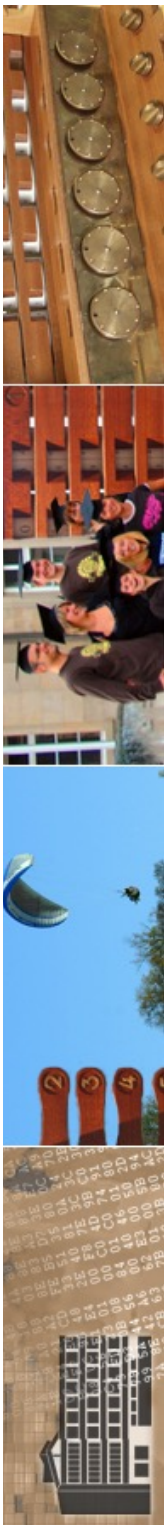


MILC/DSLM



Vergleich DSLR/MILC (DSLM)





Hohe Auflösung und Performance wieder vereint Sony Alpha 7R V mit schnellerem Prozessor und AI-Autofokus präsentiert



2022-10-26 Mit der neuen Sony Alpha 7R V macht der japanische Elektronikkonzern dem 61-Megapixel-Sensor dank aktualisiertem Bildprozessor ordentlich Beine, auch die Bildqualität soll davon profitieren. Für den Autofokus steht sogar ein neuer AI Chip zur Verfügung, so dass dieser dank intelligenter Motiverkennung alle bisherigen Alpha-Kameras in den Schatten stellt. Selbst der Sensor-Shift-Bildstabilisator wird auf das Niveau der Konkurrenz gehoben und soll nun bis zu acht Blendenstufen längere Belichtungszeiten erlauben. (Benjamin Kirchheim)



*Der rückwärtig belichtete Kleinbildsensor der Sony Alpha 7R V löst hohe 61 Megapixel auf und ist zur Bildstabilisierung beweglich gelagert. Bis zu acht Blendenstufen längere Belichtungszeiten sollen damit möglich sein.
[Foto: Sony]*

Die Sony Alpha 7R III glänzte einst (2018) mit der Vereinigung von hoher Auflösung (42 Megapixel) und Geschwindigkeit (10 Bilder pro Sekunde). Das Nachfolgemodell Alpha 7R IV hob zwar anderthalb Jahre später die Auflösung mit 61 Megapixeln auf das nach wie vor führende Niveau, dafür gab es jedoch Einbußen bei der Geschwindigkeit, denn der Pufferspeicher der Kamera und das Speicherkarteninterface kamen einfach nicht mehr mit. Auch die Bildqualität war im Gegensatz zum Vorgängermodell nur bei niedrigen Empfindlichkeiten gut. Unterm Strich war der Bildprozessor angesichts der Datenmengen am Limit.

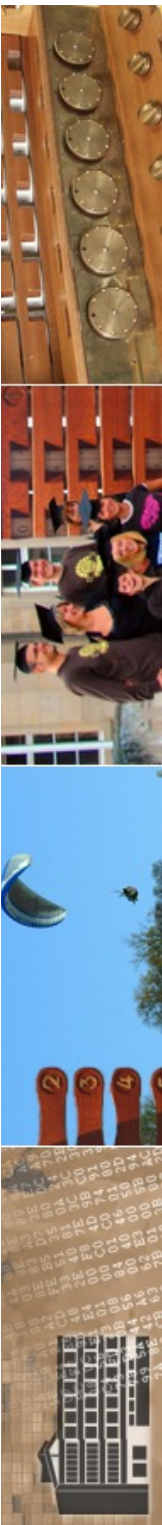
Das soll sich nun mit der Sony Alpha 7R V ändern, die denselben rückwärtig belichteten Vollformat-Bildsensor mit 61 Megapixeln Auflösung besitzt wie das Vorgängermodell. Da jedoch nun wie in der Alpha 1 zwei Bionz XR Bildprozessoren statt eines Bionz X zum Einsatz kommen, stimmen Performance und Pufferspeicher wieder: 583 komprimierte Raw-Dateien soll die Alpha 7R V am Stück bei zehn Bildern pro Sekunde aufzeichnen können, im JPEG-Format sollen es sogar über 1.000 Bilder sein. Apropos Compressed Raw: Die Kompression erfolgt nun auf Wunsch verlustfrei. Zudem können parallel in der Auflösung verkleinerte und gecropte Raw-Dateien aufgezeichnet werden, also beispielsweise 26 Megapixel bei voller Sensorgröße und 26 Megapixel mit 1,5-fachen Crop parallel.





Physik der Fotografie I

- Begriff des Lichtes
- Wellen und Strahlen
- Linsen
- Objektive
 - Fokussieren
 - Blende



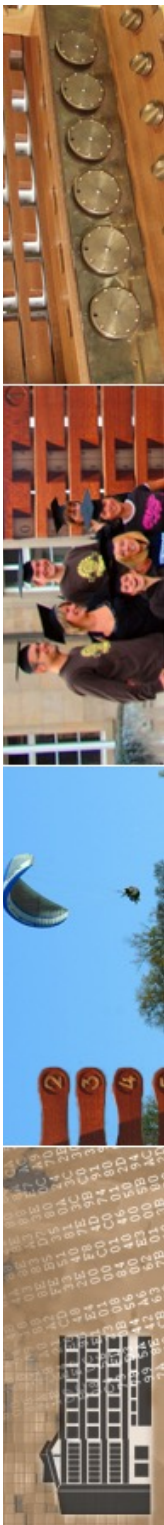
ein Name

- Max Berek, 1886 - 1949
- Klassiker:

*Grundlagen der
praktischen Optik, 1930*

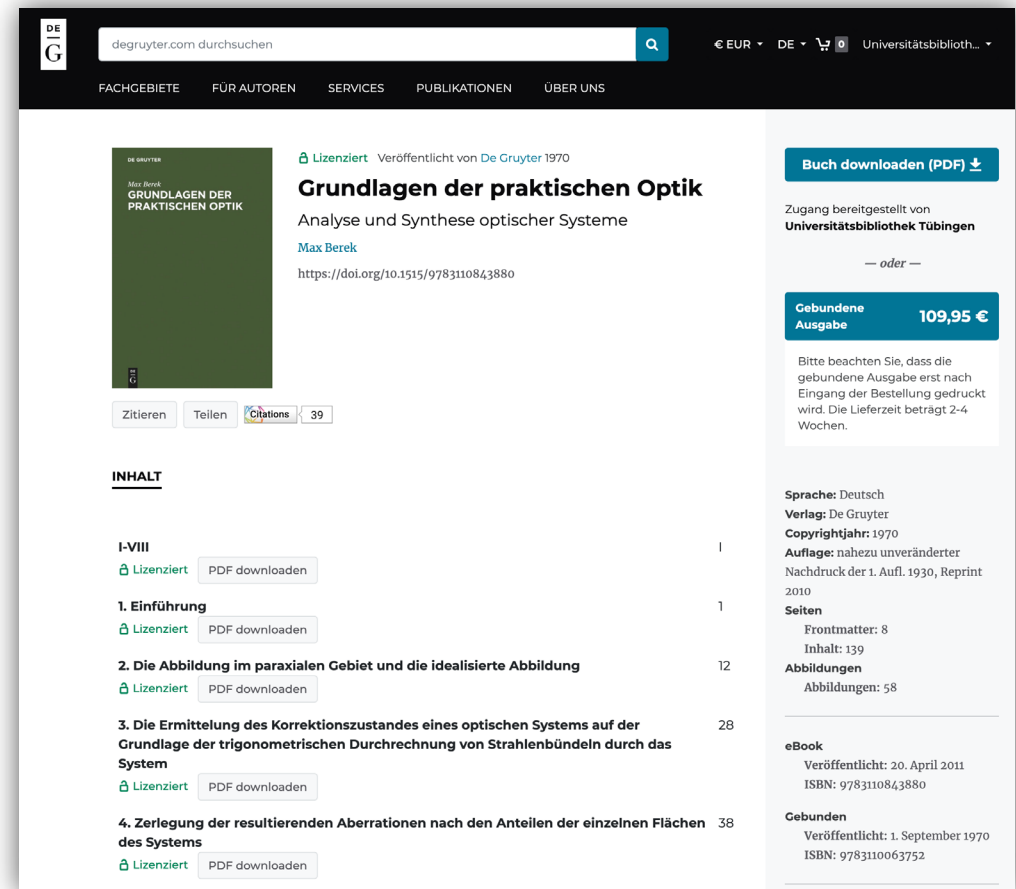


Max Berek
(1886-1949)



Grundlagen der praktischen Optik

- Wetzlar, Juni 1939
- zahlreiche Nachdrucke, zuletzt De Gruyter 2011



- Volltext über UB Tübingen zugänglich
<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/9783110843880/html>



Grundlagen der praktischen Optik

Analyse und Synthese optischer Systeme

Von

Dr. M. Berek

Honorarprofessor in der philosophischen Fakultät
der Universität Marburg

wissenschaftl. Mitarbeiter in den optischen Werken
E. Leitz, Wetzlar

Nahezu unveränderter Nachdruck
der 1. Auflage 1930

mit einem Nachwort von Prof. Dr. H. Marx, Wetzlar

Mit 58 Figuren im Text und auf einer Tafel



Walter de Gruyter & Co.

vormals G. J. Göschen'sche Verlagsbuchhandlung — J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung
Georg Reimer — Karl J. Trübner — Veit & Comp.

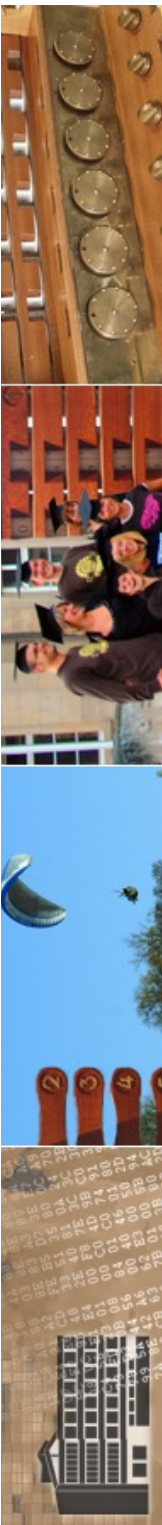
Berlin 1970



Licht

- was ist „Licht“?

– Licht ist elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge im Bereich von 350 bis 750 Nanometer (nm)



die Grundlage des Lichts

- James Clerc Maxwell

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \left(\mathbf{j} + \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

Basics

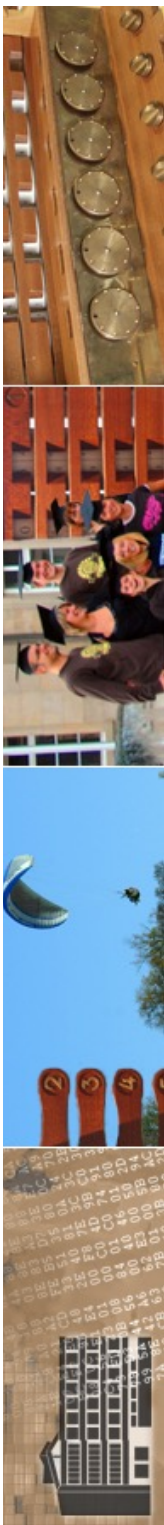
- Frequenz und Wellenlänge des Lichts

$$c = \lambda \cdot \nu$$

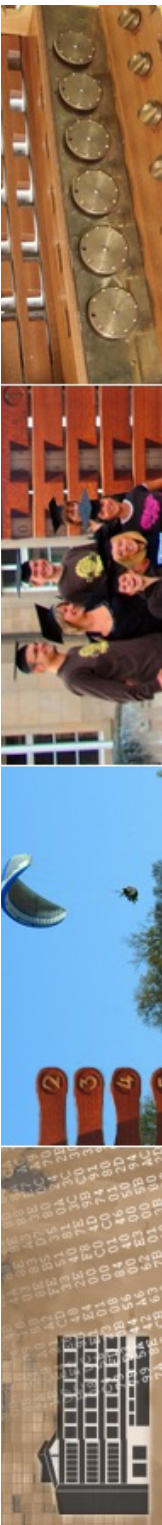
mit $c = 2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$

„Farbe ist die Frequenz des Lichtes“

Farbe	Wellenlänge	Frequenz
Violett	400 nm	$7,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$
Blau	450 nm	$6,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$
Grün	550 nm	$5,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$
Orange	600 nm	$5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$
Rot	650 nm	$4,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

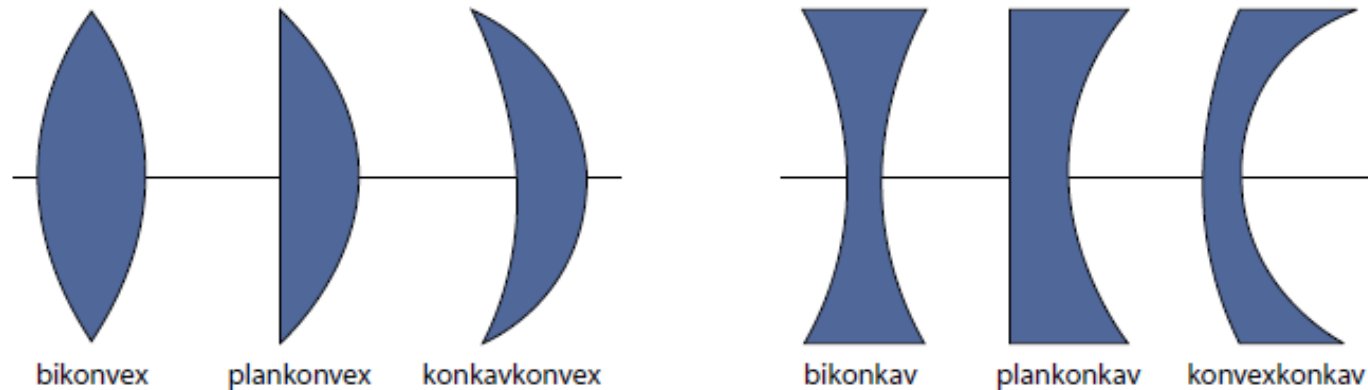


Pink Floyd...



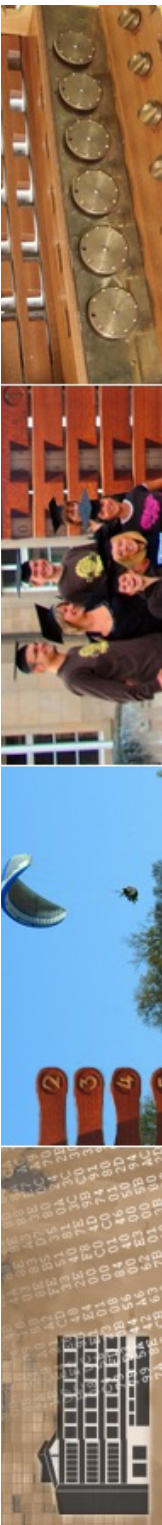
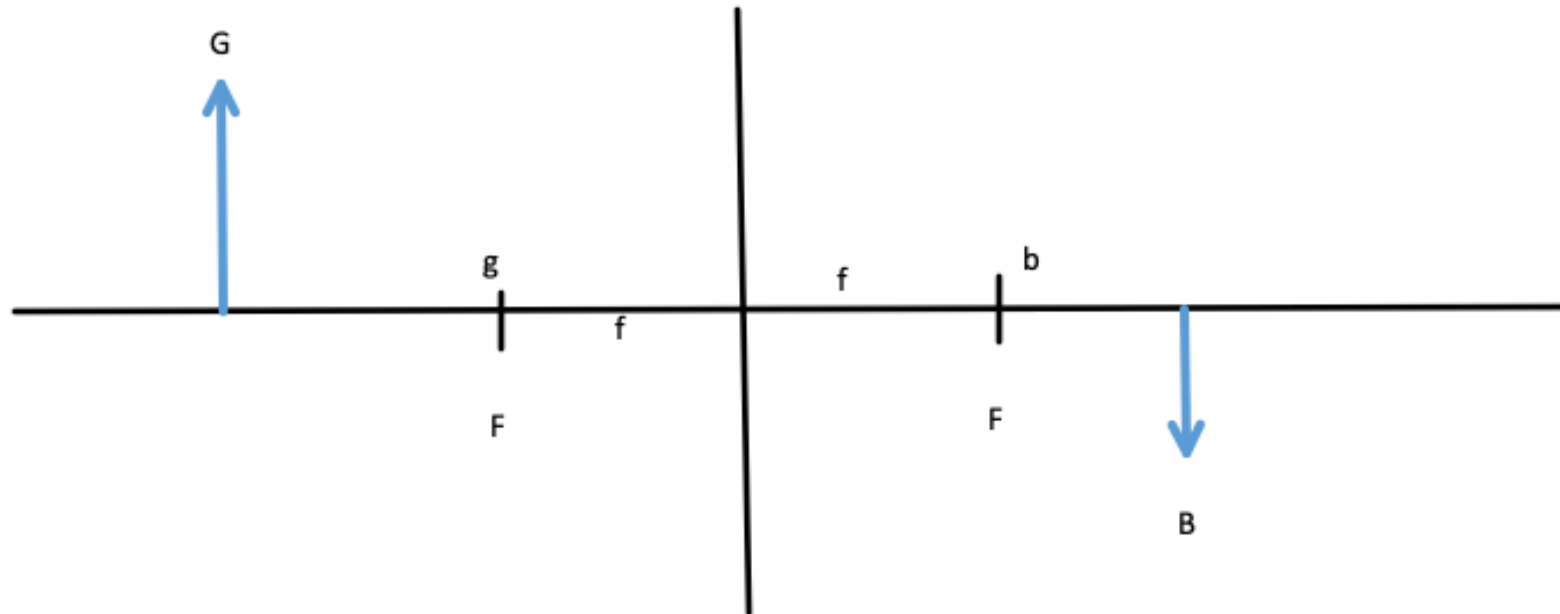
Wellen und Strahlen

- Wellenoptik versus Strahlenoptik
 - Reduzierung von Wellenoptik zu Strahlenoptik
 - zentraler Einstieg: Linsengesetze

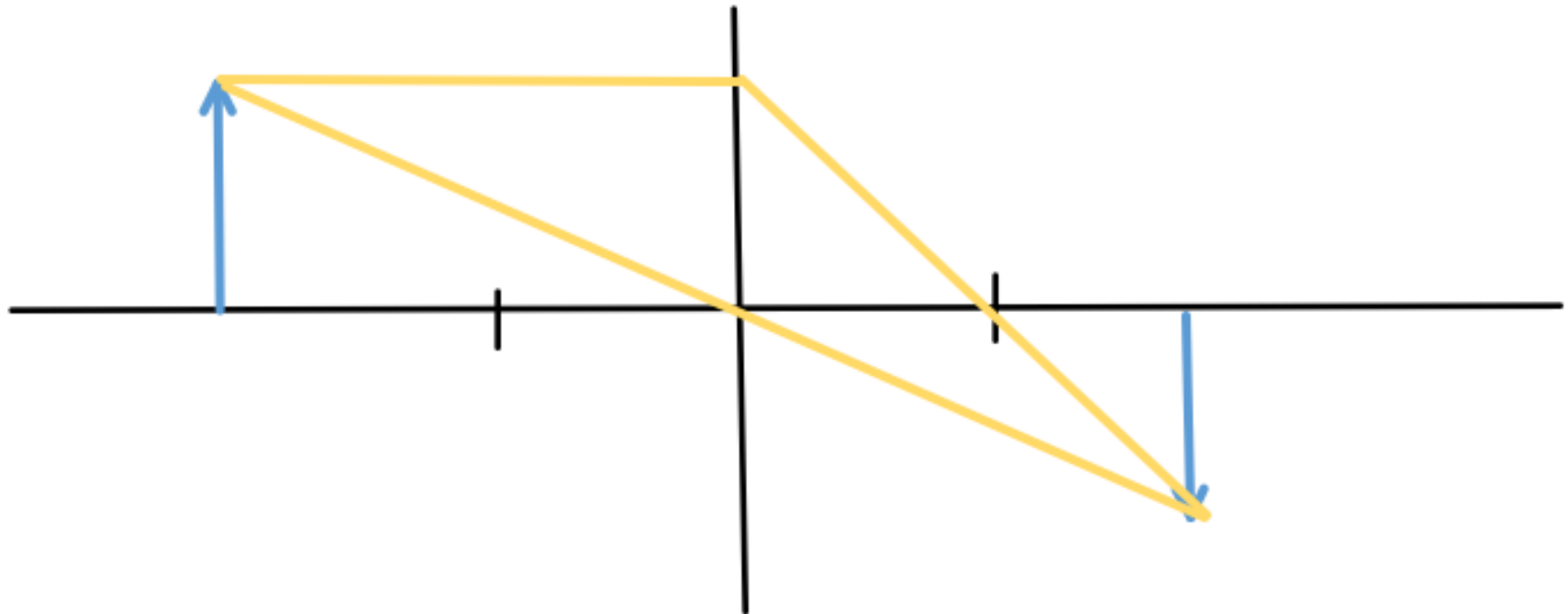




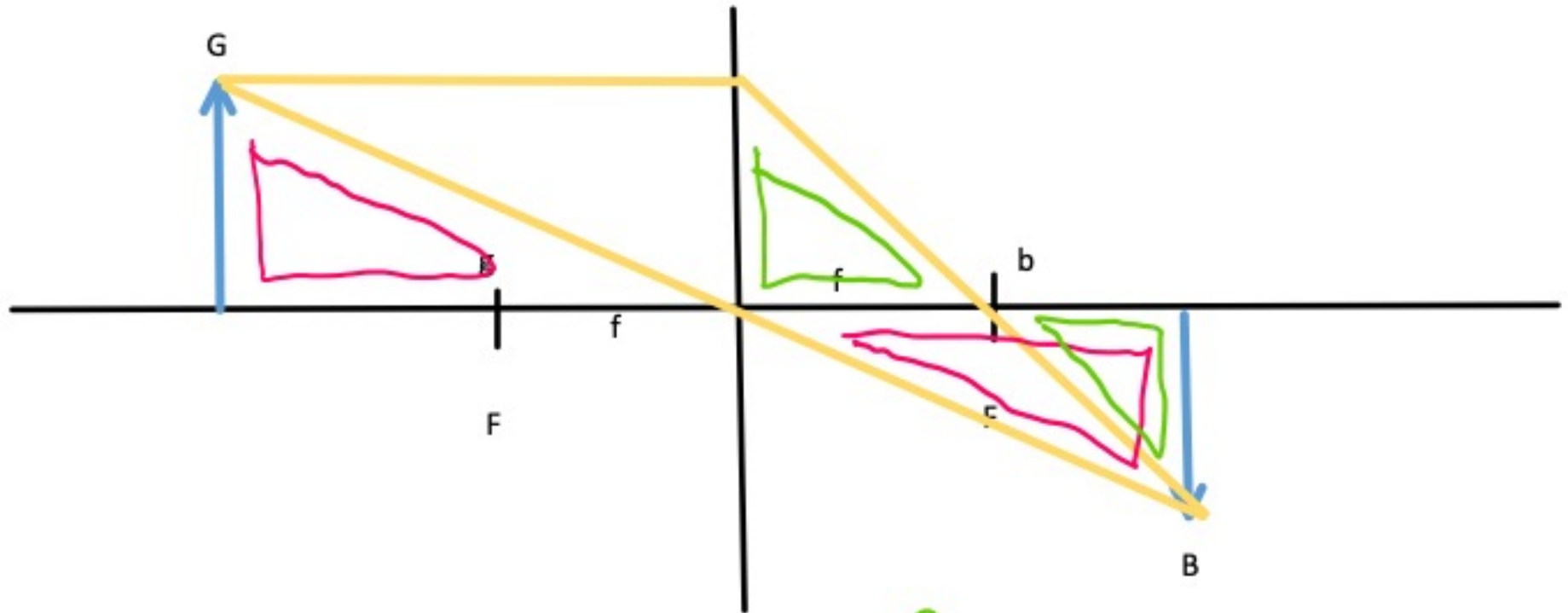
Linsengleichung



Linsengleichung



Linsengleichung

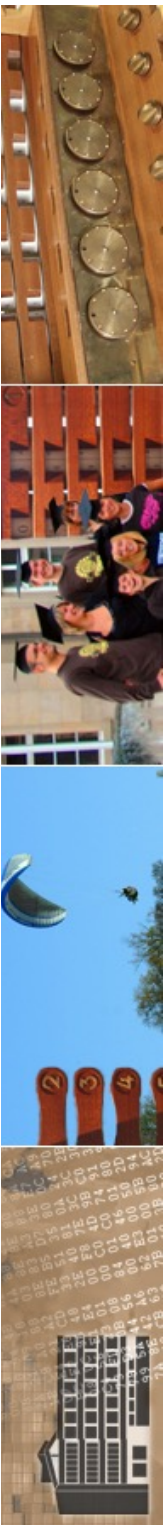


$$\frac{G}{f} = \frac{B}{b}$$

$$\frac{G}{f} = \frac{B}{b-f}$$

Linsengleichung

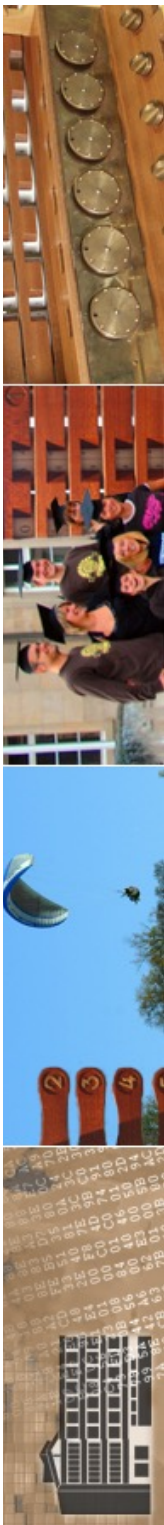
$$\Rightarrow \frac{B}{f} = \frac{b-f}{f} = \frac{b}{f} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{b}{f} = 1 + \frac{b}{f}$$



Linsengleichung

- f: Brennweite
- g: Gegenstandsweite
- b: Bildweite

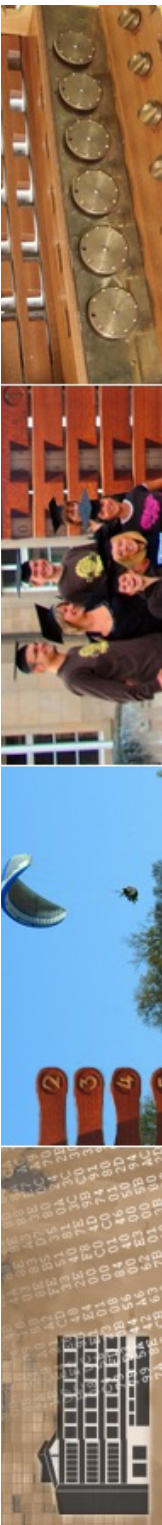
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$





Linsengleichung II

- $g \rightarrow \text{unendlich: } b = f$
- Entfernungsskala eines Objektivs: $b + g$
- **Fokussierung ist der Ausgleich der veränderten Gegenstandsweite gegenüber unendlich durch Verschieben des Objektivs von der Bildebene weg**



Fokussierung und Brennweite

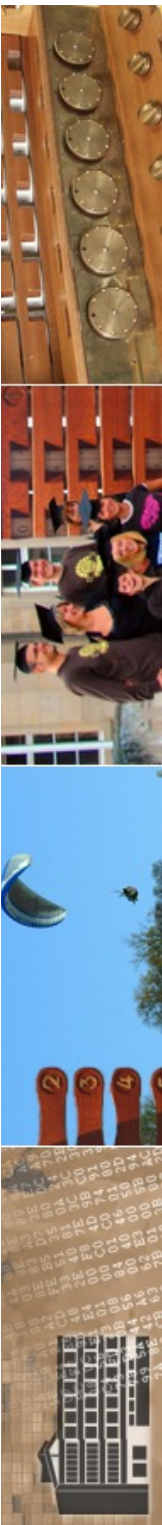
- Beispielrechnung

Brennweite in mm	Gegen- stands- weite	Bildweite
$f_A = 20$	∞	20 mm
	1 m	20,4 mm
$f_B = 200$	∞	200 mm
	1 m	250 mm

- Objektive mit kleinerer Brennweite benötigen eine kleinere Fokussierung

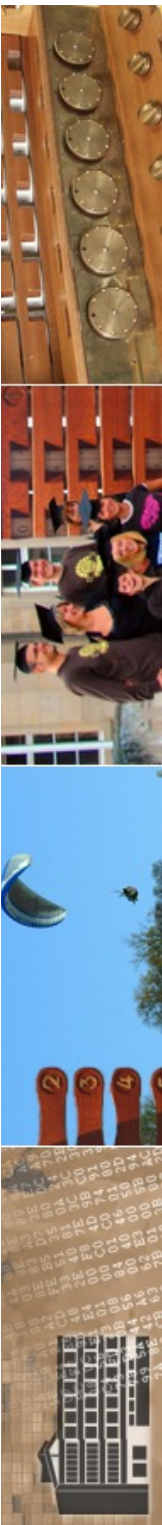
Autofokus

- Autofokus
 - aktiver AF
 - passiver AF
- Kontrasterkennung: CDAF
 - scharf: höchster Kontrast
- Phasenerkennung: PDAF
 - separates AF-Modul steuert Objektiv



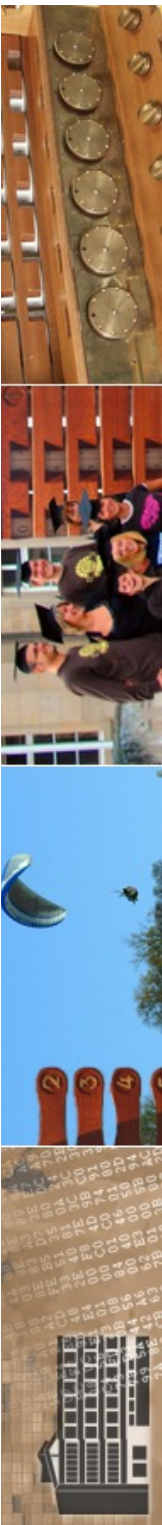
CDAF

- CDAF „erahnt“ die notwendige Fokussierrichtung aufgrund Datenbank mit Vergleichsbildern
- das geht auch manchmal schief... „Hunting“
- neuer Ansatz bei CDAF:
DFD Depth of Defocus
- „Die DFD (Depth-of-Defocus)-Technologie berechnet die Entfernung zum Motiv durch die Auswertung von zwei Aufnahmen mit unterschiedlicher Scharfeinstellung. Das geschieht 240 Mal pro Sekunde quasi in Echtzeit. Verbesserte Genauigkeit und Schnelligkeit des Systems machen sich besonders bei längeren Brennweiten bemerkbar.“ (Panasonic)



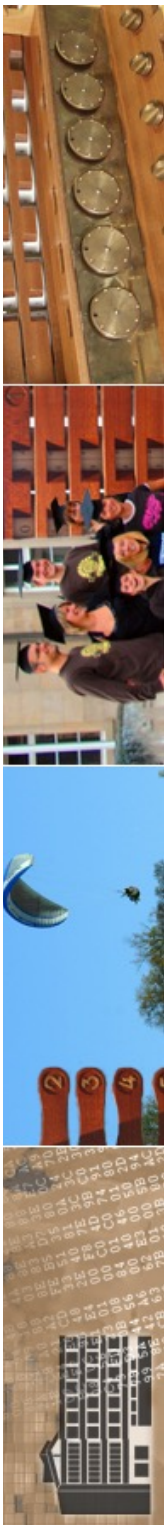
PDAF

- "Phasenerkennungsautofokus" ist ein *schneller* Autofokus, der zwei leicht versetzte Halbbilder in einem separaten Sensorpaar miteinander vergleicht. Anhand der Phasenverschiebung der Halbbilder errechnet der Autofokus die optimale Objektivposition schon vor der Fokussierung.
- Das System weiß, in welche Richtung fokussiert werden muss (CDAF nicht)
- für Video und Sport besonders wichtig



neuer Ansatz: Eye AF

- automatisches Fokussieren *auf ein Auge*
 - *nur* mit MLC möglich
 - <https://www.sony.de/electronics/af-mit-augenerkennung>
 - <https://www.nikonusa.com/en/learn-and-explore/a/tips-and-techniques/eye-to-eye-af-now-available-for-z-cameras.html>





SONY

Produkte ▾ PlayStation® Unterhaltung ▾ Support ▾

My Sony ▾



Sony durchsuchen 🔍

Sony Sites ▴



AF mit Augenerkennung: unvergessliche Porträts

Verlassen Sie sich auf den exklusiven AF mit Augenerkennung von Sony für brillanten Fokus und schönere Porträts. Ein revolutionäres Tool für Experten und Hobbyfotografen gleichermaßen.

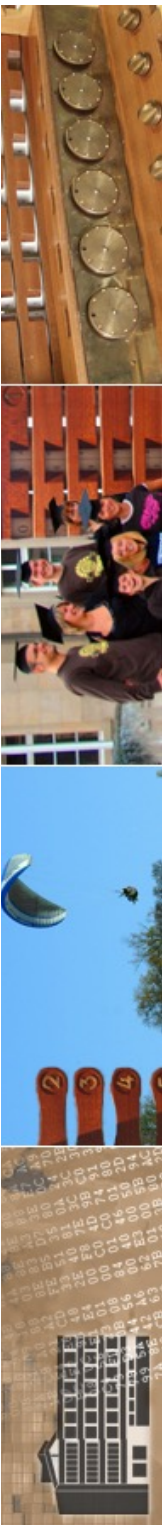




Brennweite und Bildwinkel I

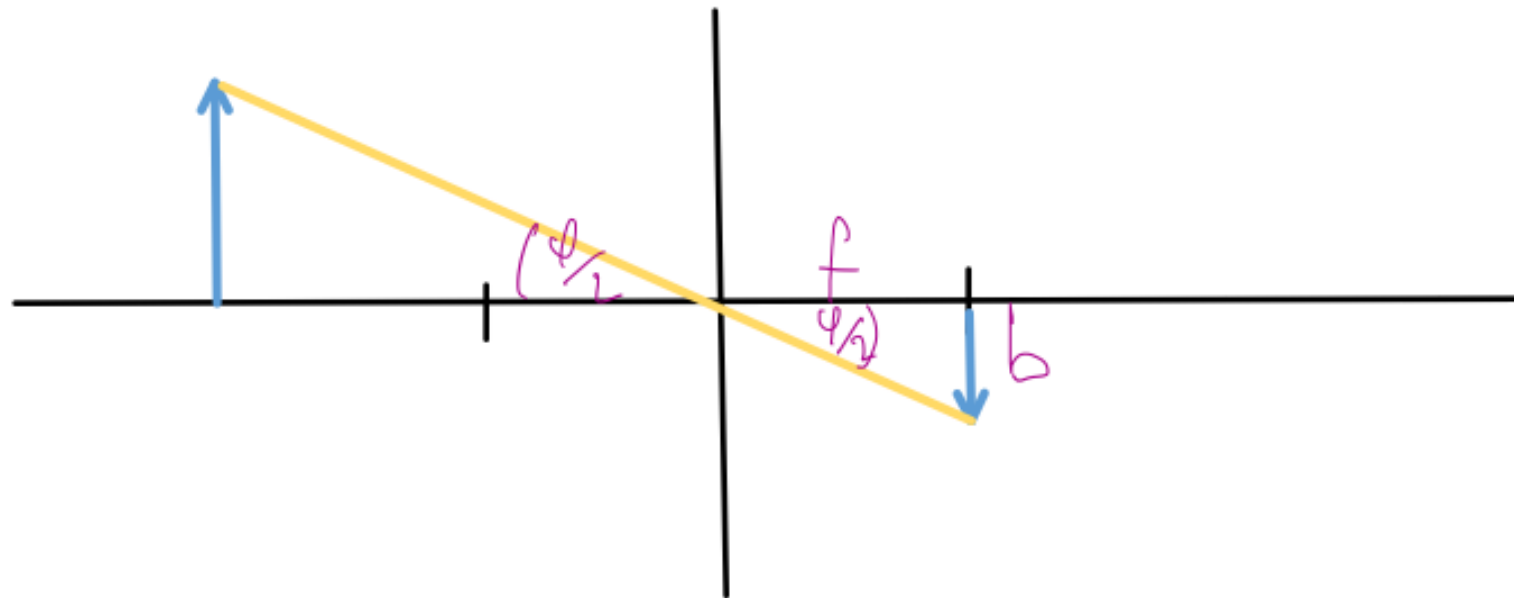
- Tabelle für Kleinbild

Brennweite	diagonaler Bildwinkel	Objektivtyp
21 mm	92°	Ultraweitwinkel
28 mm	76°	Weitwinkel
35 mm	64°	Weitwinkel
50 mm	45°	Normal
90 mm	27°	leichtes Tele
135 mm	18°	Tele
200 mm	12°	Tele



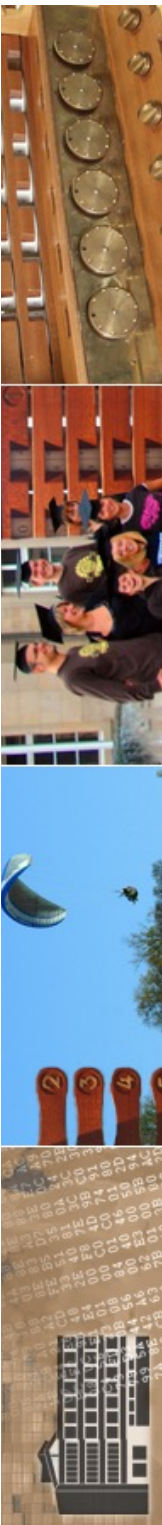
Brennweite und Bildwinkel II

- Aus Linsengleichung mit $g \rightarrow \infty$, also $b = f$
Allgemein:





$$\tan \frac{\varphi}{2} = \frac{b}{f} = \frac{h}{2f}$$



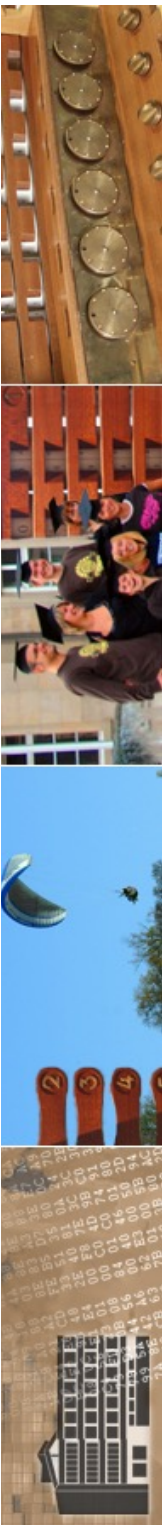
Brennweite und Bildwinkel II

- Aus Linsengleichung mit $g \rightarrow \infty$, also $b = f$
Allgemein:

$$\tan \frac{\phi}{2} = \frac{\frac{h}{2}}{f}$$

$$\text{HFOV} = 2 \cdot \arctan \left(\frac{h}{2f} \right)$$

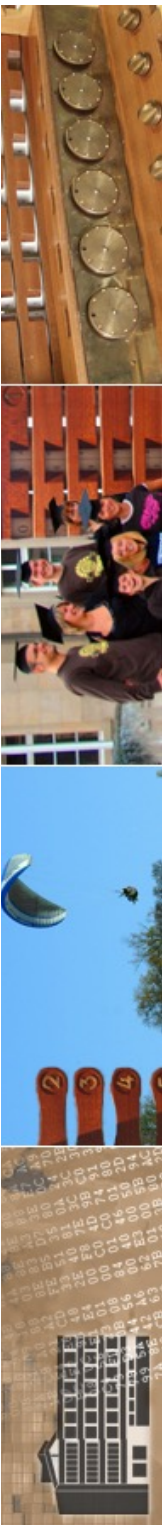
$$\text{VFOV} = 2 \cdot \arctan \left(\frac{b}{2f} \right)$$



Begriffe

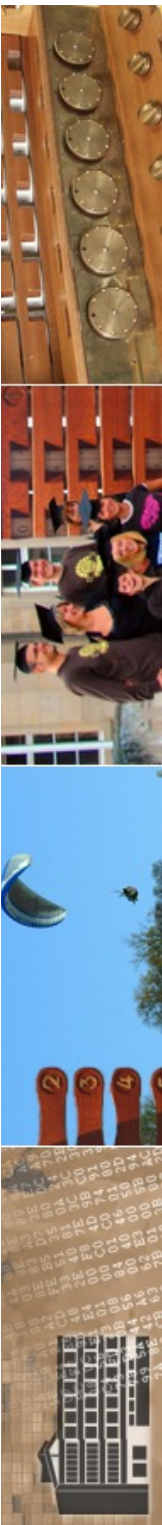
- Dioptrien: $D = 1 / f$
- Linsensysteme

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$



Schärfentiefe

- Die Schärfentiefe ist derjenige Raumbereich, der hinreichend scharf abgebildet wird.
- Simulation: DOFMaster
- Die bewusste Steuerung der Schärfentiefe durch Auf- und Abblenden des Objektivs ist ein zentrales Instrument der fotografischen Gestaltung.





Hyperfocal Distance x
www.dofmaster.com
Apps D800 M240 Sony: SVZ1311...

DOFMaster

DOFMaster for Windows® operating systems

DOFMaster LE for Palm OS® platform

On-line Depth of Field Calculator

On-line Depth of Field Table

Hyperfocal Distance Chart

DOFMaster for iPhone / iPod Touch

DOFMaster for Android

Steam Tables for iPhone / iPod Touch

Articles

FAQ

Recommended Books

Support

Contact

Links

Engineering Software

Home

DOFMaster Depth of Field Calculator (for Windows® operating systems)

Use **DOFMaster** to print depth of field scales to take into the field. Rotate the dial to set the focus distance on the scale, and quickly read the near focus distance, far focus distance, and the hyperfocal distance.

DOFMaster for iPhone / iPod touch

DOFMaster for iPhone / iPod touch for depth of field calculations on your phone. Get the app on the iTunes App Store or use the iPhone web app.

Deutsche Bank

... als Familienvater?"

Hier Video ansehen

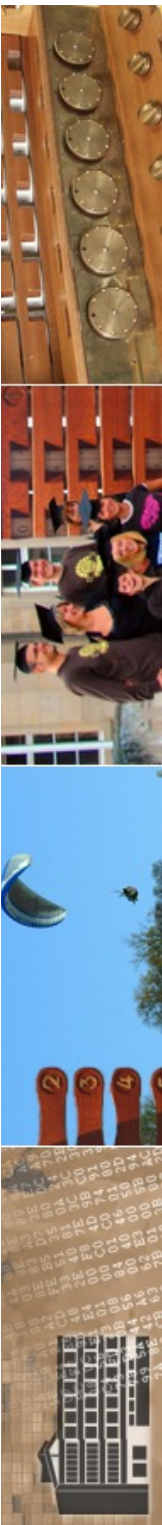
DOFMaster for Android

DOFMaster for Android for depth of field calculations on your phone.



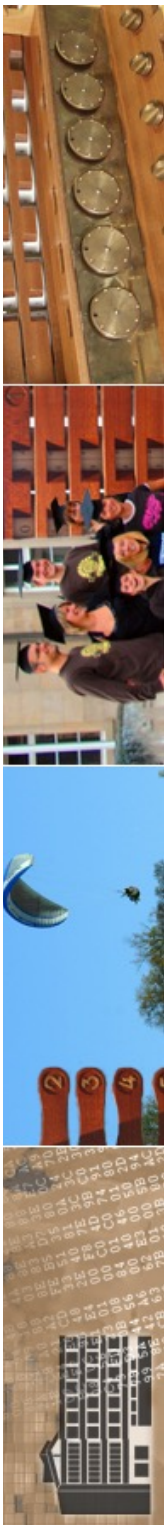
Begriffe

- DOF
- Schärfentiefe, Tiefenschärfe
- Bokeh



korrekte Belichtung

- korrekte Belichtung: es muss auf das Pixel die richtige Lichtmenge fallen
- die drei entscheidenden Parameter sind:
 - Belichtungszeit T
 - Öffnung und Lichtstärke des Objektivs, Blendenwert
 - Empfindlichkeit von Sensor oder Film

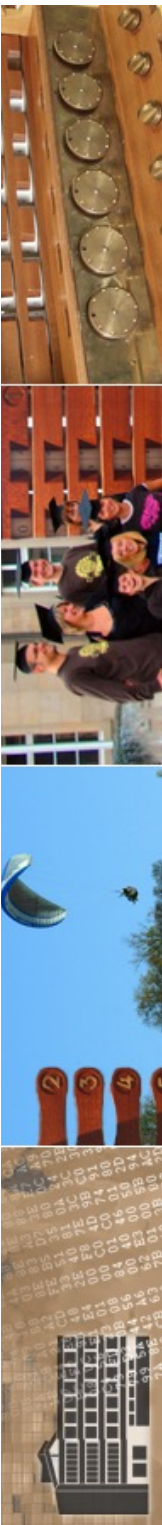


Lichtstärke

- Die Lichtstärke beschreibt das Verhältnis vom Durchmesser der maximal geöffneten Blende zur Brennweite:

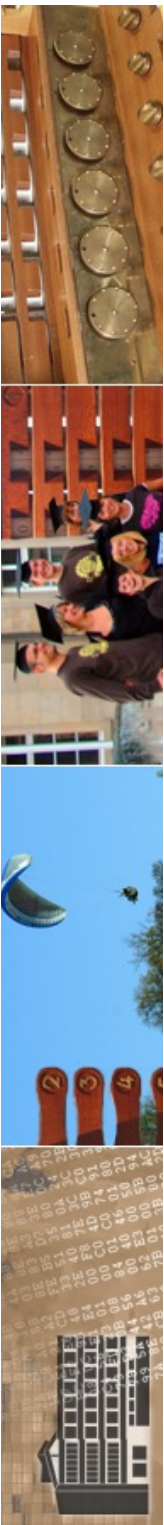
$$d / f$$

$$\text{Belichtungszeit} \sim \frac{1}{d^2} \Rightarrow \text{Belichtungszeit} \sim \frac{1}{\text{Lichtstärke}^2}$$



Blende I

- Blendenkonstruktionen
 - Aufsteckblende
 - Revolverblende
 - Irisblende



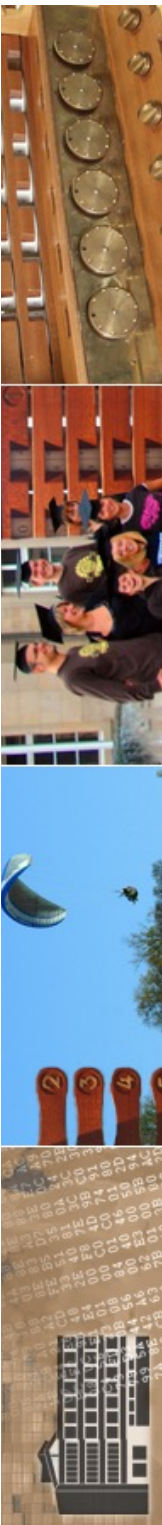
Blende II

- Der Blendenwert B ist umgekehrt proportional zum effektiven Durchmesser der Optik:

$$d \sim 1 / B$$

- $T \times B^2 = \text{konstant}$

- Blendenskala 1 1,4 2 2,8 4 5,6 8 11 16 22...

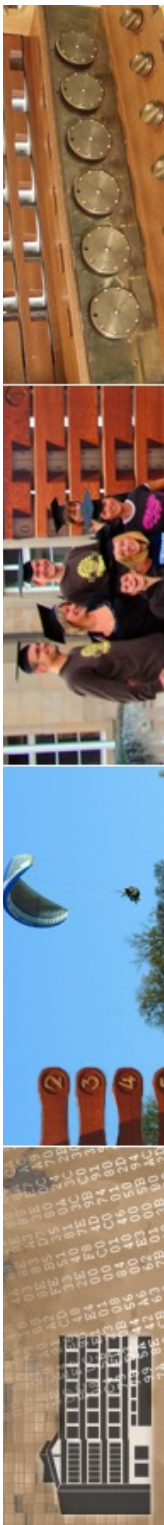


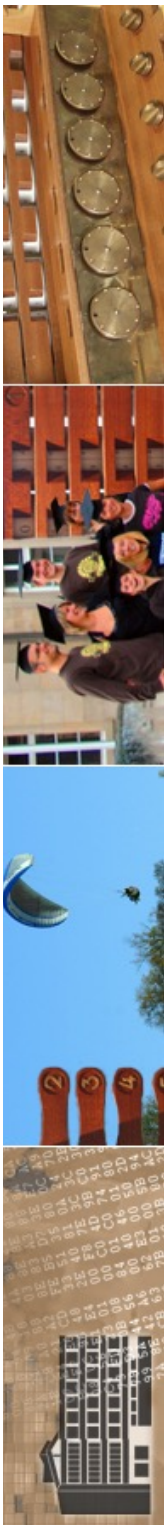
Blende III

$$g_n = \frac{c f g}{c f + B \cdot (g - f)}$$

$$g_e = \frac{c f g}{c f - B \cdot (g - f)}$$

- Objektive mit kleiner Brennweite haben einen größeren Bereich der Schärfentiefe.
- Kleinere Blendenöffnungen führen zu einer größeren Schärfentiefe.
- Der Bereich der Schärfentiefe ist von der Gegenstandsweite abhängig; für weitere Entfernungen ergibt sich eine größere Schärfentiefe.





Vodafone.de 07:50 100 %

Depth of Field Calculator

By: Indie Film Gear

Focal Length mm

Aperture

Distance m cm

Depth of Field: 1m 20cm
Near Distance: 4m 47cm
Far Distance: 5m 67cm
Hyperfocal Distance: 41m 71cm

In Front of Subject: 0m 53cm 44.0%
Behind Subject: 0m 67cm 56.0%

Circle of Confusion: 0.02997 mm

Please Upgrade to Remove Ads and Support this App

indiefilmgear

DoF Calculator Camera Selection Info

Vodafone.de 07:51 100 %

Select Camera From List Below

Nikon D1H / D1X

Nikon D2H / D2Hs / D2X / D...

Nikon D3 / D3x / D3s/D4

Nikon D40 / D40x

Nikon D50/60/70/70s/80/90

Circle of Confusion: 0.02997 mm

Units:

Override CoC (in):

indiefilmgear

DoF Calculator Camera Selection Info



Blende IV



Blende V

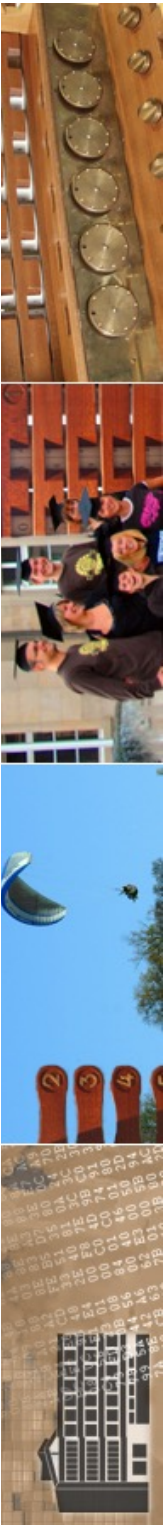


Blende VI



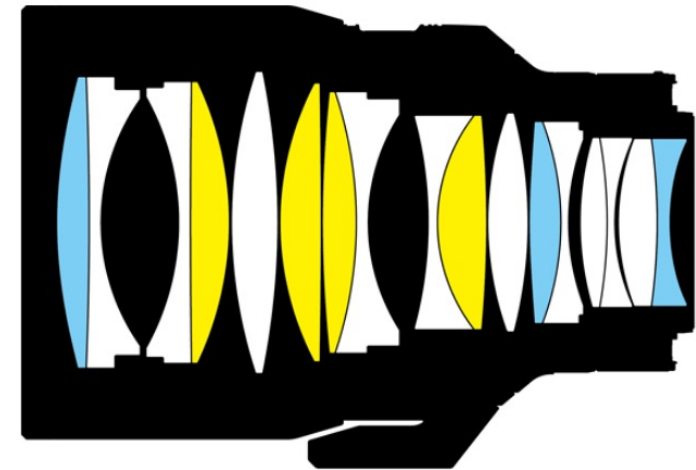


Blende VII



Blende VIII: Lichtstärke 1:0,95

Lens Construction



[← Back to Lenses](#)[Home](#) > [Lenses](#) > [Nikon Nikkor Z 58mm F0.95 S Noct](#)

LENS



Nikon Nikkor Z 58mm F0.95 S Noct Lens review: Ultra-high speed with high sharpness

Posted on October 21, 2021 by Kevin Carter, tested by DXOMARK Lens Team
Reading Time: 10 min read

[How we test lenses](#)

The Nikon Nikkor Z 58mm F0.95 S Noct is an ultra-high speed manual focus lens for Nikon's Z series of full-frame mirrorless cameras. The new Noct references the old manual focus AI and AIS Noct-Nikkor 58mm F1.2 from the mid-70s and early '80s, a "special" lens designed to reduce coma particularly from bright light sources at night and in poor light. However, that's where a good number of the similarities end.

While all S-type Z lenses are intended for pros and serious amateurs, the faster lenses appear better made than that of the other slower models. The Noct features an all-metal outer and eschews autofocus for manual focusing using a huge, finely machined focus collar, with close to a long 350-degree focus throw. It also features a highly complex optical system with no less than 17 elements arranged in 10 groups and has a 0.5 m (1.64 ft) [minimum](#) focusing [distance](#).

Test results

In-depth comparisons

Sharpness

Chromatic aberration

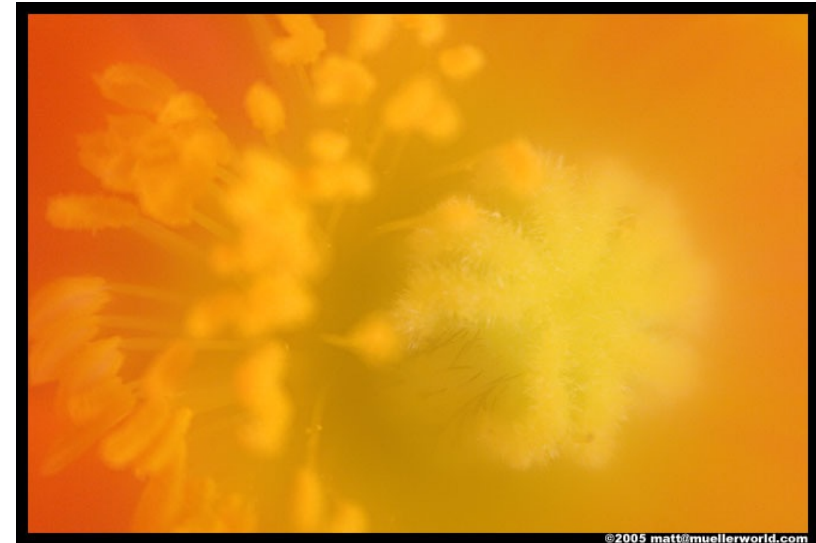
Geometric distortion

Vignetting

Transmission

Conclusion

Blende IX: Lichtstärke 1:0,75



Rodenstock TV-Heliogon
42mm 1:0,75

http://www.muellerworld.com/exhibits/fast_lens/

Blende X: Lichtstärke 1:0,75



Kowa 62mm 1:0,75

http://www.muellerworld.com/exhibits/fast_lens/

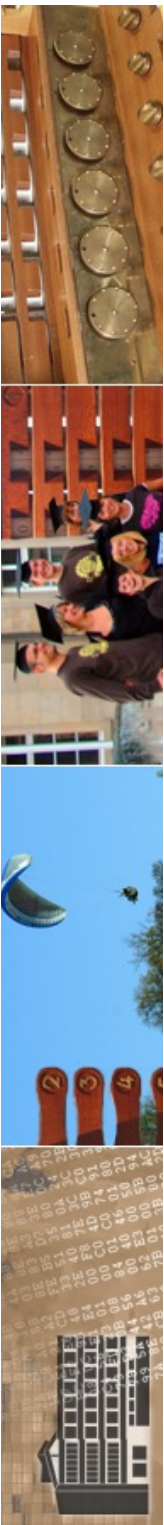
This rare Nikkor 58mm f/1.0 got the world's highest price ever paid for a Nikon lens at auction (€187,500)



By [NR] ADMIN | Published: OCTOBER 10, 2022



Blende XI: Bokeh



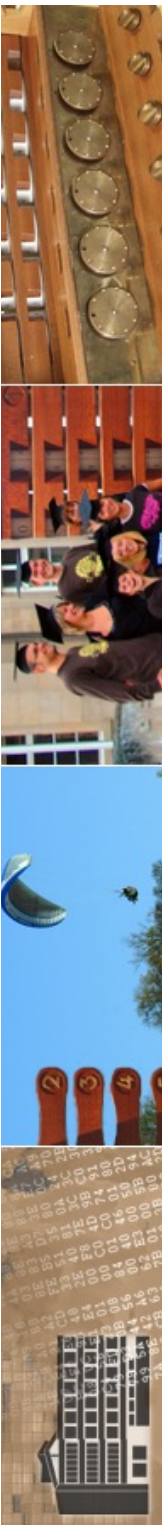
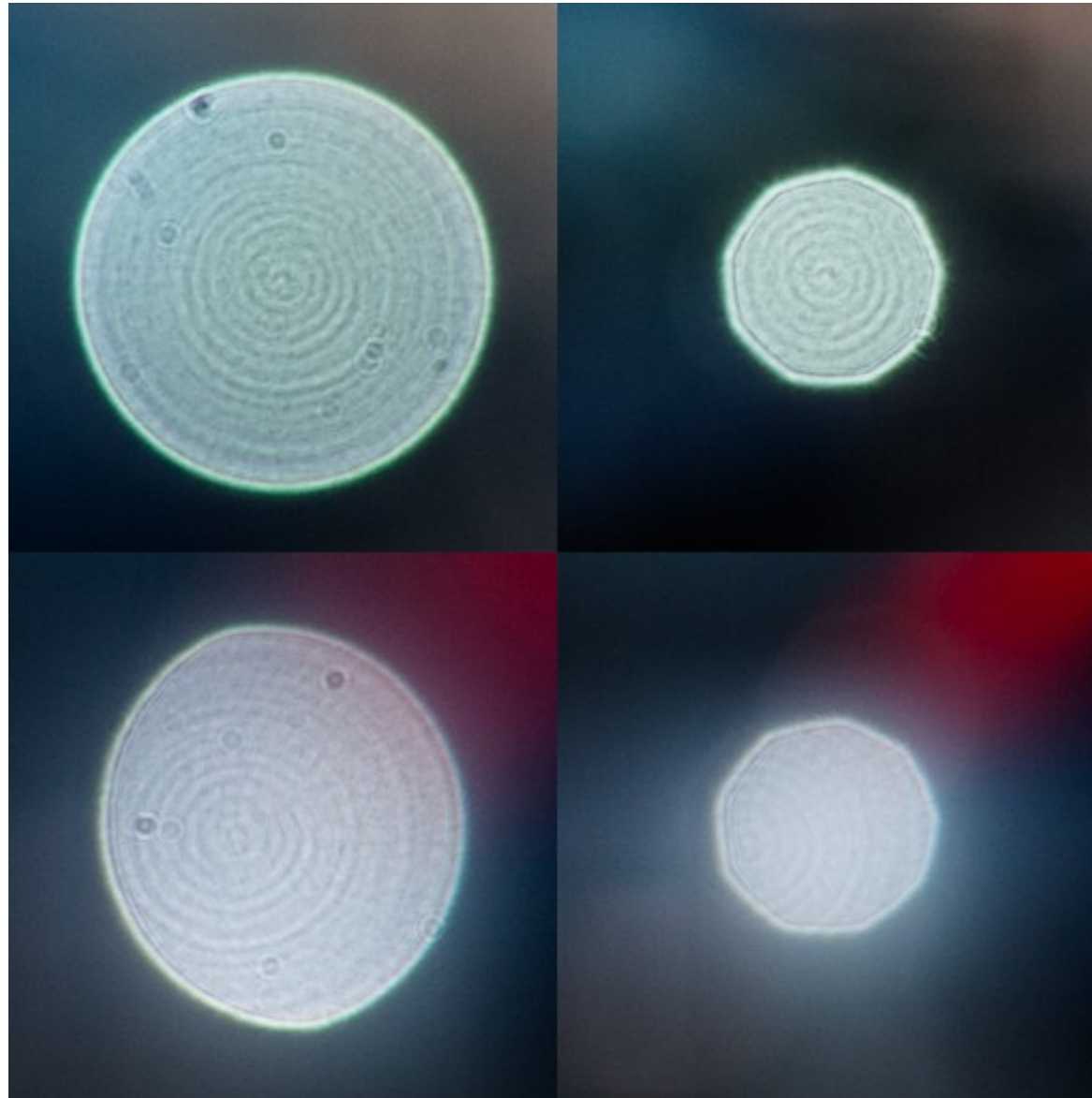
Blende XII: Bokeh



Blende XIII: Bokeh



Blende XIII: Onion Rings





Leica Asphären Technologie

Onion Rings

The image displays two sets of software interface screenshots for the Leica Asphären Technologie. Each set includes a 3D surface map, a 2D cross-section, and a table of technical data. The data tables are as follows:

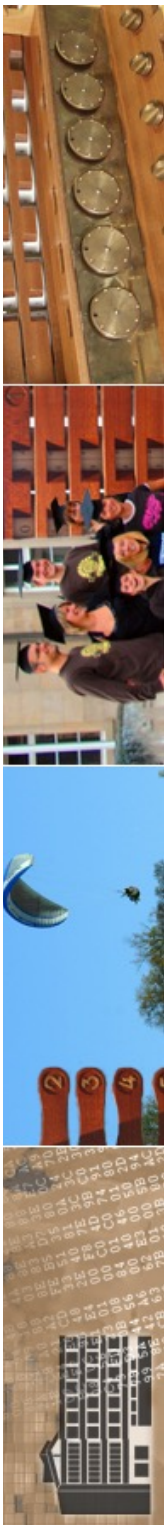
Parameter	Value	Unit
EV	6.134	mm
ENA	3.255	mm
Power	+8.183	mm
Dist X	29.4	mm
Dist Y	29.7	mm
Radius (nominal)	0	mm
Radius (measured)	0	mm
WaveLength	633.00	nm
Curv. Diameter	0	mm



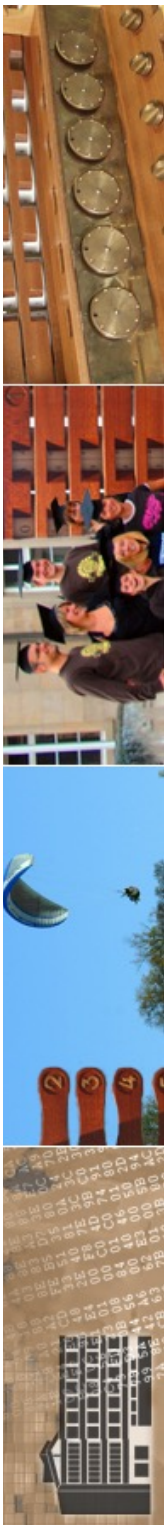
Blende XIV: Bokeh



Blende XV: Bokeh



Blende XVI: Bokeh

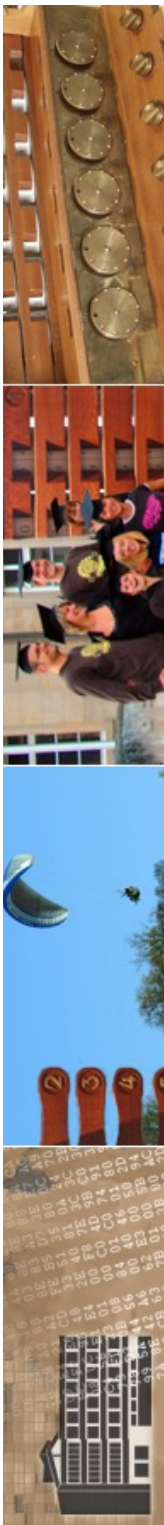
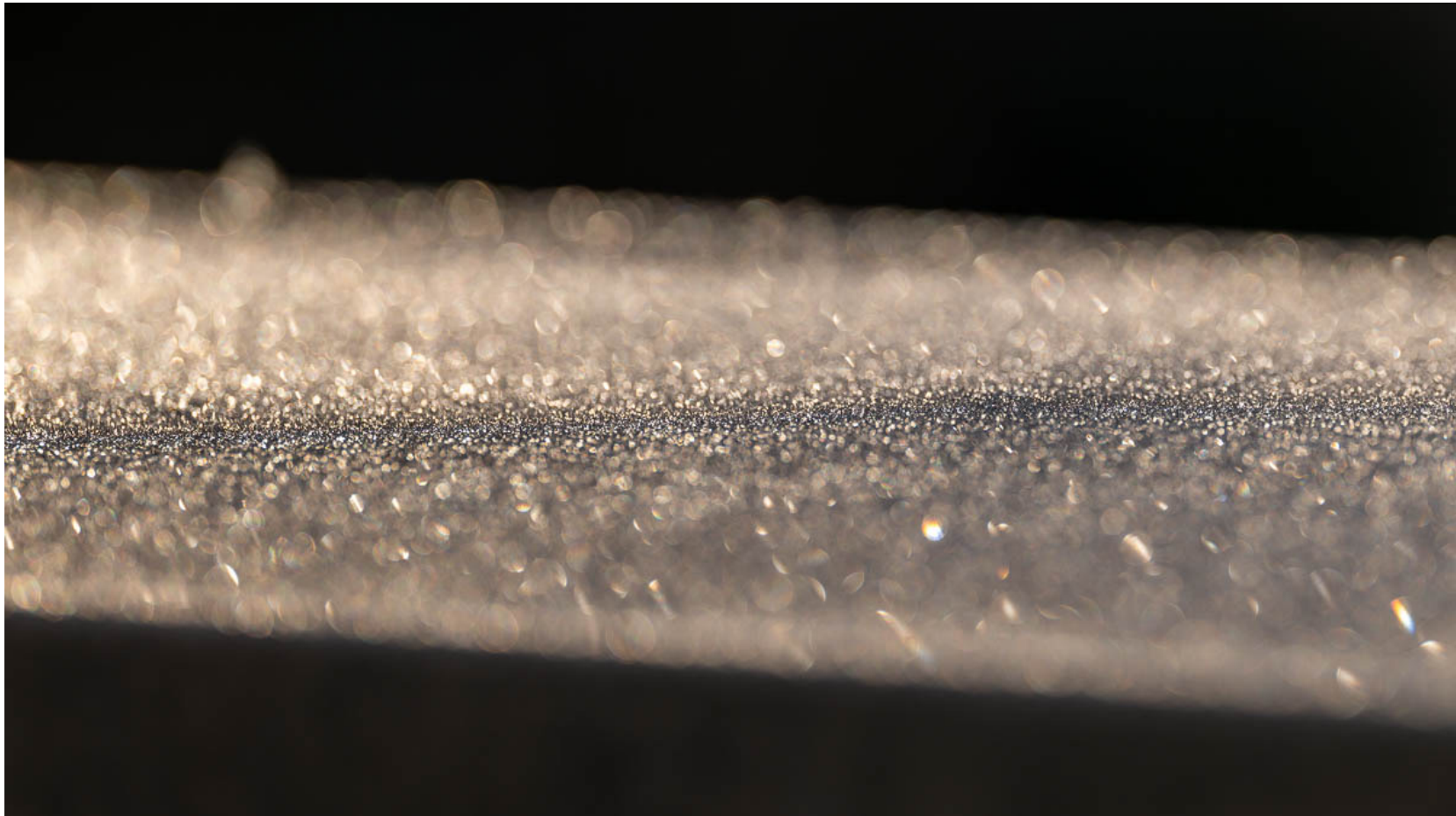




Zusammenhang

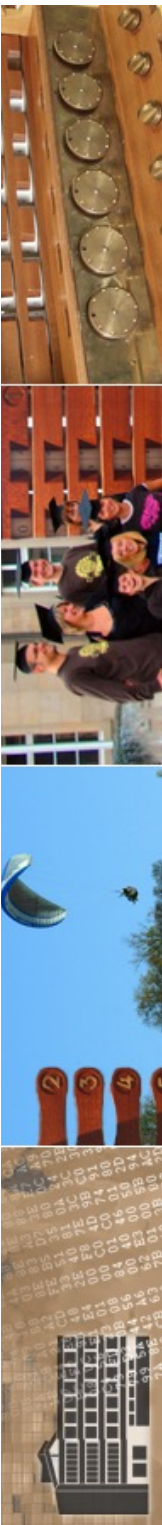
Schärfentiefe
Brennweite
Blende

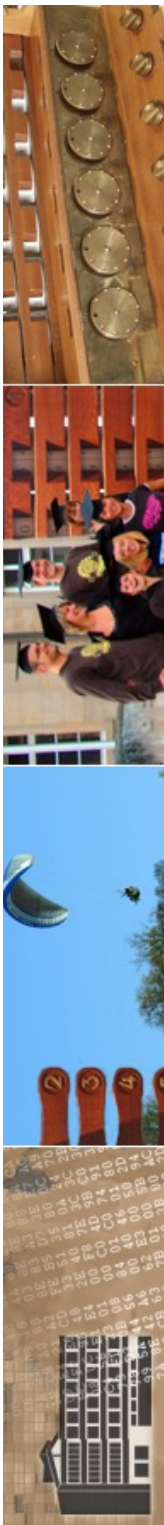


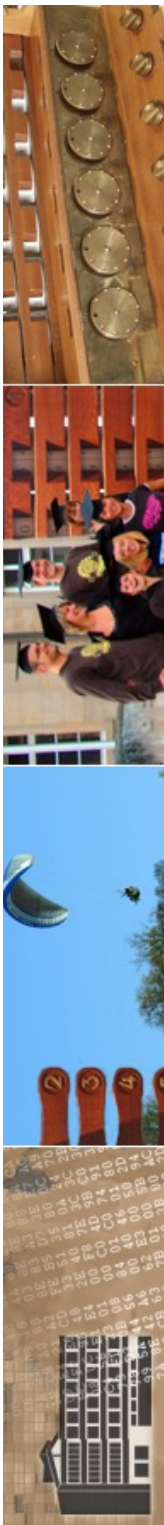


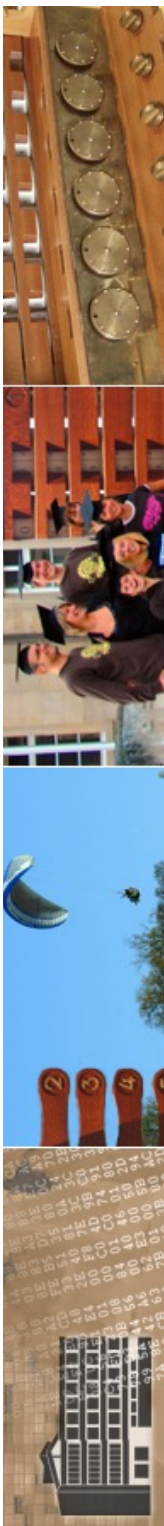
Freistellung

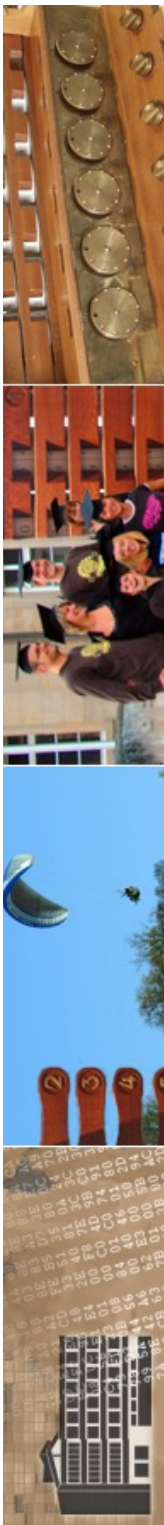
- hier wird Fotografie mehr als nur Technik...

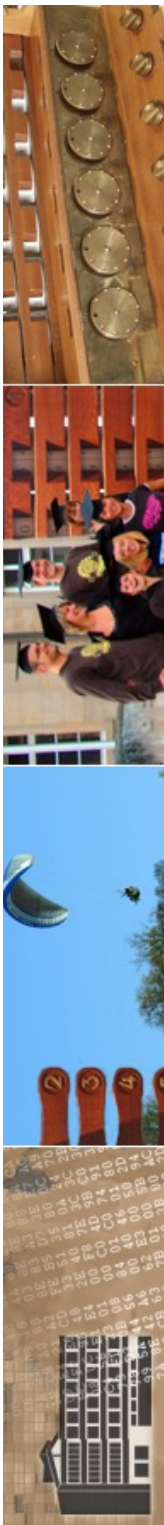


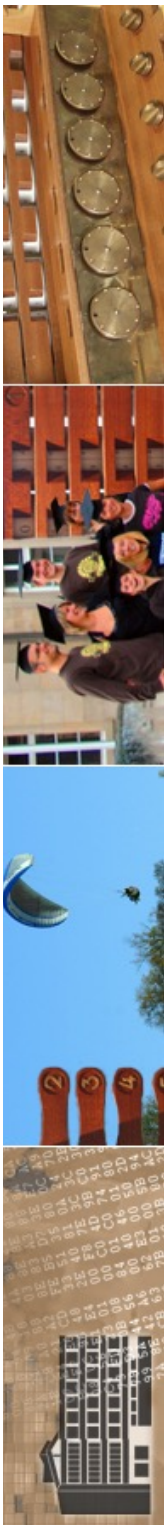










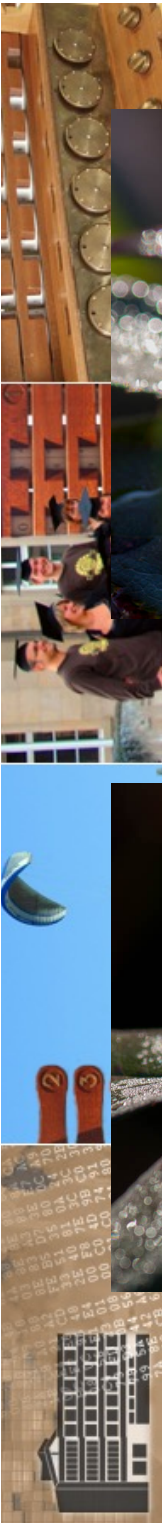


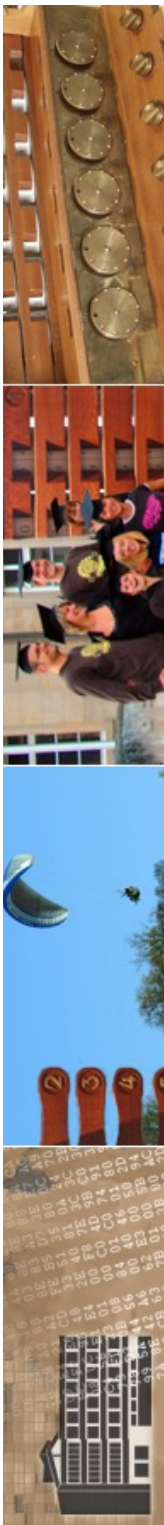
© 2025
Tübingen

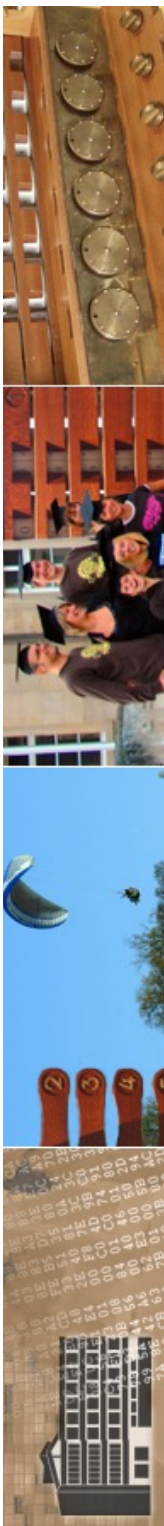


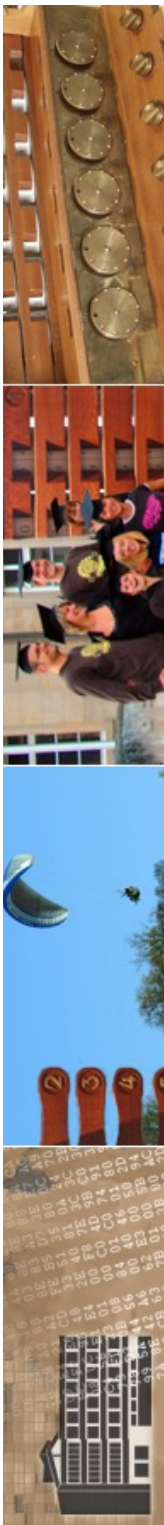
UD KARLS
RSITÄT
NGEN







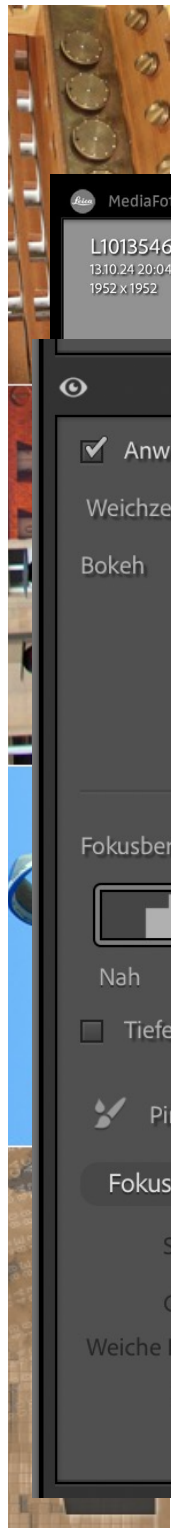




Freistellen mit Software

- statt komplexer Optik Software?
 - aktuelle Smartphones!
 - „Portraitmodus“ löst Hintergrund auf

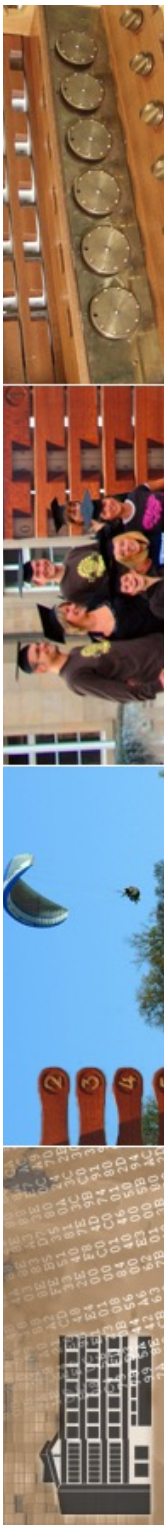


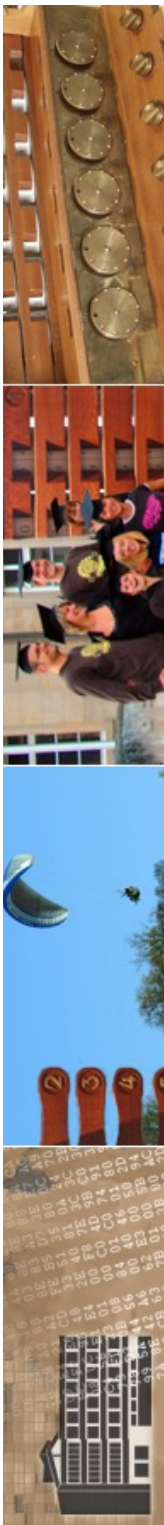


Blendenstern

- bei starkem Abblenden
(stärker schließen als Blende 8):

Blendensterne



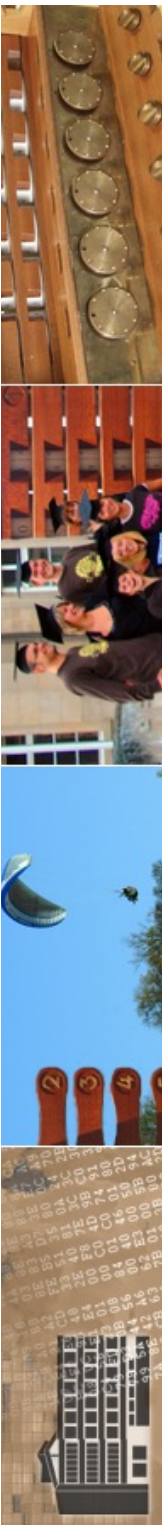


Begriffe

- focus-shift

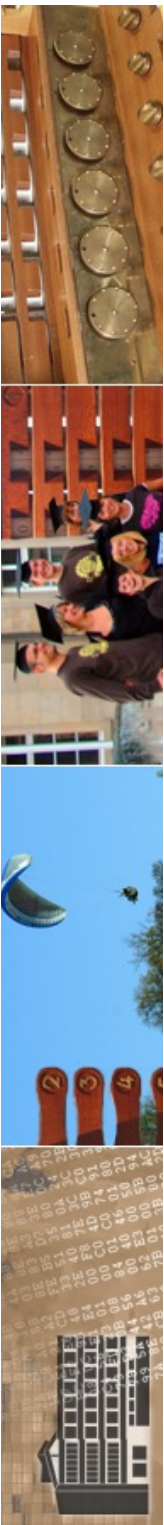


- Springblende
 - nur für SLR relevant
 - eine didaktische Herausforderung



Arbeitsblende und Springblende

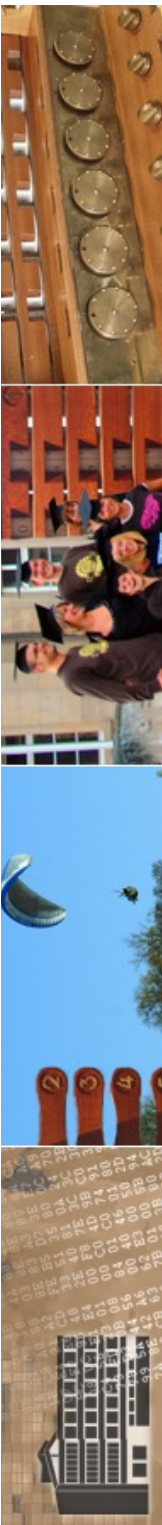
- Verschiedene Vorgehensweisen je nach Kameratyp
 - RF: Arbeitsblende
 - SLR: Springblende
 - **MILC**: hier wird es spannend...
 - Leica, Panasonic: Springblende wie bisher bei SLR
 - verwenden bisher meistens CDAF, von daher sinnvoll
 - Sony: Arbeitsblende wie bei RF
 - Nikon: Arbeitsblende bis $f=5,6$, danach Springblende



Hyperfokale Entfernung

$$H = \frac{cf}{B} = \frac{f^2}{B \cdot s}$$

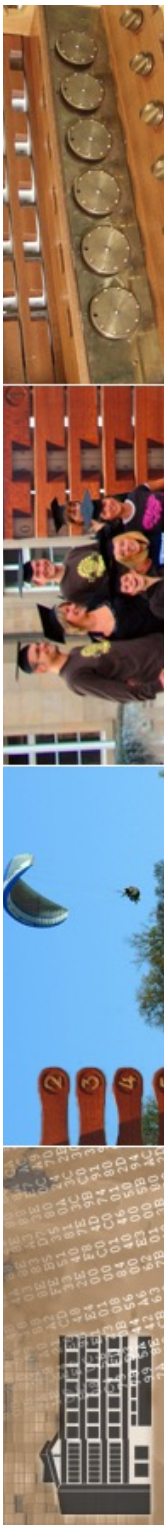
- Simulation über DOFMaster



Belichtung

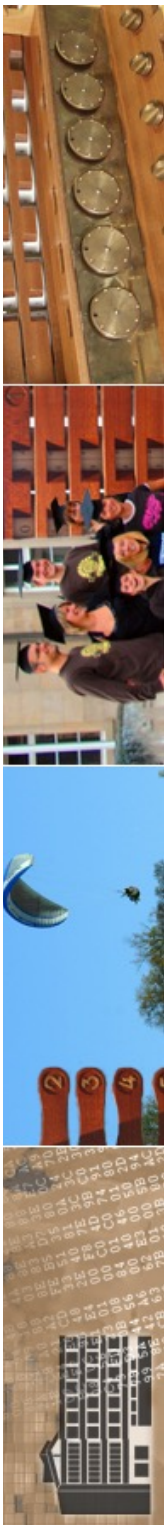
- **Belichtung** nennt man in der Fotografie das Einwirken der unterschiedlichen Lichtverteilung eines Aufnahmegegenstandes auf dem fotografischen Film oder dem Bildsensor, um ein Bild zu erhalten. Sie repräsentiert die zur Aufnahme beitragende Lichtmenge und wird also von der Beleuchtung und Reflexion des Aufnahmegegenstands, von der Öffnungsweite des Objektivs sowie von der Verschlusszeit t der Kamera beeinflusst. Die Belichtung ist ausgewogen, wenn Lichter und Schatten im Bild noch Zeichnung aufweisen und muss auf die Lichtempfindlichkeit des Films oder Bildsensors abgestimmt werden.

(Wikipedia)



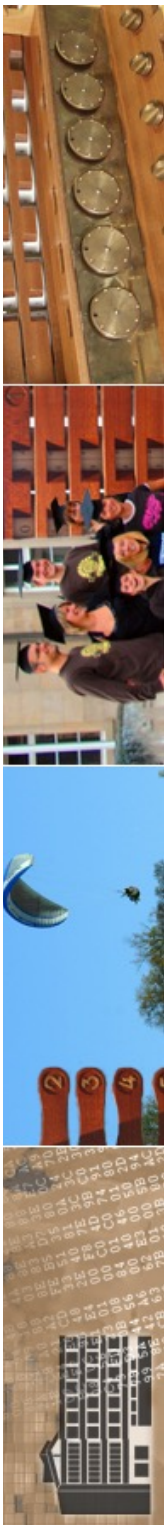
Empfindlichkeit des Sensors

- Empfindlichkeit, also wie viel/wenig Licht braucht ein Sensor (genauso für Film) wird in ISO gemessen
 - logarithmische Alternative DIN ist sinnvoller, aber hat sich nicht durchgesetzt
 - 100 ISO entspricht 21 DIN



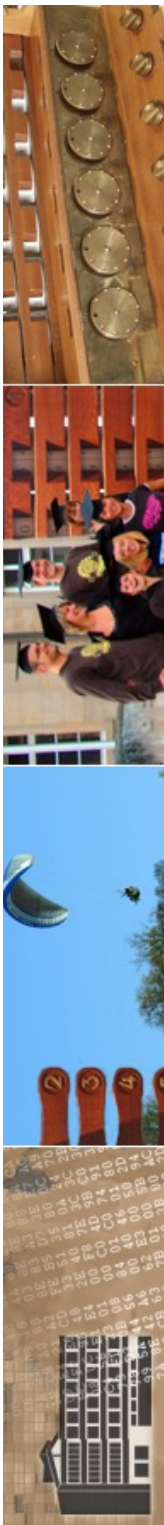
ISO-DIN-Tabelle

ISO	DIN
50	18
100	21
200	24
400	27
800	30
1.600	33
3.200	36



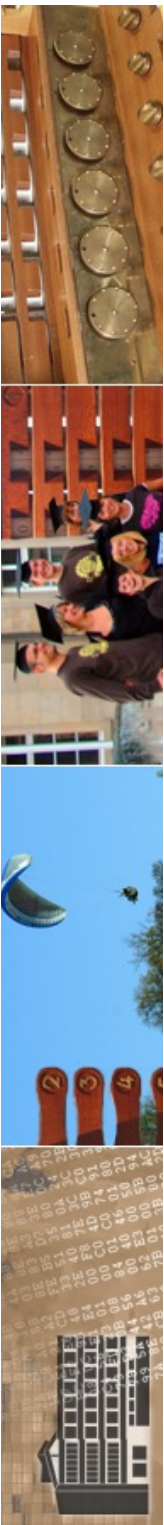


Emp- findlich- keit	ASA	DIN	ISO
niedrig	12	12	12/12°
	16	13	
	20	14	
	25	15	25/15°
	32	16	
	40	17	
	50	18	50/18°
	64	19	
	80	20	
normal	100	21	100/21°
	125	22	
	160	23	
	200	24	200/24°
	250	25	
	320	26	
	400	27	400/27°
	480	28	
	640	29	
	800	30	800/30°



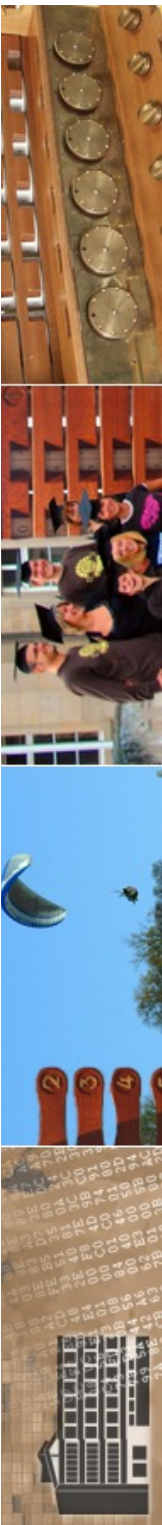
typische Sensorempfindlichkeiten

- Grundempfindlichkeit:
häufig 100 ISO
- maximale Empfindlichkeit:
heute häufig bis 100.000 ISO oder sogar
mehr
 - wichtig für Sport
 - wichtige Technik: BSI-Sensor



ISO-invariante Sensoren

- neue Entwicklung (ausgehend von Sony):
ISO-invariante Sensoren
 - die Aufnahme wird tatsächlich immer im Grundzustand gemacht und der ISO-Wert erst nachträglich eingerechnet
 - ISO-Wert ist nur Metadatum in der Bilddatei

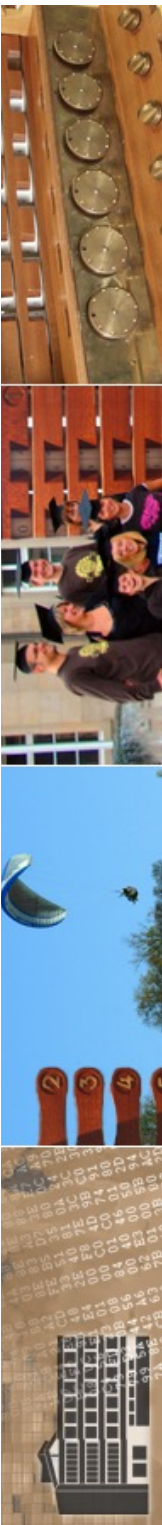


nur digital: Auto-ISO

- Digitalkameras haben eine „ISO-Automatik“:

ISO-Wert wird automatisch angepasst

- es gibt sehr unterschiedliche Implementierungen
- Beispiel:
 - Vorgabe der längsten Belichtungszeit (z.B. 1/60 Sekunde); reicht dies bei Basis-ISO nicht aus, wird der ISO-Wert erhöht



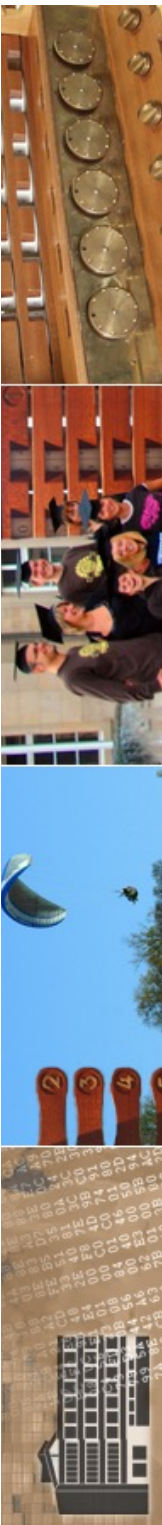
nur digital: Auto-ISO

- mit festem ISO-Wert:

Belichtung im 2-dimensionalen Raum
Blende - Belichtungszeit

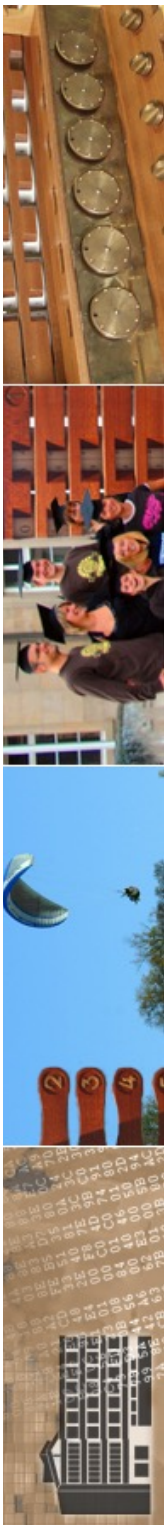
- mit Aut-ISO:

Belichtung im 3-dimensionalen Raum
Blende - Belichtungszeit - ISO



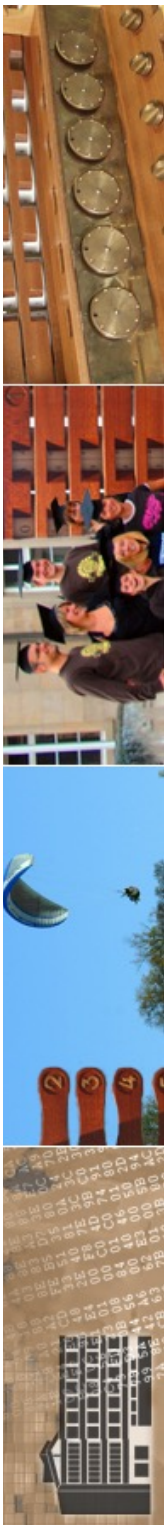
Belichtungsmessung

- es muss die „korrekte Lichtmenge“ auf Sensor/Film treffen
- entscheidende Parameter
 - Belichtungszeit
 - Blende
 - Empfindlichkeit des Sensors



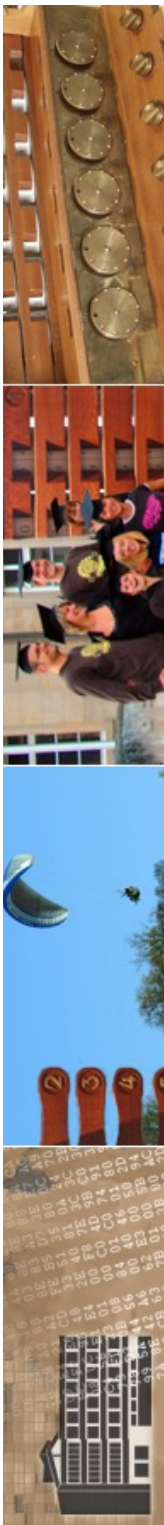
Belichtungsmessung

- zwei Möglichkeiten der Messung des Lichtes, um die korrekten Paramater zu berchnen
 - Messung des Lichtes
 - Messung der Lichtreflexion



Belichtungsmesser





Share

 Tweet

Graukarte

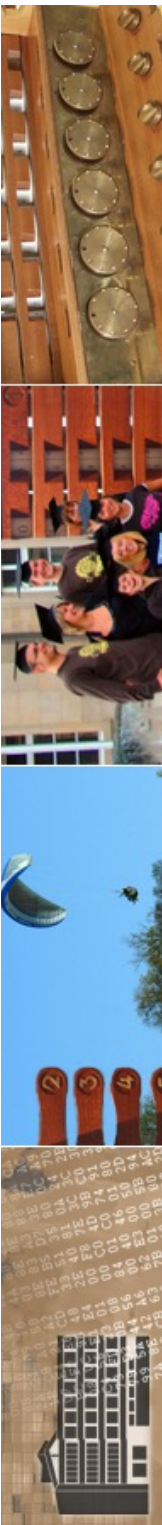
- einfach - aber wichtig:
Graukarte

Definition: Reflexion
von 18% des Lichtes

(Zonensystem: Zone V)

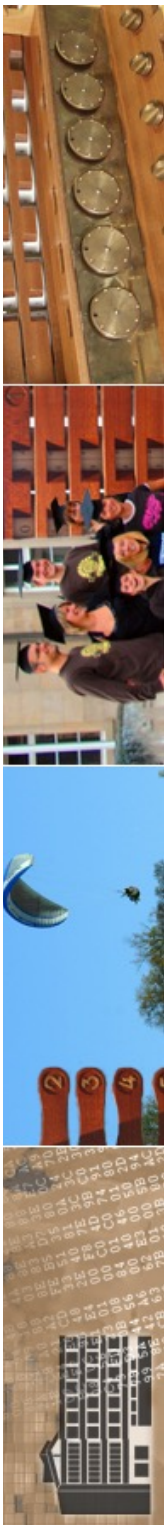


- auch für *Weißabgleich* sehr nützlich



nützliche Regeln

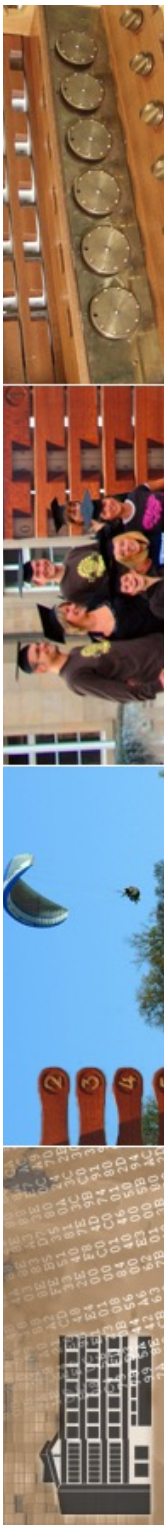
- „Sonne lacht: Blende acht“
(bei ISO 100)
- Belichtungszeit höchstens $1/\text{Brennweite}$
für Aufnahmen ohne Verwacklung
 - Beispiel: 50mm Objektiv → höchstens 1/50 Sekunde Belichtungszeit
 - moderne Technik hilft mit OIS und IBIS wesentlich



nützliche Regeln

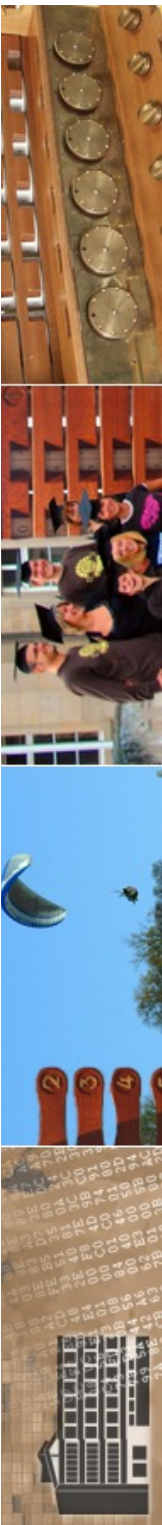
Licht	Blende
Strand, Schnee in heller Sonne	16
helles Sonnenlicht	11
dunstiges Sonnenlicht	8
bewölkt, hell	5,6
bewölkt, offene Schatten	4

(jeweils ISO 100)



Belichtungszeit und Verwackeln

- Belichtungszeit höchstens $1/\text{Brennweite}$ oder sogar $1 / 2x \text{ Brennweite}$
- Verbesserung durch
 - optische Bildstabilisation im Objektiv (OIS)
 - Sensor-Bildstabilisation (IBIS)
 - oder beides
- *bis zu 7 Blendenstufen Verbesserung!!!*

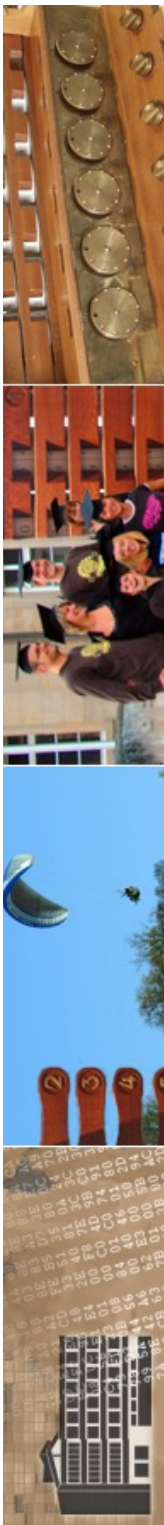


Beispiele IBIS *ohne Stativ*



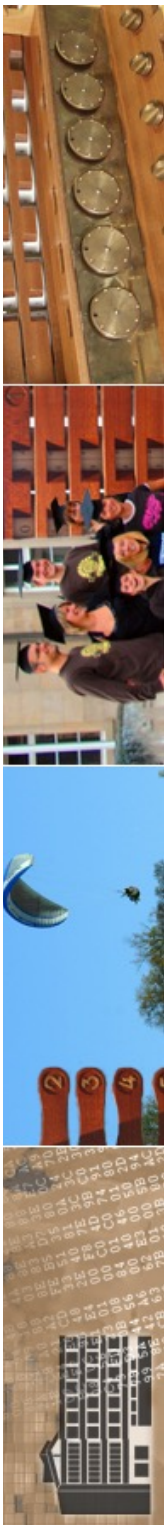






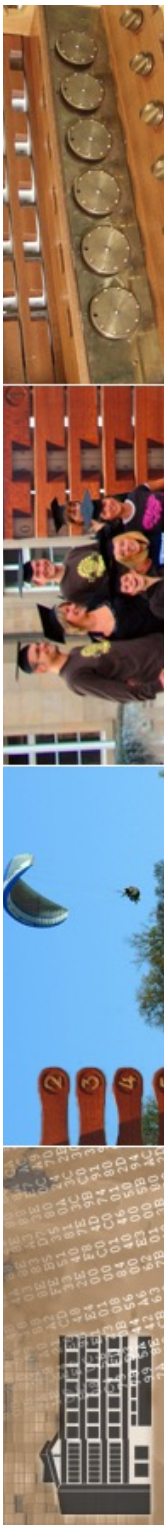
Verschluss der Kamera

- Verschluss regelt die Zeit, in der Licht auf Sensor/Film fällt
- entscheidende Komponente für korrekte Belichtung



Verschluss der Kamera

- mechanischer Verschluss
 - „von Hand“: sehr historisch
 - Zentralverschluss („Compur“)
 - Schlitzverschluss
- „elektronischer Verschluss“
 - nur im Digitalen
 - geräuschlos
 - Problem: Rolling Shutter

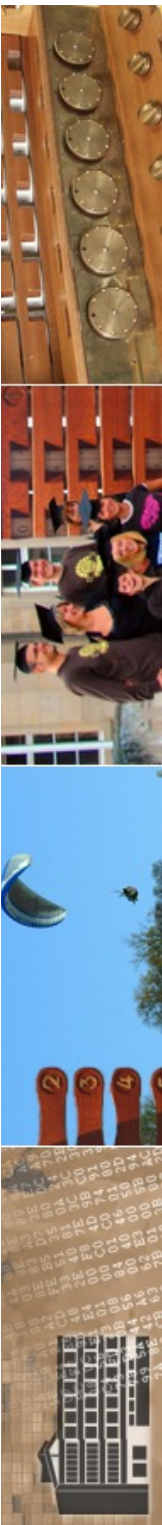


Rolling Shutter



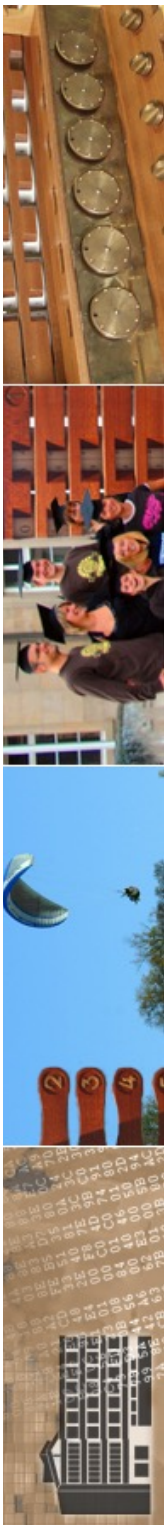
Verschluss der Kamera

- Verschluss und Blitzaufnahme
 - Blitzdauer ist sehr kurz: $< 1/10.000$ Sekunde
 - Herausforderung für Verschluss
 - möglicher Ausweg: HSS



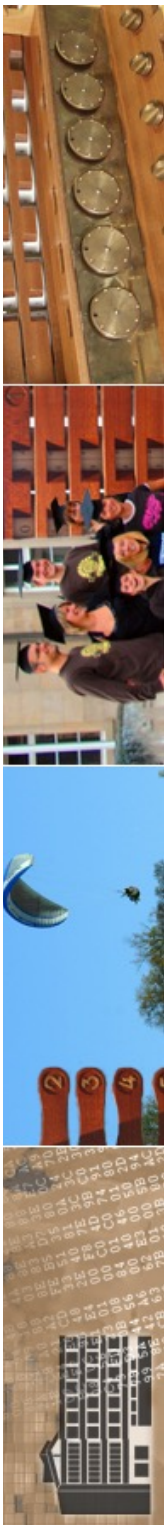
Verschluss der Kamera

- die (mögliche) Zukunft im Digitalen:
global shutter
 - sehr schneller elektronischer Verschluss auf Basis stacked sensor
 - würde alle „Probleme“ einschließlich Blitzaufnahmen lösen
 - nicht 2021, 2022 - aber 2023
(Sony Alpha 9 III)



Global Shutter

- mechanischer Verschluss: 3ms
- Nikon Z8/Z9 (stacked sensor): 4,5 MS
- CANON R3 (Stacked sensor): 5 ms
- normaler BSI Sensor: 20ms - 60ms
- global shutter: 0ms





$\alpha 9$ III

24.6MP

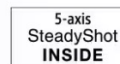
Global shutter system

Blackout-free

120 fps with AF/AE tracking

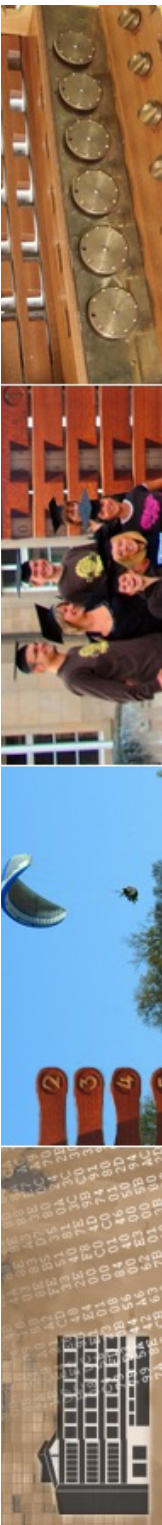
AI processing unit

Exmor RS BIONZ XR
CMOS Sensor



Aktuelles

- spannend (gefährlich): elektronischer Verschluss und LED-Beleuchtung

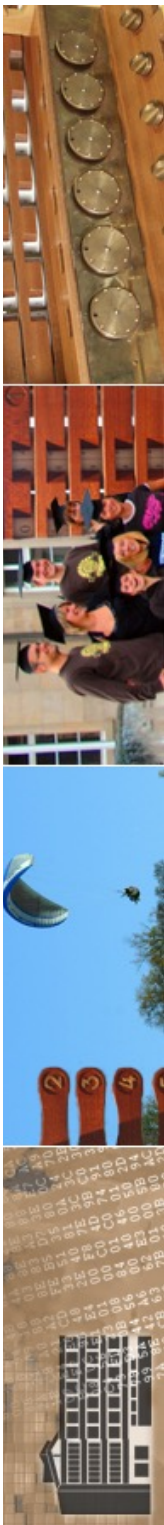


Belichtungsautomatik

- Belichtungsautomatik:

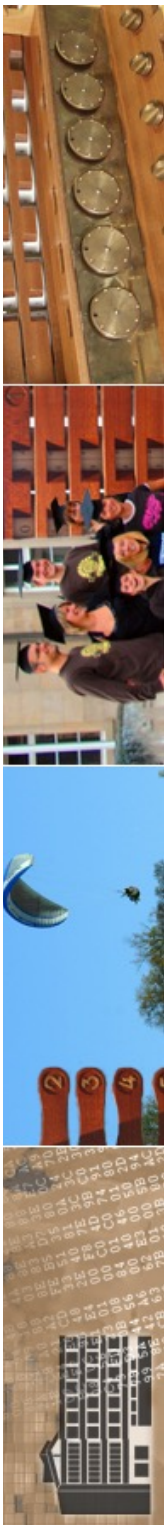
nächster Schritt nach der
Belichtungsmessung

Belichtungsmessung → *automatisches
Einstellen* von Blende und
Belichtungszeit (und ISO-Wert)





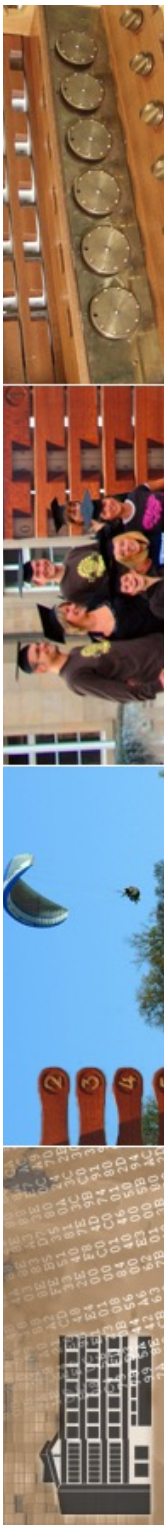
Nikon F2AS, 1977



Belichtungsautomatik

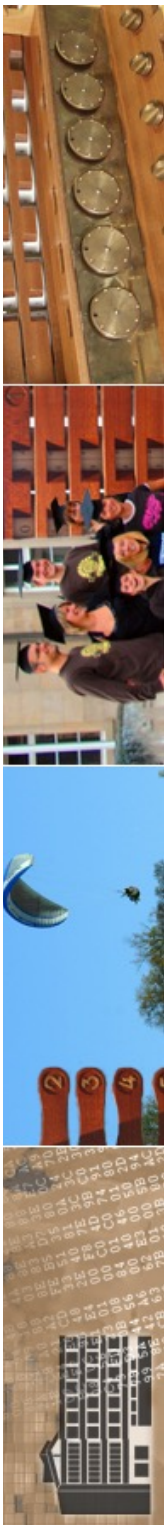
- die gängigen Varianten

Kürzel	Beschreibung
M	keine Automatik
A	Zeitautomatik (Wahl der Blende)
S	Blendenautomatik (Wahl der Belichtungszeit)
P	Vollautomatik
ISO	ISO-Automatik: korrekte Belichtung durch Anpassen des ISO-Wertes (nur digital)



Lichtwert (EV)

- Lichtwert (Exposure Value, EV):
(logarithmische) Kombination von
Belichtungszeit und Blende (bezogen auf ISO
100)
 - EV 0: Blende 1 und 1 Sekunde
 - EV 1: Blende 1,4 und 1 Sekunde oder Blende 2 und 2 Sekunden
 - je höher der EV desto mehr Licht
 - EV um 1 erhöht → Lichtmenge verdoppelt



Lichtwert (EV)

- Lichtwert

$$EV = \log_2 \frac{B^2}{T}$$

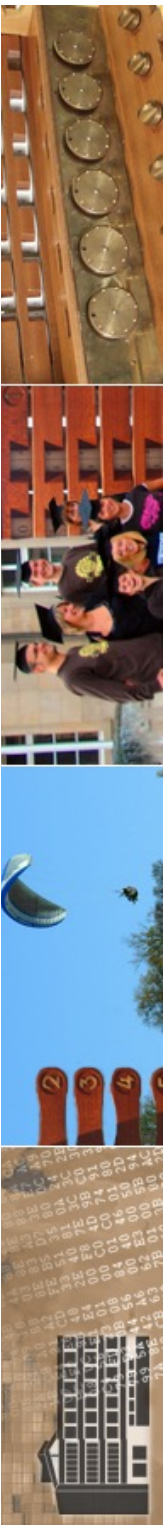




Tabelle für die Lichtwerte von Zeit-Blenden-Kombinationen [[Bearbeiten](#) | [Quelltext bearbeiten](#)]

LW	4 s	2 s	1 s	1/2 s	1/4 s	1/8 s	1/15 s	1/30 s	1/60 s	1/125 s	1/250 s	1/500 s	1/1000 s	1/2000 s	1/4000 s
f/32	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
f/22	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
f/16	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
f/11	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
f/8	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
f/5,6	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
f/4	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
f/2,8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
f/2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
f/1,4	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
f/1	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12



Berechnung des Lichtwertes bei ISO 100 mit Blendenwert B und Belichtungszeit T

In[1]:=

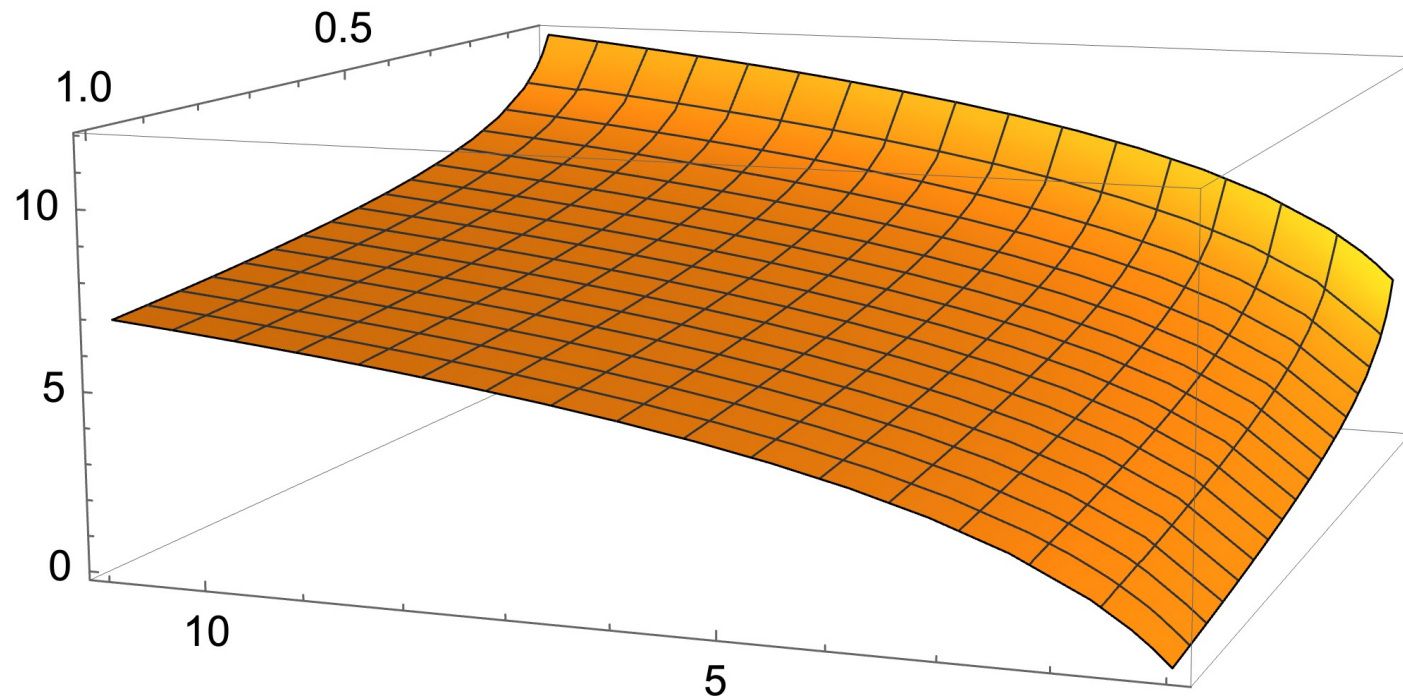
```
ev[b_, t_] := Log2[b^2 / t]
```

Logarithmus zur Ba

In[2]:=

```
Plot3D[ev[b, t], {b, 1, 11}, {t, 1, 1 / 30}]
```

stelle Funktion graphisch in 3D dar



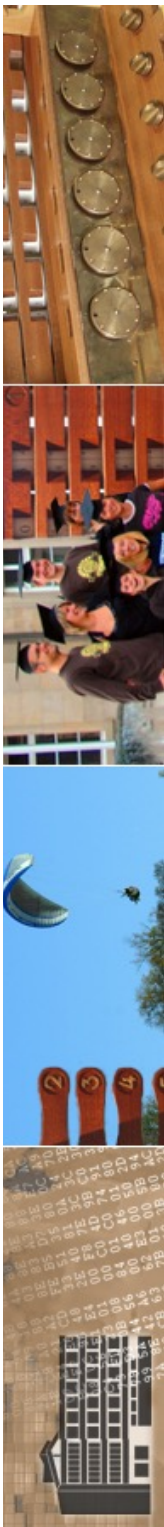


Table 1. Exposure times, in seconds or minutes (m), for various exposure values and *f*-numbers (ISO 100)

EV	<i>f</i> -number												
	1.0	1.4	2.0	2.8	4.0	5.6	8.0	11	16	22	32	45	64
−6	60	2 m	4 m	8 m	16 m	32 m	64 m	128 m	256 m	512 m	1024 m	2048 m	4096 m
−5	30	60	2 m	4 m	8 m	16 m	32 m	64 m	128 m	256 m	512 m	1024 m	2048 m
−4	15	30	60	2 m	4 m	8 m	16 m	32 m	64 m	128 m	256 m	512 m	1024 m
−3	8	15	30	60	2 m	4 m	8 m	16 m	32 m	64 m	128 m	256 m	512 m
−2	4	8	15	30	60	2 m	4 m	8 m	16 m	32 m	64 m	128 m	256 m
−1	2	4	8	15	30	60	2 m	4 m	8 m	16 m	32 m	64 m	128 m
0	1	2	4	8	15	30	60	2 m	4 m	8 m	16 m	32 m	64 m
1	1/2	1	2	4	8	15	30	60	2 m	4 m	8 m	16 m	32 m
2	1/4	1/2	1	2	4	8	15	30	60	2 m	4 m	8 m	16 m
3	1/8	1/4	1/2	1	2	4	8	15	30	60	2 m	4 m	8 m
4	1/15	1/8	1/4	1/2	1	2	4	8	15	30	60	2 m	4 m
5	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1	2	4	8	15	30	60	2 m
6	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1	2	4	8	15	30	60
7	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1	2	4	8	15	30
8	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1	2	4	8	15
9	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1	2	4	8
10	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1	2	4
11	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1	2
12	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1
13	1/8000	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2
14	1/16000	1/8000	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4
15	1/32000	1/16000	1/8000	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8
16		1/32000	1/16000	1/8000	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15
17			1/32000	1/16000	1/8000	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30
18				1/32000	1/16000	1/8000	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60
19					1/32000	1/16000	1/8000	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125
20						1/32000	1/16000	1/8000	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250
21							1/32000	1/16000	1/8000	1/4000	1/2000	1/1000	1/500
EV	1.0	1.4	2.0	2.8	4.0	5.6	8.0	11	16	22	32	45	64
	<i>f</i> -number												

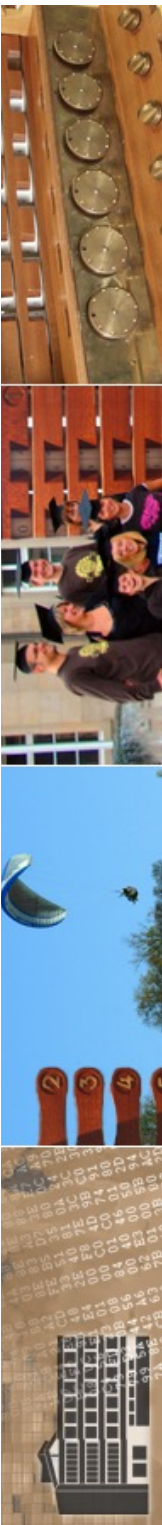


EV und AF

- je weniger Licht → je schlechter der AF
 - typische Werte: AF bis -4 EV

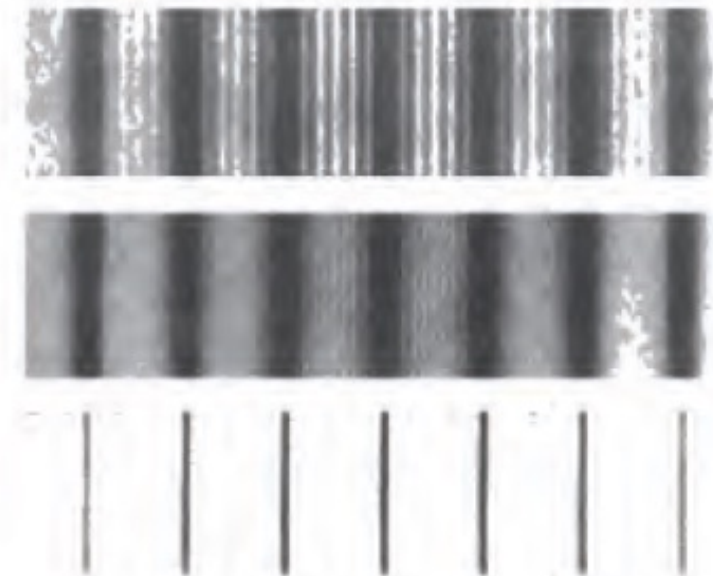
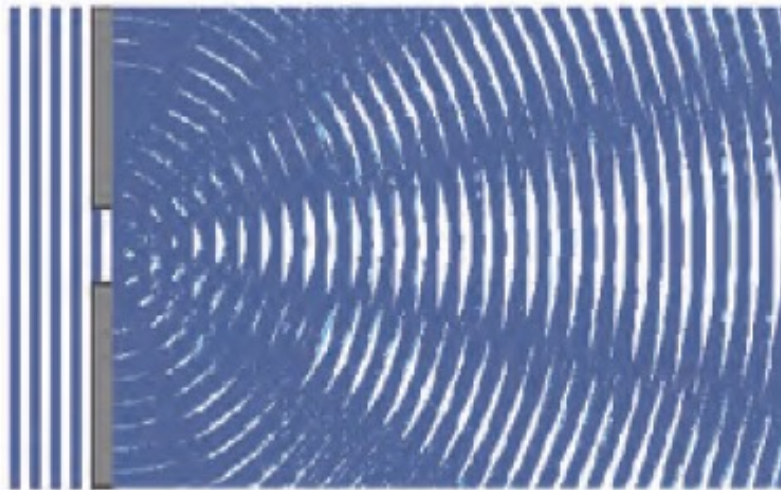
Schnelle und präzise Fokussierung

Die EOS R5 kann in nur 0,05 Sekunden fokussieren – eine Spitzenleistung bei einer spiegellosen Vollbildkamera.¹ Zudem arbeitet der Autofokus auch bei niedrigen Lichtstufen bis -6 EV,² – das entspricht ungefähr der Beleuchtung bei Halbmond.



Wellenoptik

- Begriffe wie Beugung



...und nun...

- kennen wir die physikalischen Grundlagen der Fotografie



- als nächstes: mehr Physik der Fotografie, insbesondere die Fehler der Objektive

