

Bildbearbeitung

Teil des Moduls 5CS-CGAN-50 im Studiengang Informatik

Referent: Hendrik Siegmund

Themenübersicht

- Das Modul Bildbearbeitung
 - Ablauf, Lernziele, Prüfungen, Literatur
- Fotografie
 - Grundlagen, Entwicklung, Film und Bildaufnahmeröhren
- Aktuelle Sensoren und Kameras
 - CCD, CMOS, Formfaktor und Größe
 - Kompakt- und Bridgekameras, DSLR und DSLM
- Bildgestaltung
 - Gestaltungs- und Kompositionstechniken kennenlernen und praktisch anwenden
- Bildverwaltung und Bildbearbeitung
 - Bilder verwalten
 - Bilder digital bearbeiten: Farben, Belichtung, Ausschnitte, Schärfe, Effekte...

Das Modul – Ablauf

- **Normalerweise:** 44 Stunden Präsenzveranstaltung und Übungen
- Theorieteil: Technische Entwicklung, Sensoren, Kameras, Methoden, Bildausgaben am Monitor und auf Papier
- Praxisteil
 - Fotografieren mit einer DSLR (oder einer eigenen Kamera anderen Typs)
 - Selbst aufgenommene Bilder gestalten und bearbeiten
- Prüfungsvorbereitung
- Prüfung: Klausur, 50% Anteil von insgesamt 180 min Prüfungsleistung
 - Wissen
 - Praktische und methodische Vorgehensweisen
- **Aktuell:** Theorierteil online-LV, Planung des Praxisteils noch offen

Das Modul – Lernziele

- Technik, Komponenten und Funktionsweise digitaler Kameras kennen und verstehen
- Sensoren und Kameratypen qualitativ und bezüglich der Eignung für bestimmte Aufgaben einschätzen
- Techniken zur Aufnahme und Ausgabe farbiger Bilder und Methoden des Farbmanagements kennen und anwenden können
- Technische und künstlerische Mittel zur Gestaltung von Bildern kennen, beschreiben und einsetzen
- Software zur Bildverwaltung und -bearbeitung kennen und Bilder so bearbeiten können, dass ein beabsichtigter Eindruck entsteht

Das Modul – Literatur

- Bisping, B., Böhm, M., Heinen, G., Kamp, W. (2014): *Professionelle Bildbearbeitung*; Europa Lehrmittel
- Bühler, P. (2017): *Digitale Fotografie: Fotografische Gestaltung - Optik - Kameratechnik*. Berlin, Heidelberg; Springer Vieweg.

Themenübersicht

- Das Modul Bildbearbeitung
 - Ablauf, Lernziele, Prüfungen, Literatur
- **Fotografie**
 - Grundlagen, Entwicklung, Film und Bildaufnahmeröhren
- Aktuelle Bildsensoren und Kameras
 - CCD, CMOS, Formfaktor und Größe
 - Komponenten, Typen: Smartphone, Kompakt- und Bridgekameras, DSLR und DSLM
- Bildgestaltung
 - Gestaltungs- und Kompositionstechniken kennenlernen und praktisch anwenden
- Bildverwaltung und Bildbearbeitung
 - Bilder verwalten
 - Bilder digital bearbeiten: Farben, Belichtung, Ausschnitte, Schärfe, Effekte...

Fotografie

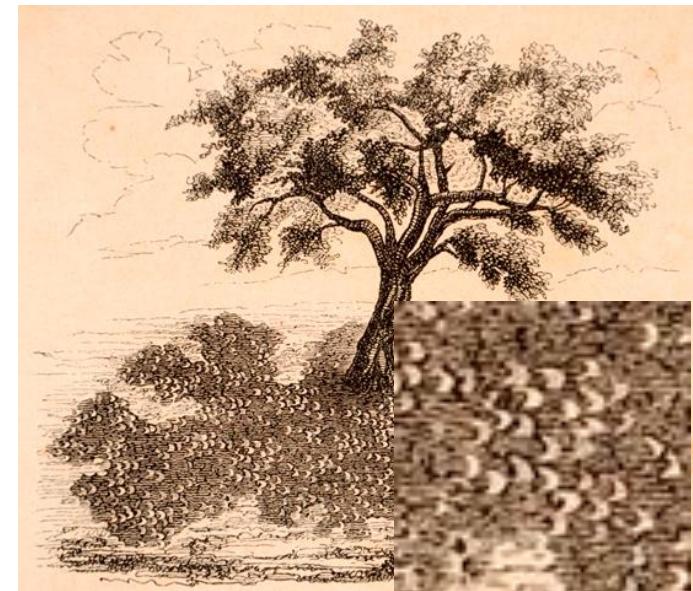
Grundlagen: Eine kurze Geschichte der Fotografie

- Das Loch in der Wand: Die Camera Obscura
- Das erste festgehaltene Bild: Ein Blick aus dem Arbeitszimmer
- Die Daguerreotypie: Bild hinter Glas
- Vom Glas zu Negativ und Positiv und Film
- Kleinbildfilm und Kleinbildkamera
- Elektronen statt Silbersalz: Halbleitersensoren für Fernsehkameras
- Moderne Sensoren und Kameras
- Blick in die Zukunft

Fotografie – Entwicklung

Das Loch in der Wand: Die Camera Obscura

Aristoteles (384-322 v. Chr.) beschreibt die Abbildung der halb abgeschatteten Sonnenscheibe durch kleine Zwischenräume im Laub einer Platane während einer partiellen Sonnenfinsternis



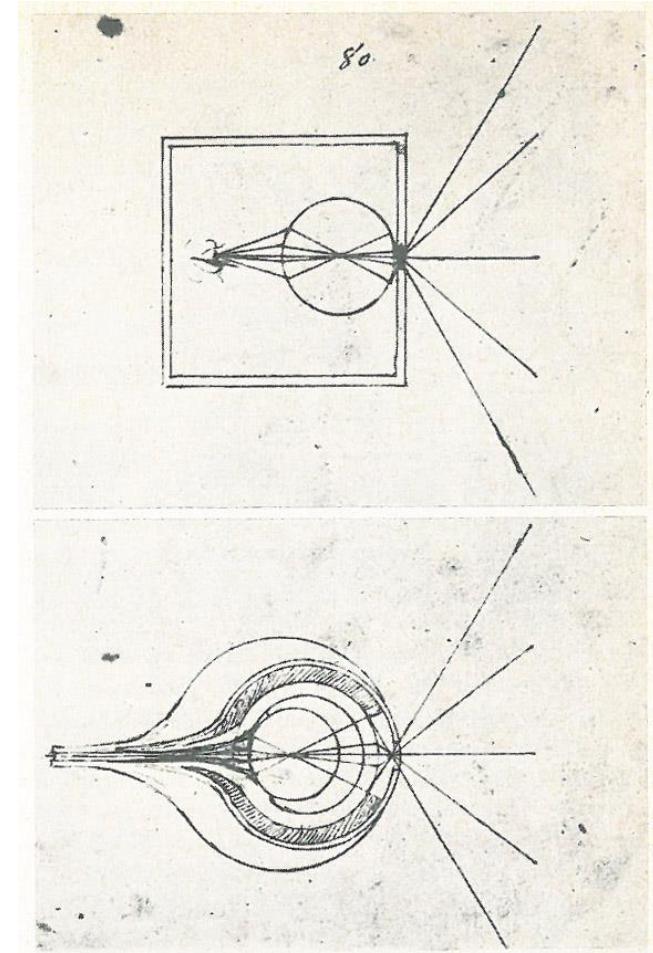
Verändert nach www.photobibliothek.ch/seite007ap.html

Fotografie – Entwicklung

Das Loch in der Wand: Die Camera Obscura

Leonardo da Vinci (1452-1519) macht ähnliche Beobachtungen zur Camera Obscura.

Dabei erkennt er die Verwandtschaft des Abbildungsvorgangs mit dem des menschlichen Auges



Leonardo Da Vinci, Strahlengang in Camera obscura und Auge. Codex Atlanticus 1490-95, Quelle: commons.wikimedia.org

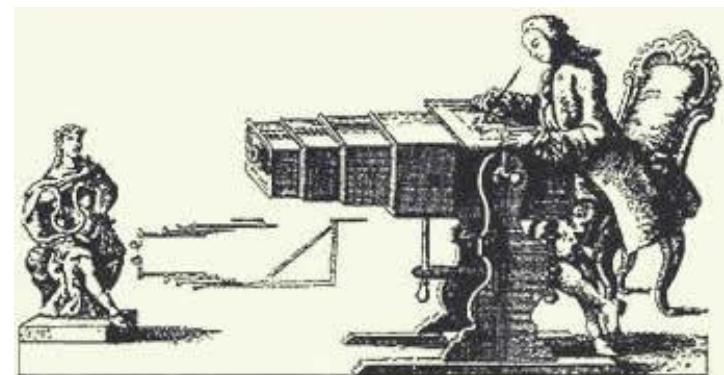
Fotografie – Entwicklung

Camera Obscura – erste Verbesserungen

- Ab dem 16. Jahrhundert wird das Loch durch eine Glaslinse ersetzt, was zu hellerer und schärferer Abbildung führt
- Projiziert wird auf eine abgedunkelte Mattscheibe
- Gebrauchswert: Abzeichnen eines originalgetreuen Abbildes von der Mattscheibe, später mit Spiegel



Quelle: www.photobibliothek.ch/seite007ap.html



Aus: Georg Friedrich Brander (1769), Beschreibung dreyer Camerae Obscurae. Quelle: precinemahistory.net/1750.htm

Fotografie – Entwicklung

Das erste festgehaltene Bild: Ein Blick aus dem Arbeitszimmer

- Der Franzose Nicéphore Niépce bildet 1826/27 mit 8 Stunden Belichtungszeit erstmals dauerhaft den Blick aus seinem Arbeitszimmer durch eine Camera Obscura ab.
- 1839 entwickelt Louis Daguerre ein besseres Verfahren, das als **Daguerreotypie** bis 1850 weltweit verwendet wird.



Joseph Nicéphore Niépce (1827): Blick aus dem Arbeitszimmer in Le Gras. Quelle: Creative Commons

Fotografie – Entwicklung

Die Daguerreotypie: Bild hinter Glas

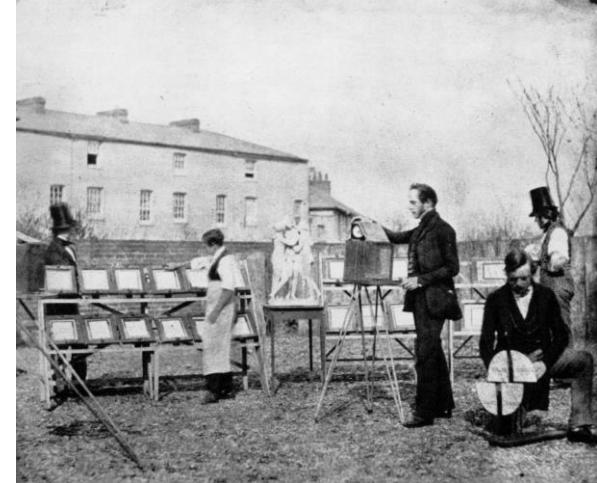
- Polierte, versilberte Kupferplatten werden mit Jod bedampft
- Eine Platte mit lichtempfindlicher Schicht aus Silberjodid entsteht, die in der Daguerreotypie-Kamera belichtet wird
- Nach Bedampfen mit Quecksilber und Fixieren entsteht ein scharfes, bereits sehr detailreiches Bild
- Jedes Bild ist ein **Unikat** und äußerst berührungssempfindlich. Deshalb wird es luftdicht hinter Glas eingeschlossen



Daguerreotypie-Kamera. Quelle:
Deutsches Museum



Louis Daguerre im Jahr 1844. Quelle:
Creative commons

Quelle: www.wikiwand.com

Fotografie – Entwicklung

Vom Glas zu Negativ, Positiv und Film

- In England entwickelt William Henry Fox Talbot ab 1834 ein Verfahren, das eine lichtempfindliche Schicht aus Silberjodid auf Papier verwendet: **Kalotypie**
- Bei Belichtung in einer Camera Obscura entsteht ein **Negativ**, das in einer Nachbehandlung mit Natriumthiosulfat **fixiert** und dadurch lichtunempfindlich wird
- Durch **Kopieren** können so **beliebig viele Positive** erstellt werden
- Das Verfahren wird 1841 patentiert, ist billiger und einfacher als die Daguerreotypie, liefert aber vor allem wegen ungünstiger Eigenschaften des Papiers weniger überzeugende Bildqualität

Fotografie – Entwicklung

Vom Glas zu Negativ, Positiv und Film

- Fortschritte in der Entwicklung lichtempfindlicher Chemikalien, der Träger und der Optik ermöglichen jetzt Belichtungszeiten im Sekundenbereich
- Die Kamera bekommt den **Verschluss**, der solche kurzen Zeiten präzise realisiert
- Nach Glas kommen Papier und Zelluloid als Träger der lichtempfindlichen Schicht („Emulsion“) zum Einsatz, zunächst als Planfilm in **Plattengröße**, z.B. 13x18cm

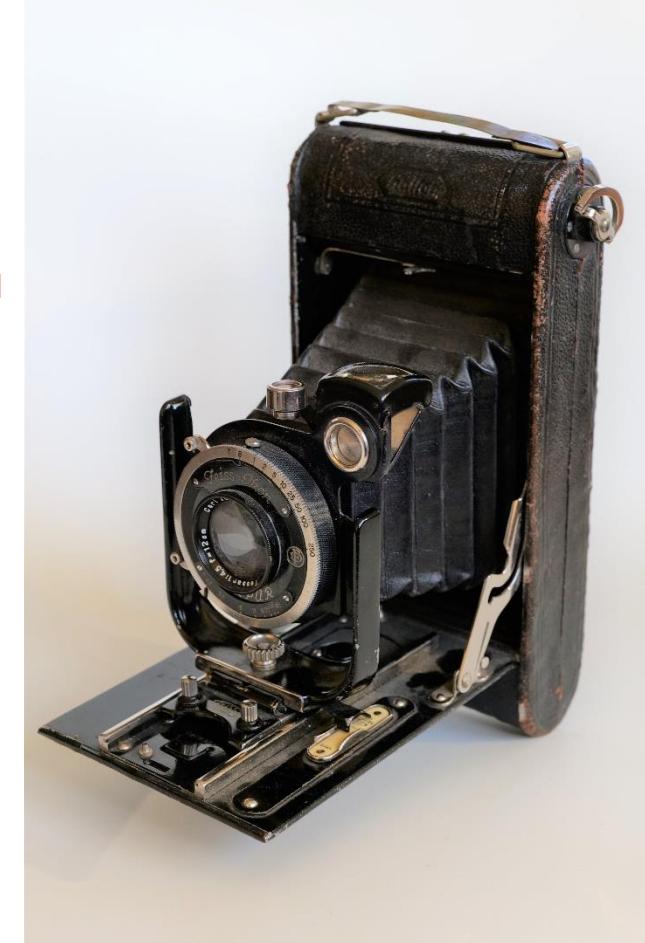


Quelle: [www.museen.thueringen.de/
Objekt/DE-MUS-047529](http://www.museen.thueringen.de/Objekt/DE-MUS-047529)

Fotografie – Entwicklung

Vom Glas zu Negativ, Positiv und Film

- Ab 1848 gibt es Film auf einer Papierrolle
- Um 1890 kommt nach Patentstreitigkeiten mit dem eigentlichen Erfinder Hannibal Goodwin ein von der Fa. Eastman Kodak entwickelter **Rollfilm** auf den Markt:
61mm breiter Film auf einer Rolle
- Weitere Formate sind üblich, z.B. 8x10,5cm
- Rollfilm für Bildformate wie 6x6cm oder 6x9cm ist auch heute noch erhältlich und liefert hohe Bildqualität in schwarzweiß



Zeiss-Ikon Rollfilm-Kamera halloh 505/1 von 1927-1928, Neupreis 139,- RM

Fotografie – Entwicklung

Kleinbildfilm und Kleinbildkamera

- Nach Einführung des **Kinofilms** mit 35 mm Breite wurde dieses Format auch für Einzelbilddaufnahmen eingesetzt.
- Die Fa. Leitz entschied sich 1914, die ein Jahr zuvor vom Mitarbeiter Oskar Barnack entwickelte Kleinbildkamera zu produzieren. Sie ist heute als **Ur-Leica** bekannt.
- Das Bildformat ist 36x24mm – bis heute ein Standard auch in der Digitalen Welt



Ur-Leica, 1914. Quelle: Leica Microsystems

Fotografie – Entwicklung

Kleinbildfilm und Kleinbildkamera

- Qualität, Handhabung und Preis stehen beim Kleinbildformat in einem so günstigen Verhältnis, dass schnell auch Hobbyfotografen zu den kleinen und leichten Kameras greifen
- Die Kameras erhalten motorischen Filmtransport, Elektronik zur Messung der Belichtung und weitere Add-Ons
- Bis zur Einführung der Digitalfotografie dominiert der Kleinbildfilm den Markt

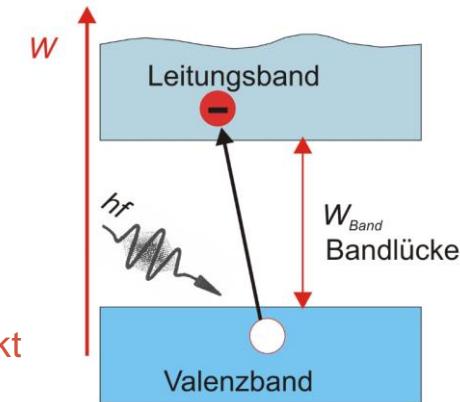
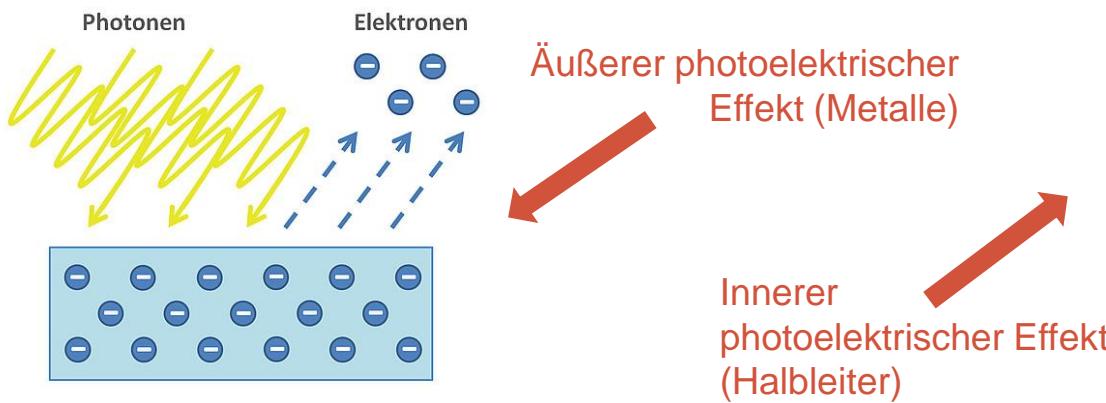


Voigtlander Vito B-126, darunter Rückseite mit 35mm KB-Film. Neupreis 1958 um 139,- DM

Alternativen zu Film

Elektronen statt Silbersalz: Sensoren in Fernsehkameras

- Filmkameras eignen sich nicht für eine direkte Bildübertragung, weil stets Entwicklungs- und Kopierprozesse erforderlich sind
- Die Alternative: Abbildung mithilfe des **photoelektrischen Effektes**



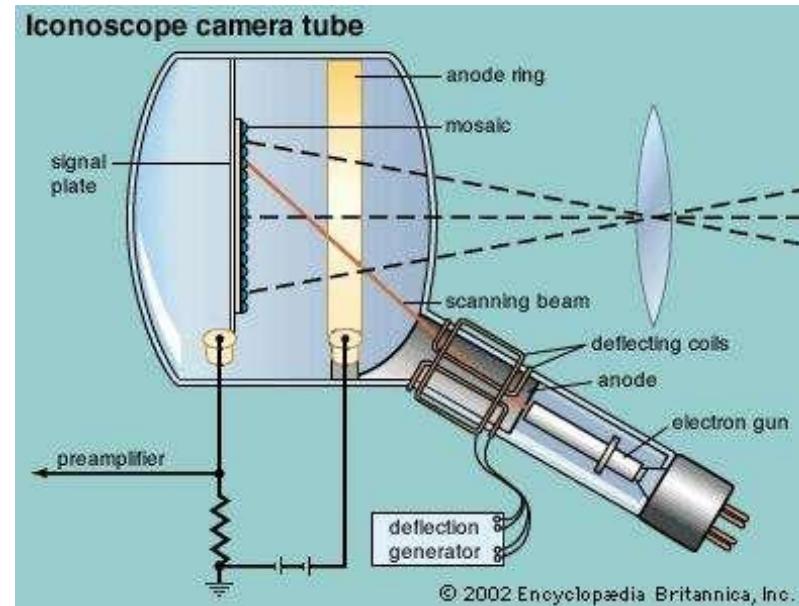
Alternativen zu Film

Elektronen statt Silbersalz: Sensoren in Fernsehkameras

- Vladimir Zworykins **Ikonoskop** mit Patentantrag von 1923: Auf ein **Mosaik aus Silber/Caesiumpartikeln** auftreffende Photonen werden in elektrische Ladung umgewandelt und lokal gespeichert
- Die gespeicherte Ladung lässt sich zeilenweise auslesen, in ein elektrisches Signal umwandeln, verstärken und wiedergeben



Quelle: uv201.com



Quelle: cdn.britannica.com

Alternativen zu Film

Elektronen statt Silbersalz: Sensoren in Fernsehkameras

- Weltausstellung 1939 in New York: Die RCA stellt ein auf Ikonoskop und Braunscher (Bild)-Röhre basierendes Fernsehsystem vor
- Das Ikonoskop wird über mehrere Schritte optimiert, vor allem zur Erhöhung der Lichtempfindlichkeit: **Super-Ikonoskop** und **Orthiskop**

Alternativen zu Film

Elektronen statt Silbersalz: Sensoren in Fernsehkameras

- Um 1950 wird mit dem **Vidicon** eine deutlich kleinere und sparsamere Bildaufnahmeröhre eingeführt.
- Die lichtempfindliche Schicht (Target) ist mit **Selen** erstmals ein **Halbleiter**
- 1962 verbessert Philips mit dem **Plumbicon** durch die Verwendung von **Bleioxid als Target** Lichtempfindlichkeit und Bildqualität drastisch

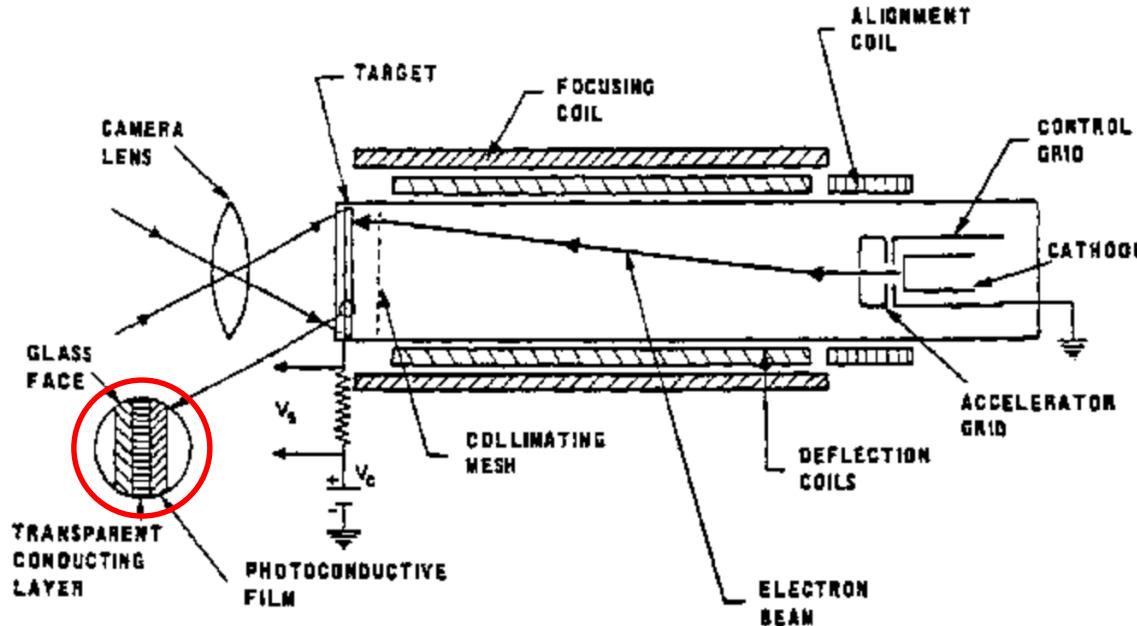


Quelle: de.wikipedia.org/wiki/Vidicon, Foto Pault.

Alternativen zu Film

Elektronen statt Silbersalz: Sensoren in Fernsehkameras

- Die Funktionsweise



Quelle: en.wikipedia.org

Alternativen zu Film

Elektronen statt Silbersalz: Sensoren in Fernsehkameras

- Ein werbetechnisches Kuriosum: Die Größenangaben
- Die Größe der Bildaufnahmeröhren wird in Zoll angegeben, gemessen als **Außendurchmesser der Sensorseite der Röhre**
- 1“ = 2,54 cm

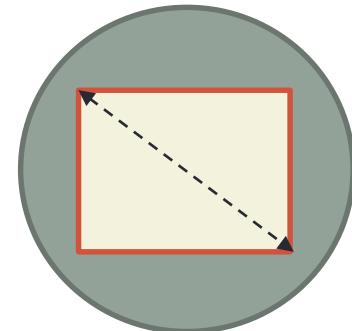


Quelle: de.wikipedia.org/wiki/Vidicon, Foto PaulT.

Alternativen zu Film

Elektronen statt Silbersalz: Sensoren in Fernsehkameras

- Ein werbetechnisches Kuriosum: Die Größenangaben
- Von der Fläche sind nur rund 2/3 nutzbar, beim Bildformat 4:3 etwa 13x10 mm
- 1"-Röhre = rund 16,4 mm Sensordiagonale



- Diese Umrechnung gilt grundsätzlich auch für heutige Sensoren!

Alternativen zu Film

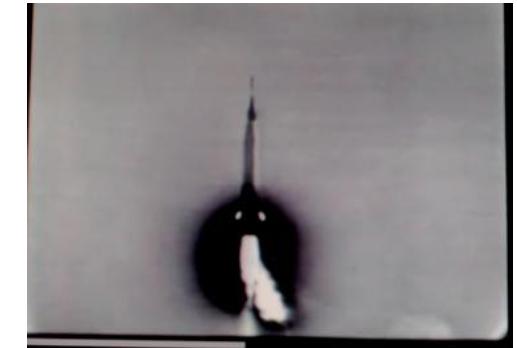
Elektronen statt Silbersalz: Sensoren in Fernsehkameras

- Die wesentlichen Nachteile der Bildaufnahmeröhren:

- Groß
- Hoher Energieverbrauch
- Mäßige Lichtempfindlichkeit
- Begrenzte Lebensdauer
- Hoher Dunkelstrom
- Nachzieheffekt / Comet Tailing
- Fackeleffekt / Blooming / Dark Halo
- ...



Youtube, VWestlife, 25.02.2011



www.youtube.com/watch?v=GVB5dg7XX_g&t=57s

Alternativen zu Film

Elektronen statt Silbersalz: Sensoren in Fernsehkameras

- Mitte der 1970er Jahre erste Kameras mit **CCD-Sensor** verfügbar
- Entwicklung von Röhrenkameras nur bis Ende der 70er Jahre
- 1983 enter the **RCA CCD-1**, Farbfernsehkamera mit Bildaufnahme mittels lichtempfindlicher Halbleiter



Quelle: www.tvcameramuseum.org

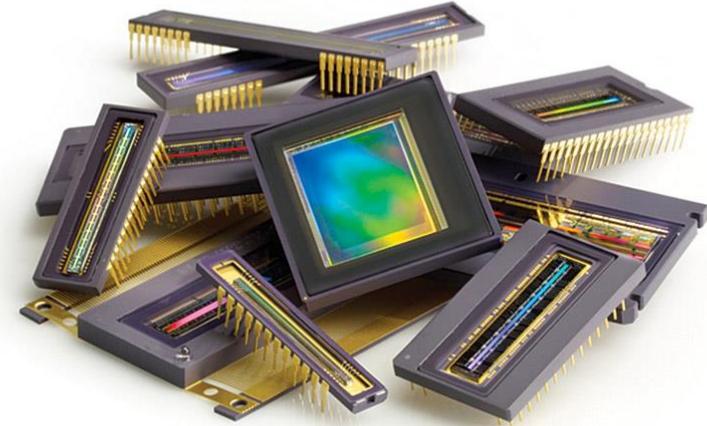
Themenübersicht

- Das Modul Bildbearbeitung
 - Ablauf, Lernziele, Prüfungen, Literatur
- Fotografie
 - Grundlagen, Entwicklung, Film und Bildaufnahmeröhren
- Aktuelle Bildsensoren und Kameras
 - **CCD, CMOS, Formfaktor und Größe**
 - Kompakt- und Bridgekameras, DSLR und DSLM
- Bildgestaltung
 - Gestaltungs- und Kompositionstechniken kennenlernen und praktisch anwenden
- Bildverwaltung und Bildbearbeitung
 - Bilder verwalten
 - Bilder digital bearbeiten: Farben, Belichtung, Ausschnitte, Schärfe, Effekte...

Aktuelle Sensoren

Übersicht der Sensortypen 1

- **CCD (Charge Coupled Device)**
 - Mehrere Varianten in Bezug auf das Auslesen der Daten
- **CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)**
 - Mehrere Varianten in Bezug auf Anzahl und Verteilung der Transistoren zum Auslesen und der weiteren Verarbeitung der Daten
- Varianten in Bezug auf die **Einfallsrichtung** des Lichtes
- Varianten mit verschiedenen Anordnungen der Sensorelemente



Quelle: Teledyne DALSA

Aktuelle Sensoren

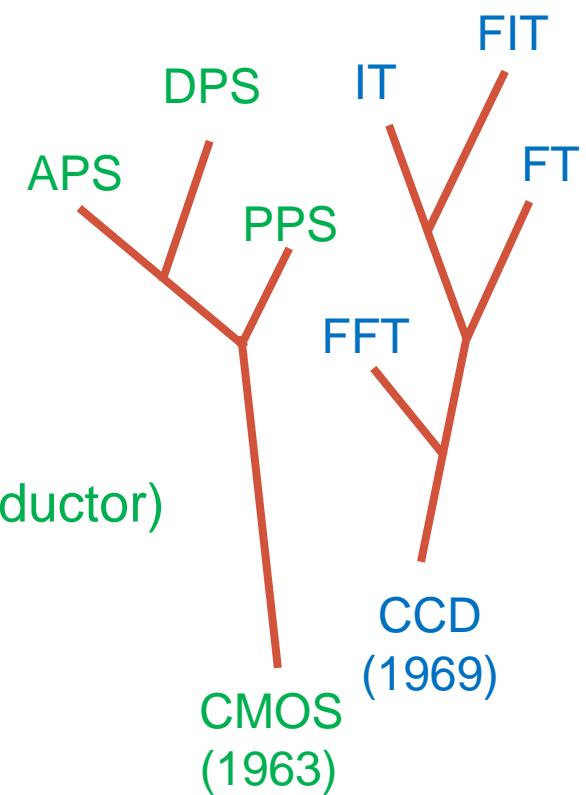
Übersicht der Sensortypen 2

CCD (Charge Coupled Device)

- Full Frame Transfer CCD
- Frame Transfer CCD
- Interline Transfer CCD
- Frame Interline Transfer CCD

CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)

- Passive Pixel Sensor
- Active Pixel Sensor
- Digital Pixel Sensor



Aktuelle Sensoren

Funktionsweise 1: CCD-Sensoren

- 1969 von Willard Boyle und George E. Smith von den Bell Laboratories Inc. entwickelt und 1970 publiziert
- Bei Experimenten mit **Ladungswolken in Halbleitern** entdeckt
- 2009 Physik-Nobelpreis für diese Entdeckung

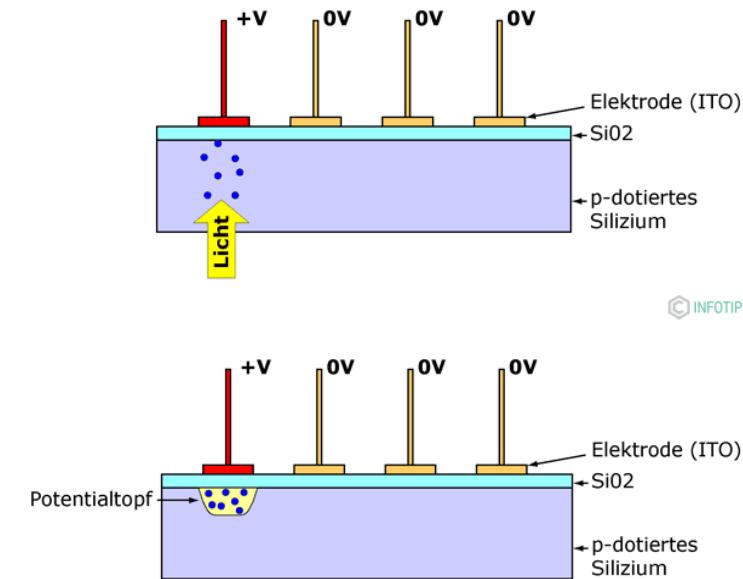


Quelle und ©: The Nobel Foundation.
Photo: U. Montan

Aktuelle Sensoren

Funktionsweise 1: CCD-Sensoren

- MOS-Kondensatoren auf einem p-dotierten SiO_2 -Halbleitersubstrat können in Reihen angeordnet werden
- Jeder Kondensator kann Ladungen speichern
- Die Ladung kann durch Licht, Strom oder Wärme erzeugt werden
- Die Ladungsansammlung sind örtlich begrenzt

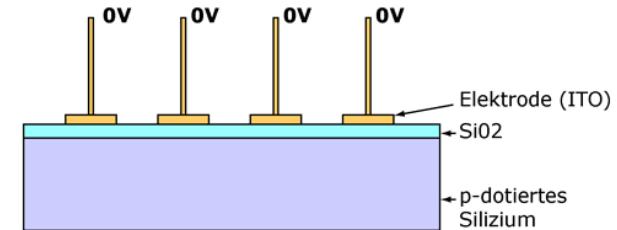


Quelle:
kompendium.infotip.de/bildsensoren.html

Aktuelle Sensoren

Funktionsweise 1: CCD-Sensoren

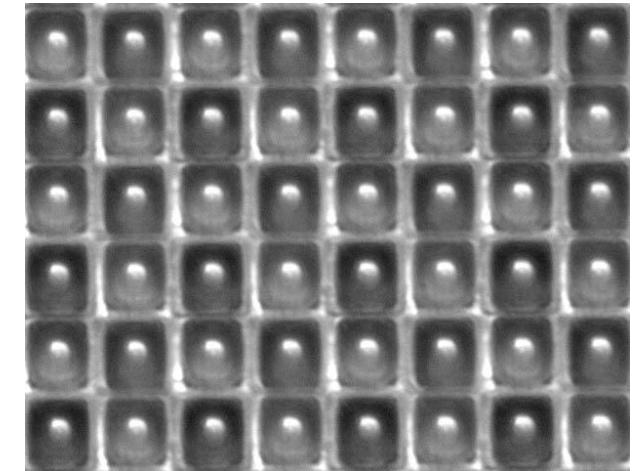
- Schrittweises Fortschalten einer Spannung verschiebt die Ladungen praktisch verlustfrei in einen benachbarten MOS-Kondensator
- Mit passender externer Beschaltung als **Speicher, Schieberegister oder Lichtsensor** einsetzbar



Aktuelle Sensoren

Funktionsweise 1: CCD-Sensoren

- Bei Anwendung als Lichtsensor bildet jeder MOS-Kondensator ein lichtempfindliches Bildelement oder **Pixel**
- Die pro Zeiteinheit gesammelte Ladungsmenge (Elektronen) in der Zelle ist der einfallenden Lichtmenge (Photonen) proportional
- Auf dem Sensor ist eine Vielzahl von Fotodioden untergebracht, aktuell technisch $> 100.000.000$ Pixel erreicht

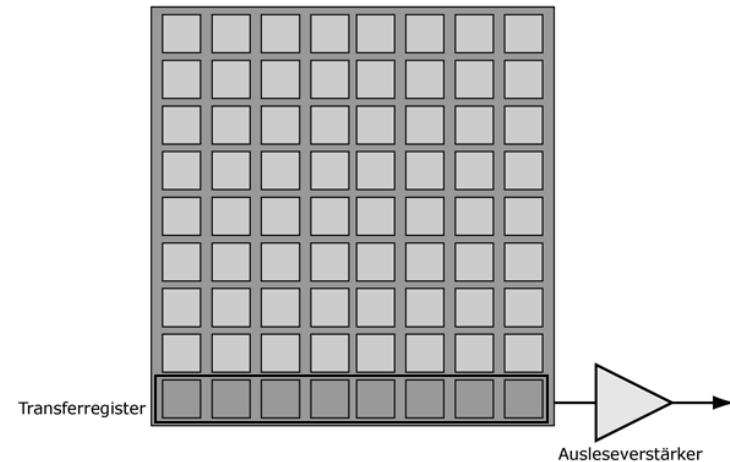


Sensorausschnitt bei 40facher Vergrößerung
Quelle: petapixel.com

Aktuelle Sensoren

Funktionsweise 1: CCD-Sensoren

- Auf die flächig angeordneten Fotodioden wird ein Bild projiziert
- Jede Fotodiode erhält eine diesem Bild entsprechende Lichtmenge
- Nach der Belichtung werden die Ladungen aller Zellen **verschoben und seriell ausgelesen.**
- Der Sensor liefert **analoge Bildsignale**, die Weiterverarbeitung erfolgt extern

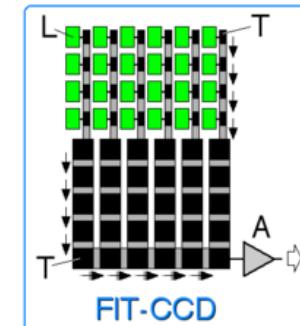
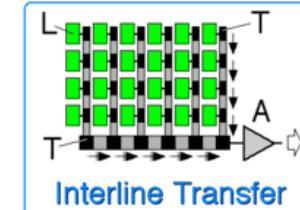
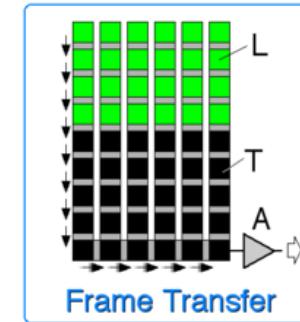
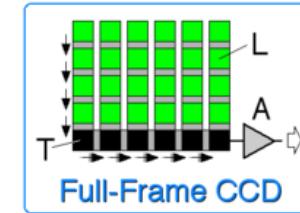


Quelle:
kompendium.infotip.de/bildsensoren.html

Aktuelle Sensoren

Funktionsweise 1: CCD-Sensoren

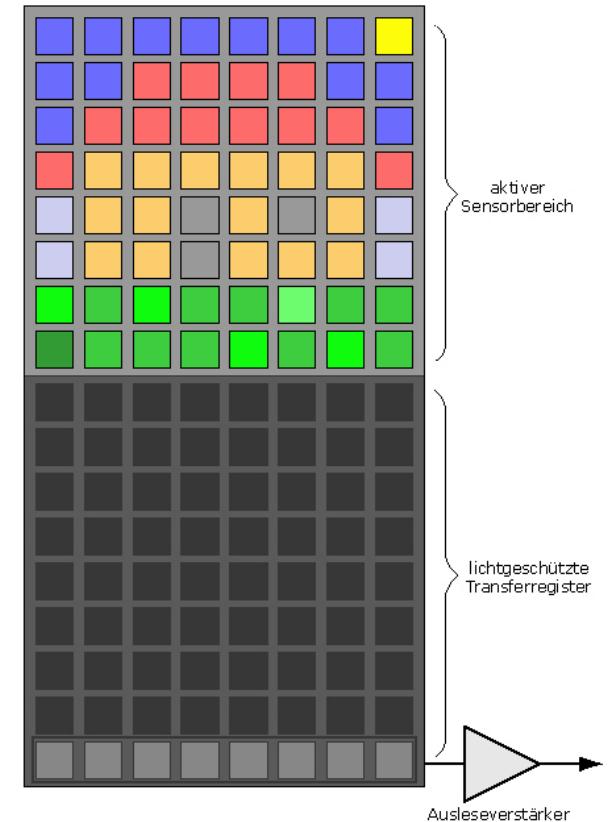
- Für das Auslesen wird relativ viel Zeit benötigt, sehr schnelle Bildfolgen sind nicht ohne Weiteres möglich
- Während des Auslesens darf kein Licht mehr auf die Zellen fallen, weil sonst Ladung hinzukommt, die das Bild verfälschen würde
- Lösungsansätze:
 - Mechanischer Verschluss
 - Variation und Optimierung des Ausleseverfahrens



Aktuelle Sensoren

Funktionsweise 1: CCD-Sensoren

- Variation 1 gegenüber dem einfachen FFT-CCD: **Frame Transfer-CCD**
- Neben dem lichtempfindlichen Sensorbereich liegt ein **abgedeckter Bereich mit der gleichen Zellenanzahl**
- Das Bild wird schnell und vollständig (**Frame**) in dieses lichtgeschützte **Transferregister** übertragen
- Erst von dort wird es zeilenweise ausgelesen.

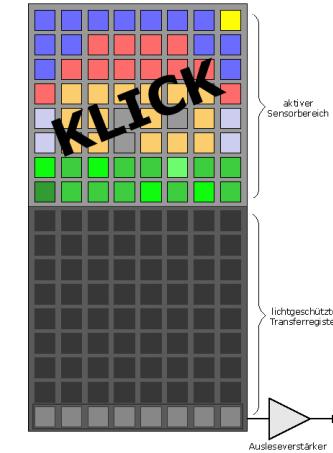


Quelle:
kompendium.infotip.de/bildsensoren.html

Aktuelle Sensoren

Funktionsweise 1: CCD-Sensoren

- Vorteile von Frame Transfer-CCDs:
 - Etwas schnellere Bildfolgen, weil der Sensor parallel zum Auslesen schon wieder belichtet werden kann
 - Die einzelnen Fotodioden sind genauso groß wie beim FFT-CCD, sie besitzen die gleiche Empfindlichkeit
 - Bei längeren Belichtungszeiten Verzicht auf mechanischen Verschluss möglich
- Nachteile von Frame Transfer-CCDs:
 - Doppelte Sensorfläche benötigt
 - Höherer Preis
 - Für kurze Belichtungszeiten noch immer ein mechanischer Verschluss erforderlich



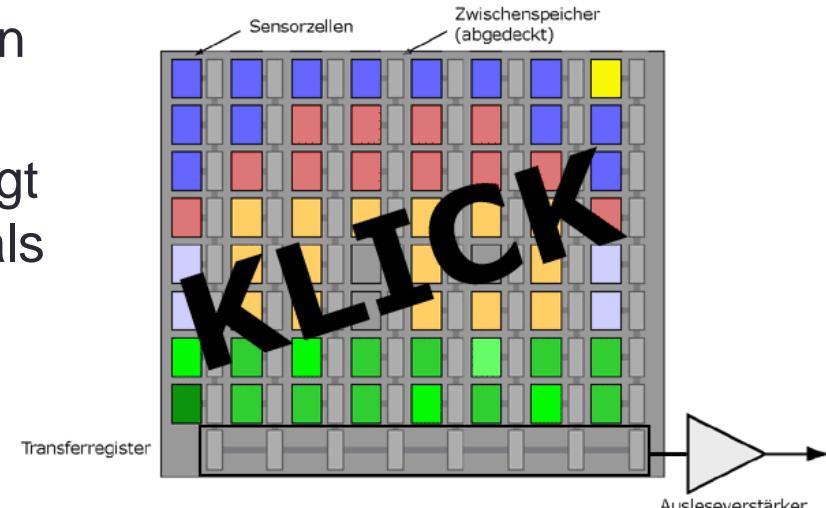
Quelle:
kompendium.infotip.de/bildsensoren.html



Aktuelle Sensoren

Funktionsweise 1: CCD-Sensoren

- Variation 2 gegenüber dem einfachen FFT-CCD: **Interline Transfer-CCD**
- Neben jeder einzelnen Fotodiode liegt ein **abgedeckter Zwischenspeicher** als Transferregister
- Das Bild wird sehr schnell in die Zwischenspeicher transferiert
- Erst von dort wird zeilenweise ausgelesen.

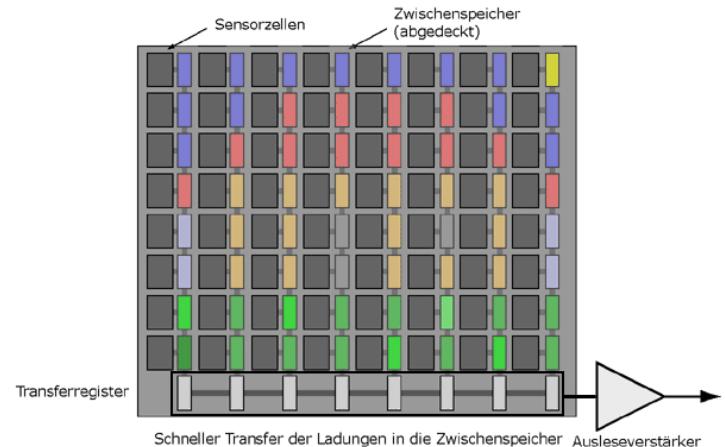


Quelle:
kompendium.infotip.de/bildsensoren.html

Aktuelle Sensoren

Funktionsweise 1: CCD-Sensoren

- Vorteile von Interline Transfer-CCDs:
 - Noch einmal schnellere Bildfolgen, weil der Sensor parallel zum weiter beschleunigten Auslesen schon wieder belichtet werden kann
 - Verzicht auf mechanischen Verschluss üblich
- Nachteile von Frame Transfer-CCDs:
 - Die Fläche der nutzbaren Fotodioden nimmt bei gegebener Sensorgröße ab (kleinerer Fill-Factor), damit geringere Lichtempfindlichkeit und mehr Rauschen bei wenig Licht.
 - Empfindlich für **Smearing**: Unerwünschte Sättigung oder Übertreten von Ladungen in benachbarte Fotodioden oder Transferregisterzellen, die das Bild stören
- Häufigste Bauart bei CCD-basierten Kameras

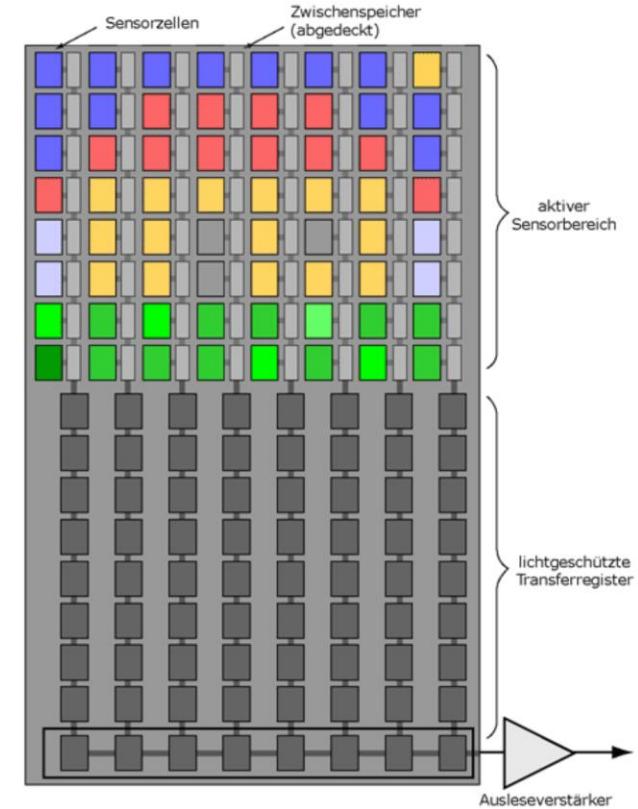


Quelle:
kompendium.infotip.de/bildsensoren.html

Aktuelle Sensoren

Funktionsweise 1: CCD-Sensoren

- Variation 3 gegenüber dem einfachen FFT-CCD: **Frame Interline Transfer-CCD**
- Kombiniert die Techniken des Frame und des Interline Transfer-CCD
- Vorteile:
 - Deutlich reduziertes Smearing durch schnellsten Ladungstransport in völlig abgedunkelten Bereich
 - Kein mechanischer Verschluss nötig
- Nachteil:
 - Teuer, da pro Bildelement drei Zellen erforderlich



Quelle:
kompendium.infotip.de/bildsensoren.html

Aktuelle Sensoren

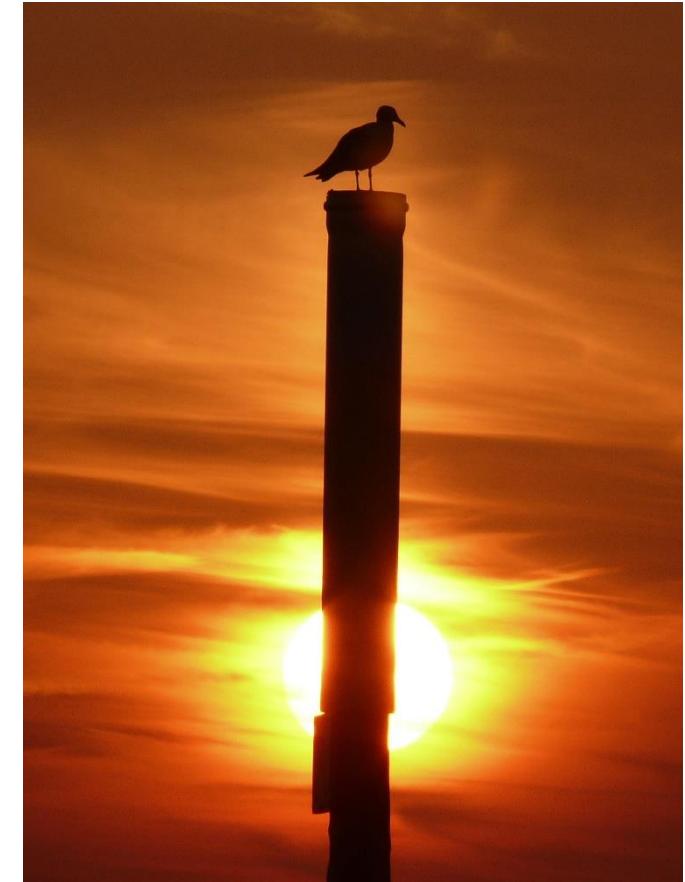
Eigenschaften von CCD-Sensoren

- **Vorteile:**
- Hohe Lichtempfindlichkeit und wenig Rauschen wegen des großen möglichen **Fill Factors** (Anteil der lichtempfindlichen Fläche von der Gesamtfläche)
- Weniger defekte Pixel aufgrund der einfachen Struktur
- Da alle Pixel vom gleichen Verstärker ausgelesen werden: sehr homogenes Bild
- Für industrielle und wissenschaftliche Anwendungen mit hohen Qualitätsanforderungen lange konkurrenzlos

Aktuelle Sensoren

Eigenschaften von CCD-Sensoren

- **Nachteile:**
- Das Spalten- und Zeilenweise Auslesen begrenzt die Geschwindigkeit
- Der Sensor kann nur als Ganzes ausgelesen werden, keine Teilbereiche
- Die Anzahl der Elektronen je Pixel ist endlich, Sättigung bei Überbelichtung
- Negative Effekte dieser Sättigung:
Blooming und **Smearing**



Blooming: Die Sonne sättigt die Pixel und Elektronen treten in den Schatten des Pfahls

Aktuelle Sensoren

Eigenschaften von CCD-Sensoren

- **Nachteile:**
- Das Spalten- und Zeilenweise Auslesen begrenzt die Geschwindigkeit
- Der Sensor kann nur als Ganzes ausgelesen werden, keine Teilbereiche
- Sehr empfindlich für Sättigungs- und Übersteuerungseffekte: **Blooming** und **Smearing**

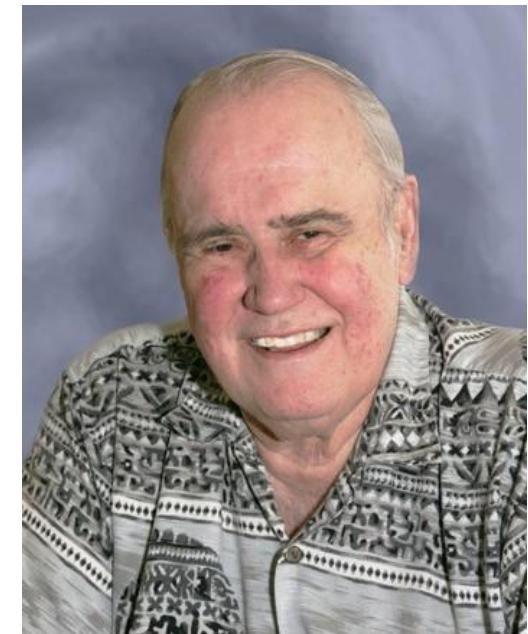


Quelle:
www.youtube.com/watch?v=bdTpW2ERcQo

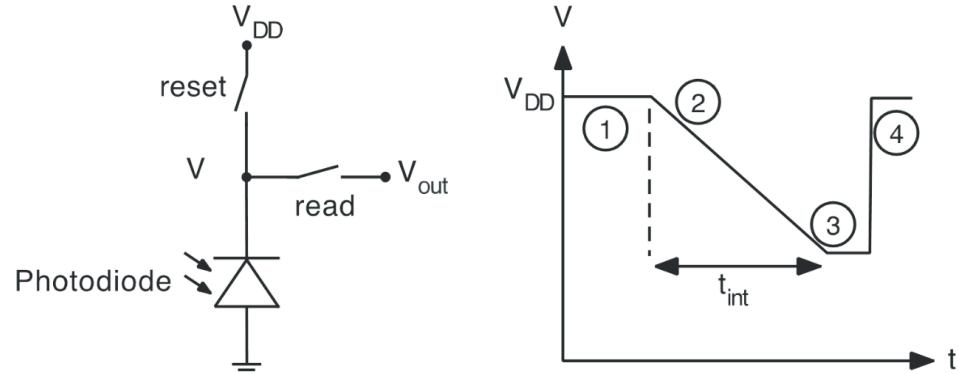
Aktuelle Sensoren

Funktionsweise 2: CMOS-Sensoren

- CMOS-Technik 1963 beschrieben von Frank Wanlass und 1967 patentiert
- 1968 erster Logik-Schaltkreis der CDC 40XX-IC-Familie
- Grundlage der Computertechnologie
- CMOS-Sensoren für Bildverarbeitung ab Mitte der 1970er Jahre eingesetzt



Frank Wanlass (2009). Quelle: www.ithistory.org/honor-roll/dr-frank-marion-wanlass



Quelle: mediatum.ub.tum.de/doc/1108520/558314.pdf

Aktuelle Sensoren

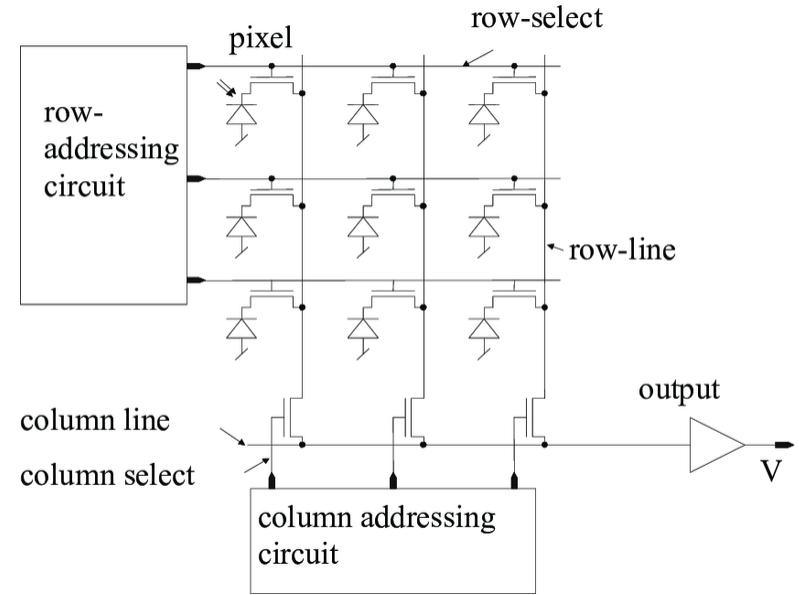
Funktionsweise 2: CMOS-Sensoren

- Die Pixel im CMOS-Sensor anders anders als im CCD-Sensor keine einfachen Kondensatoren sondern Fotodioden mit getrennten Schaltern für Reset und Auslesen
- Diese Fotodioden werden in Sperrrichtung betrieben und fungieren so als Kondensator
- Licht erzeugt einen Strom in Sperrrichtung durch die Fotodiode, der diesen Kondensator entlädt und so die Spannung reduziert
- Das Pixel wird anfangs per **Reset** auf einen definierten Spannungswert V_{DD} gehoben, während t_{int} belichtet und schließlich per **Read** die belichtungsabhängige Spannung V_{out} ausgelesen

Aktuelle Sensoren

Funktionsweise 2: CMOS-Sensoren

- Die Schalter sind als MOSFET-Transistoren ausgebildet und über Datenleitungen mit einer Zeilen- und Spaltenadressierung verbunden
- Diese ersten CMOS-Sensoren heißen **Passive Pixel Sensors**
- Die langen Datenleitungen führen zu stärkerem Rauschen und begrenzen die Auslesegeschwindigkeit



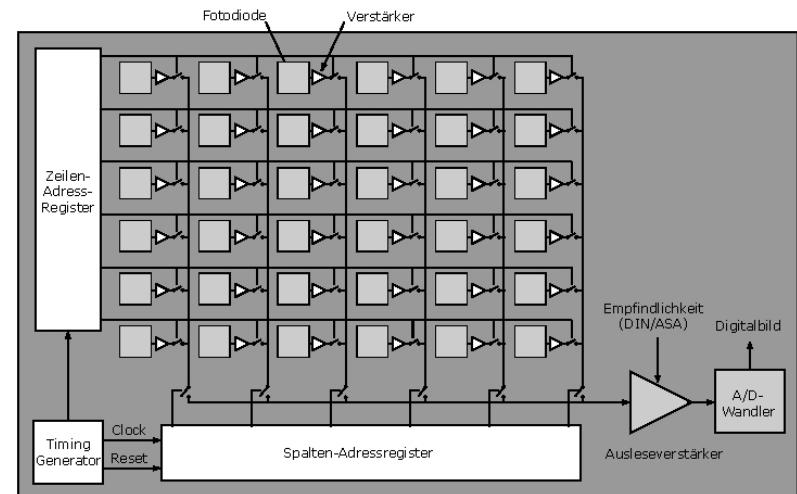
Quelle:

www.researchgate.net/figure/Architecture-of-CMOS-passive-image-sensor-6_fig2_2909829

Aktuelle Sensoren

Funktionsweise 2: CMOS-Sensoren

- Ladungen werden nach Belichtung schnell seriell ausgelesen
- Adressregister übernehmen die Steuerung des Auslesevorgangs aller Spalten und Zeilen
- Die Register und die Komponenten zur weiteren Verarbeitung sind auf dem Sensorchip untergebracht



Quelle:
kompendium.infotip.de/bildsensoren.html

Aktuelle Sensoren

Eigenschaften früher PPS-CMOS-Sensoren

Vorteile:

- Sehr geringe Leistungsaufnahme
- Signalverarbeitung on-Chip: viel preisgünstigere Kameras möglich

Nachteile:

- Hoher Platzbedarf für Elektronik **reduziert Fill Factor**, z.T. unter 30%
- **Geringe Quanteneffizienz** (Wirkungsgrad Photonen zu Elektronen),
- mehr Rauschen, weniger Dynamik, real kaum schneller als CCD
- Fertigungstechnik erlaubt nur geringe Dichte der Fotodioden

Konsequenz: Wegen geringerer Bildqualität zunächst ohne Bedeutung

Aktuelle Sensoren

Entwicklung der CMOS-Sensoren

- Ende der 80 Jahre Einsatzreife für geringere Anforderungen, z.B. optische Computermaus
- Ab 1990 arbeitet Eric Fossum am NASA **Jet Propulsion Laboratory** an CMOS-Sensoren
- Er betreibt Grundlagenforschung zu **Active Pixel Sensors** mit folgender Idee:
- Zur Verbesserung des Rauschabstandes bekommen alle Pixel als dritten Transistor ihren eigenen **lokalen Verstärker**

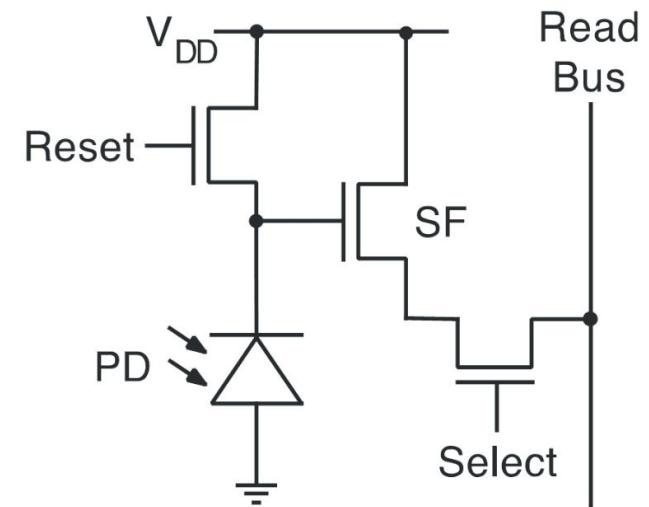


Quelle: www.invent.org/inductees/eric-fossum

Aktuelle Sensoren

Entwicklung der CMOS-Sensoren

- Der als Source-Folger geschaltete dritte Transistor liefert mehr Strom in die Datenleitung und löst so das Problem des zu hohen Rauschens
- Allerdings sinkt mit dem zusätzlichen Platzbedarf für den dritten Transistor die nutzbare Sensorfläche weiter ab



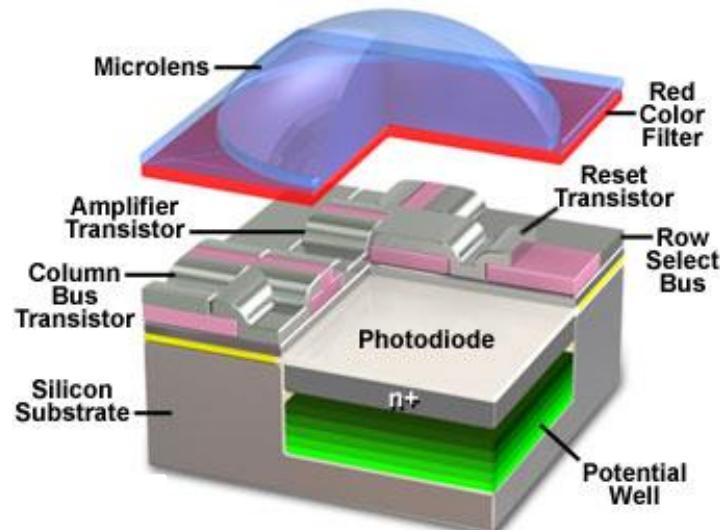
Quelle: mediatum.ub.tum.de/doc/1108520/558314.pdf

Aktuelle Sensoren

Entwicklung der CMOS-Sensoren

- Ab 1995 kommerzielle Herstellung von APS-Sensoren, u.a. für Webcams
- Fortschritte im Herstellungsprozess reduzieren den Platzbedarf für die nicht lichtempfindliche Elektronik
- Mikrolinsen vor jedem Pixel fokussieren das Licht auf die Photodiode
- Quanteneffizienz steigt auf rund 70% an

Anatomy of the Active Pixel Sensor Photodiode



Quelle: olympus-lifescience.com

Aktuelle Sensoren

Eigenschaften aktueller APS-CMOS-Sensoren

Vorteile:

- Sehr geringe Leistungsaufnahme
- Signalverarbeitung on-Chip: viel preisgünstiger als gleicher CCD
- Sehr schnelles Auslesen, auch von definierten Sensorbereichen (4K)
- Kaum störende Sättigungseffekte wie Blooming/Smearing

Nachteile:

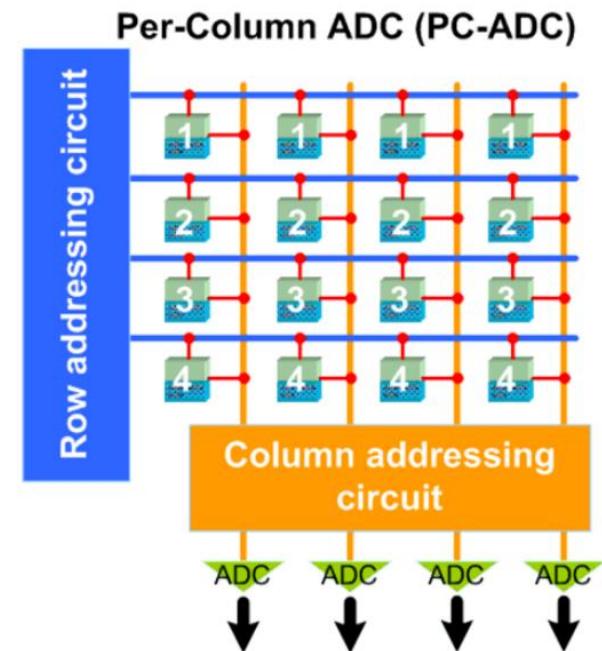
- Unterschiedlich empfindliche Pixel (inhomogenes Bild)
- Noch immer nicht ganz der gleiche Fill Factor wie bei CCD

Konsequenz: CMOS hat CCD verdrängt, CCD-Herstellung geht zurück

Aktuelle Sensoren

Sonderfall DPS-CMOS-Sensoren

- Für extreme Anforderungen an Dynamik und/oder Bildwiederholrate
- Statt eines AD-Wandlers erhält jede Spalte einen eigenen Wandler
- Teilweise parallele Datenverarbeitung auf dem Chip: deutlich schneller
- Rückkopplung mit Fotodioden bei Übersteuerung: Selbst-Reset und erneute Messung
- Nicht für Consumer-Anwendungen

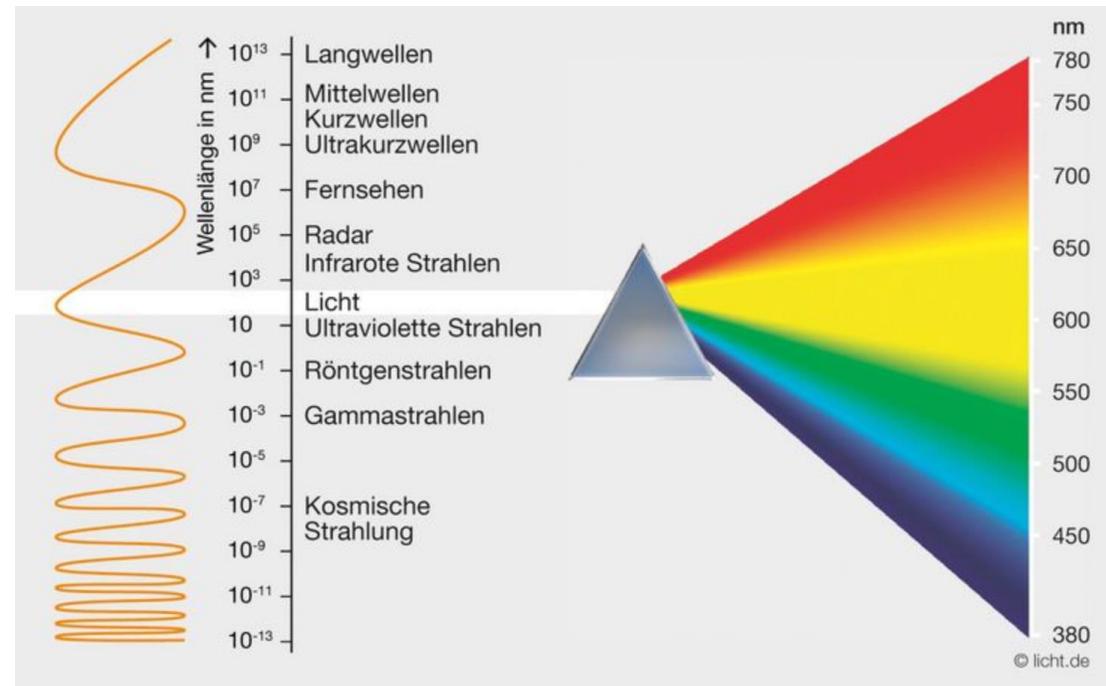


Quelle: mdpi.com/1424-8220/9/1/430/htm

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

- Was ist Farbe?
- Licht verschiedener Wellenlängen
- Von rot = **780nm** bis blau = **380nm**



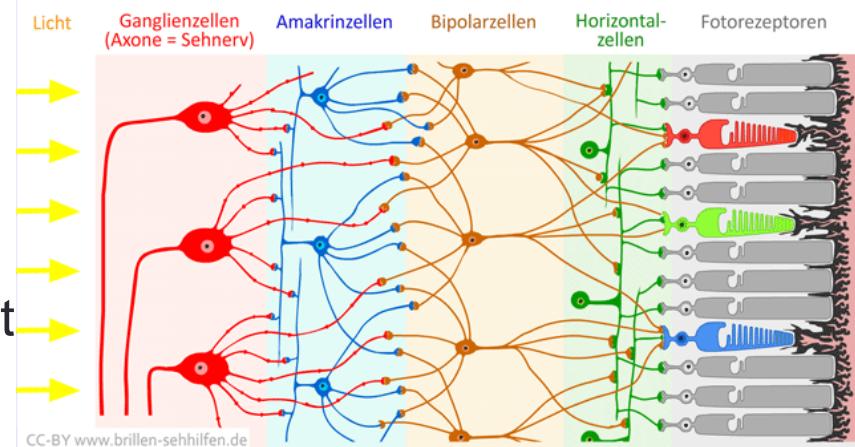
Quelle: www.licht.de/de/de/lichtlexikon

Aktuelle Sensoren

Farben und Farbwiedergabe

- Unser Auge besitzt Rezeptoren für Helligkeit und die drei Grundfarben **rot, grün und blau** (RGB)
- Wir können damit Millionen von Farben unterscheiden
- Detailauflösung und Empfindlichkeit für Farben sind jedoch geringer als für Helligkeit: „Nachts sind alle Katzen grau“

Aufbau der Netzhaut (Retina)



Quelle:
www.brillen-sehhilfen.de/auge/netzhaut-retina.php

Quelle:

www.brillen-sehhilfen.de/auge/netzhaut-retina.php

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

- Von uns als weiß wahrgenommenes Licht setzt sich aus der Summe der drei Grundfarben zusammen (additive Mischung). Die Gesamthelligkeit (Luminanz) ergibt sich zu:

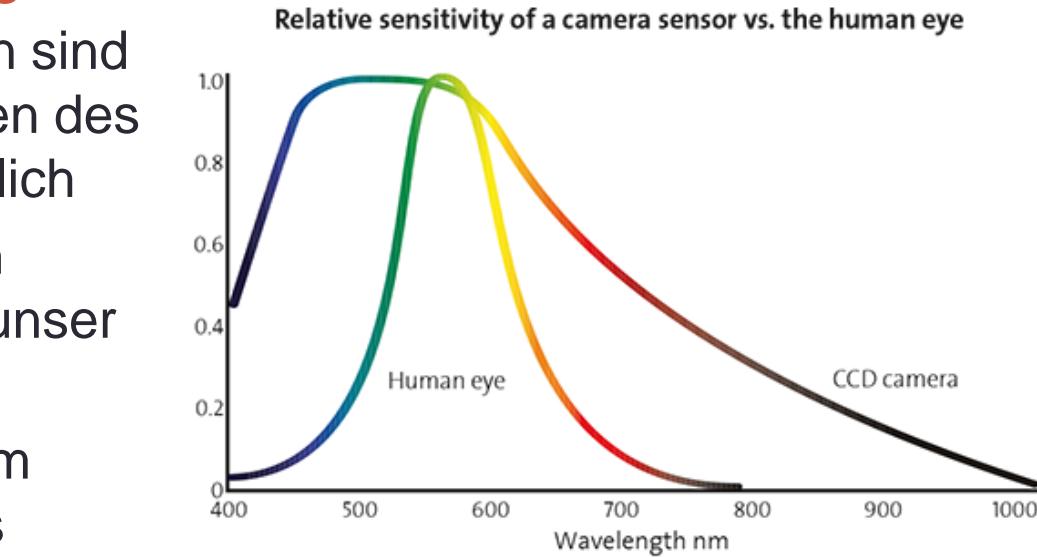
$$L = R + G + B$$

- Praktisch jede Farbe lässt sich aus der Kombination beliebiger Werte der drei Grundfarben erzeugen
- Für die Aufzeichnung eines Farbbildes reicht es daher, je einen Farbauszug in den drei Grundfarben RGB zu speichern

Aktuelle Sensoren

Farben und Farbwiedergabe

- CCD- uns CMOS-Sensoren sind jedoch per se für alle Farben des sichtbaren Lichtes empfindlich
- Sie decken dabei sogar ein breiteres Spektrum ab als unser Auge
- Farben lassen sich daher im Sensor nicht ohne weiteres trennen
- **Filter sind nötig**



Quelle:

[/www.stemmer-imaging.com/de-at/grundlagen/wellenlaenge-des-lichtes/](http://www.stemmer-imaging.com/de-at/grundlagen/wellenlaenge-des-lichtes/)

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

- Diese Erkenntnis ist nicht neu
- Dem russischen Fotopionier Sergei Michailowitsch Prokudin-Gorski gelangen ab 1905 teilweise exzellente analoge Farbaufnahmen auf Glasplatte
- Er nutzt drei nacheinander monochrom aufgenommene Farbauszüge, die zur Wiedergabe passendem Farbfilter übereinander mit projiziert wurden



Quelle: Sergei Mikhailovich Prokudin-Gorski Collection (Library of Congress)

Aktuelle Sensoren

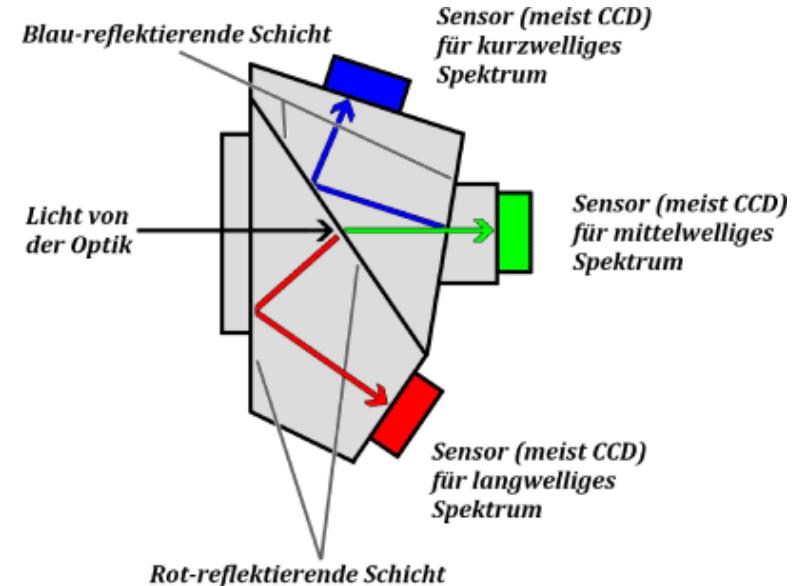
CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

- Physikalisch bestehen für das Erstellen der Farbauszüge offenbar zwei Optionen:
- **Zeitliches Nacheinander** an derselben Stelle (Zeitmultiplexing)
- **Räumliches Nebeneinander** zur gleichen Zeit (örtliches Multiplexing)
- Prokudin-Gorskis Fotos wurden schnell nacheinander aufgenommen, Digitalkameras verwenden dagegen den Ansatz des örtlichen Multiplexings

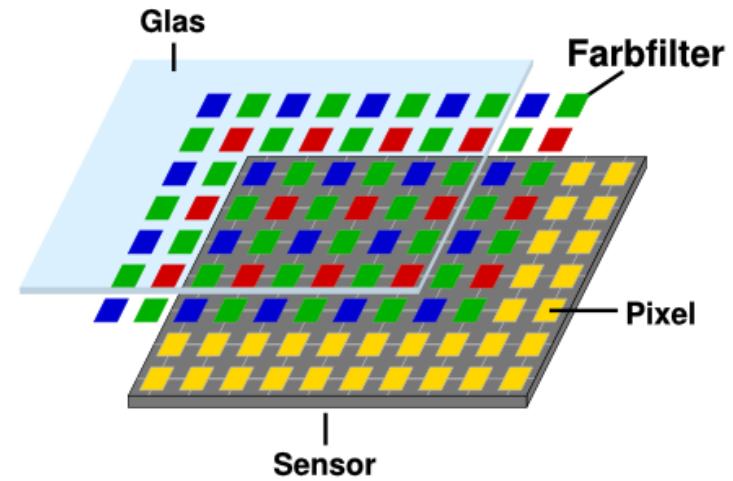
Aktuelle Sensoren

Farben und Farbwiedergabe

- Der räumliche Lösungsansatz:
Farbfilter nebeneinander
- Parallelе Farbfilter für je eine der drei Grundfarben
 - **Drei Sensoren, einer für jede Grundfarbe** in hochwertigen Videokameras oder in Kameras für wissenschaftliche Zwecke
 - **Ein Sensor mit Farbfiltern vor den Pixeln** in Consumer- und Profikameras
- Eine einzelne Belichtung genügt



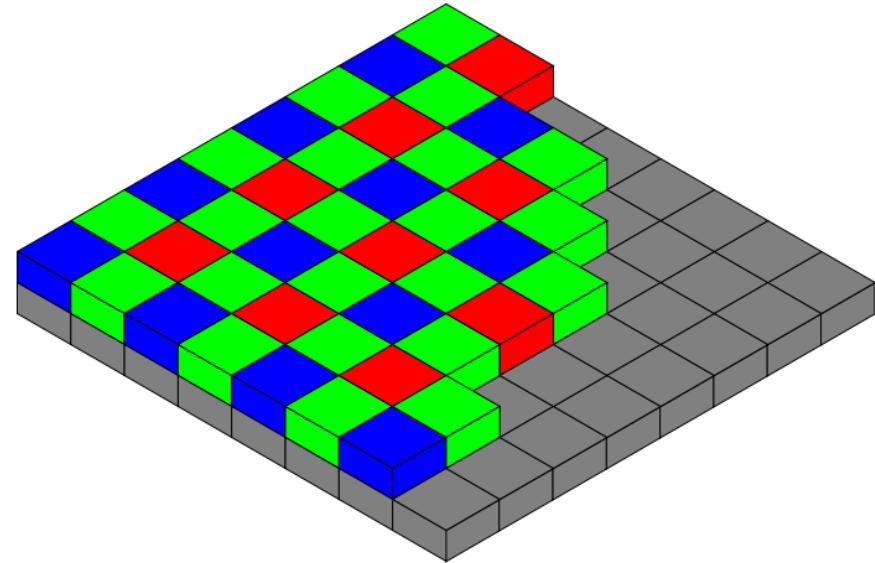
Quelle: Kameratechnik, link.springer.com



Quelle: www.elmar-baumann.de/fotografie

Aktuelle Sensoren

Farben und Farbwiedergabe



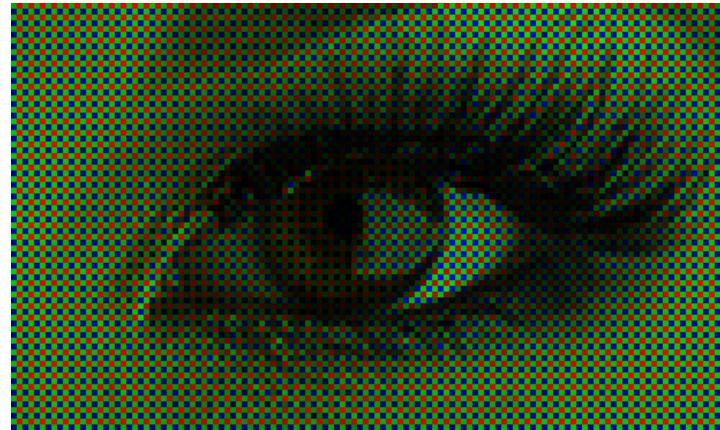
Quelle: wikipedia.org; Autor Cburnett

- Das menschliche Auge besitzt um 550 nm die größte Empfindlichkeit
- Sensoren müssen für eine als korrekt empfundene Farbwiedergabe die Empfindlichkeitskurve des Auges nachbilden: mehr grün
- Bei Sensoren mit Filtern vor jedem Pixel führt dies zu einer praktisch standardisierten Anordnung mit sich wiederholenden Zeilen von Pixeln für grün und rot bzw. blau und grün
- Es ergeben sich doppelt so viele Filter für grün wie jeweils für blau und rot ($R:G:B = 1:2:1$)
- Diese Anordnung ist der **Bayer-Filter**, benannt nach Bryce Bayer

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

- Der Bayer-Filter wurde 1976 für Eastman Kodak patentiert
- Er liefert mit einer einzigen Belichtung ein komplettes Farbbild, aber die Farbinformationen sind unvollständig und ähneln einem **Mosaik**



Quelle: www.red.com/red-101/bayer-sensor-strategy

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

- Die Sensor-Rohdaten müssen vervollständigt werden, bevor sie als Farbbild brauchbar sind: **Demosaicing** oder **Debayering**
- Die fehlenden Farbinformationen werden für jedes Pixel **interpoliert**



Quelle: www.red.com/red-101/bayer-sensor-strategy

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

- Die Interpolation wird in der Kamera beim Berechnen einer JPEG-Datei (Preview, Thumbnail) vorgenommen oder später beim Import der Rohdaten des Sensors in ein Bildbearbeitungsprogramm
- Für jedes **G-Pixel** werden die Werte **R** und **B** errechnet, für jedes **R-Pixel** die Werte für **G** und **B**, für jedes **B-Pixel** die Werte für **G** und **R** interpoliert
- Für diese mathematische Aufgabe existieren mehrere verschiedene komplexe Ansätze und Algorithmen

Aktuelle Sensoren

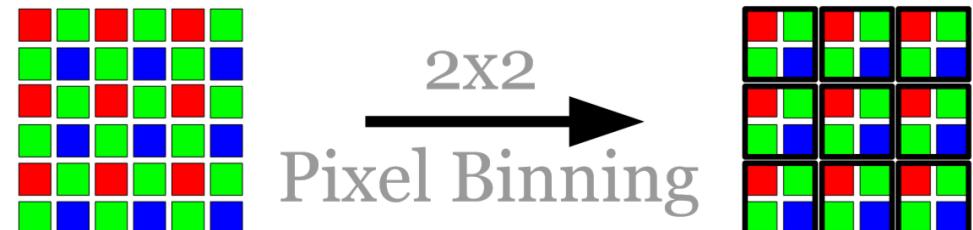
CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

- Die Suche nach dem besten Algorithmus ist Forschungsgegenstand und oft streng gehütetes Betriebsgeheimnis der Kamerahersteller
- Hier eine Auswahl:
- Pixel Binning oder Super Pixel
- Nearest Neighbour
- Bilineare Interpolation
- Variable Number of Gradients (VNG, VNG4)
- Adaptive Homogeneity Directed Demosaicing (AHD, IAHD)
- AMaZE Aliasing Minimization and Zipper Elimination

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

- **Pixel Binning** fasst z.B. die vier Pixel eines Sets zusammen und wertet sie als ein Pixel aus
- Mehr Helligkeit
- Weniger Rauschen
- Nur 25% der Auflösung
- Artefakte und Farbfehler

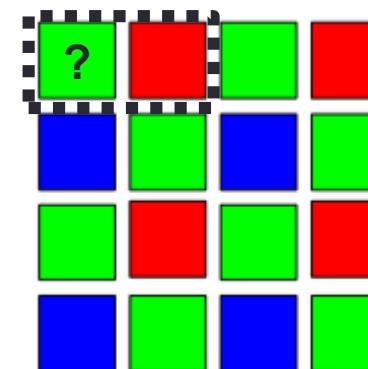
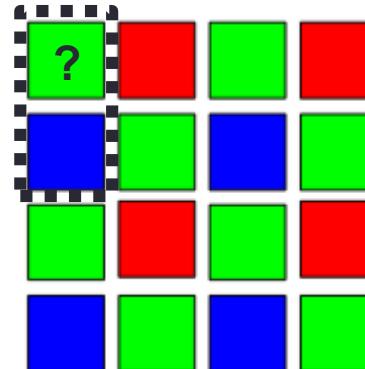
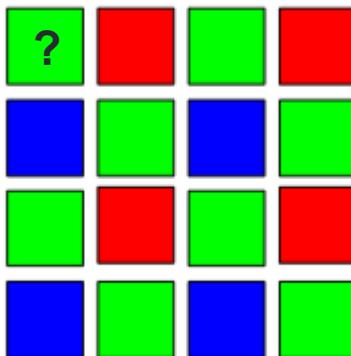


Quelle: www.informatik.hu-berlin.de/de/forschung/gebiete/viscom/teaching/media/cphoto10/cphoto10_03.pdf

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

- **Nearest Neighbour** wählt das am nächsten gelegene Pixel der benötigten Farbe und übernimmt dessen Farbwert



Aktuelle Sensoren

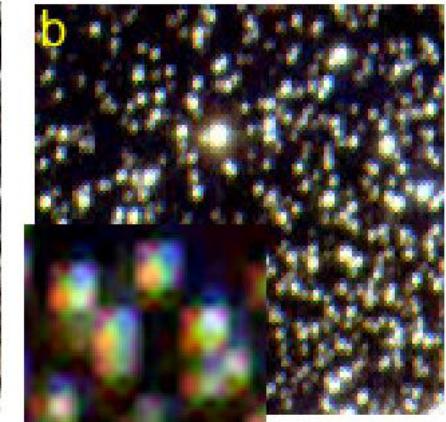
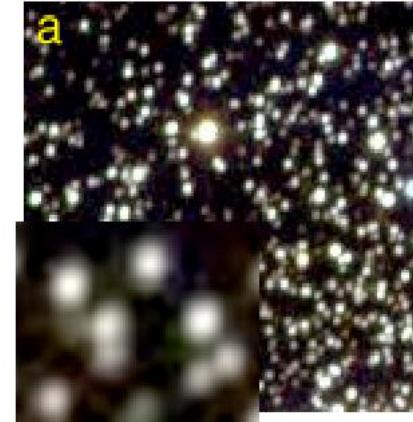
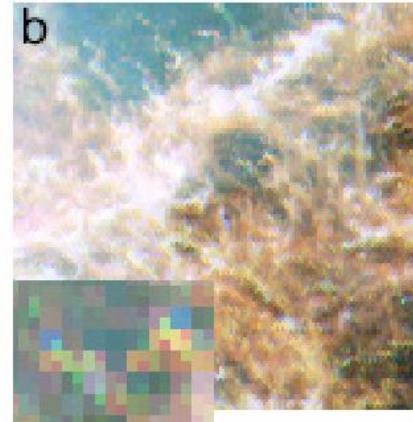
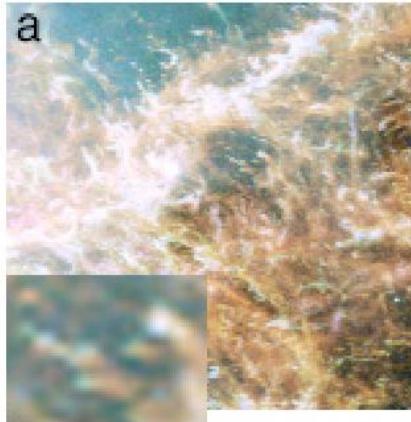
CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

- Nearest Neighbour wählt das am nächsten gelegene Pixel der benötigten Farbe und übernimmt dessen Farbwert
- Sehr einfach und sehr schnell, Verfahren früher Digitalkameras
- Fragwürdige Qualität
- Geringe Auflösung
- Deutlich sichtbare Farbfehler (Artefakte)

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

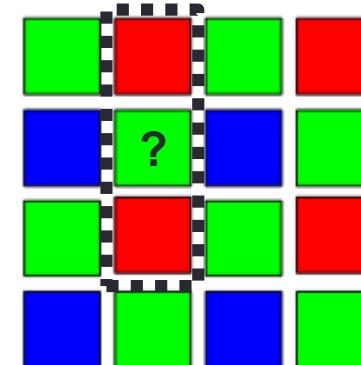
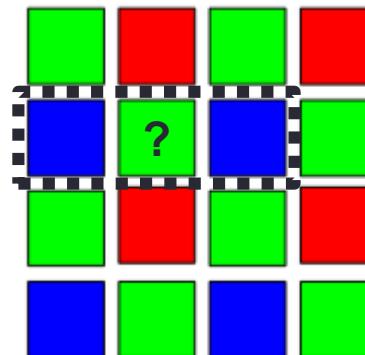
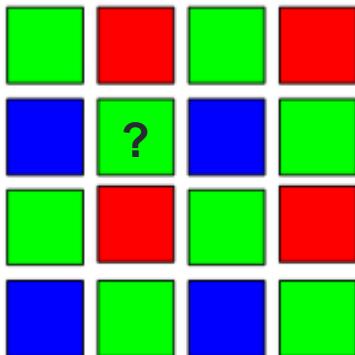
- Nearest Neighbour
- a) Original, b) Nearest Neighbour



Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

- **Bilineare Interpolation** nutzt die jeweils zwei bzw. vier nächsten Nachbarn einer Farbe und bildet daraus den Mittelwert



Aktuelle Sensoren

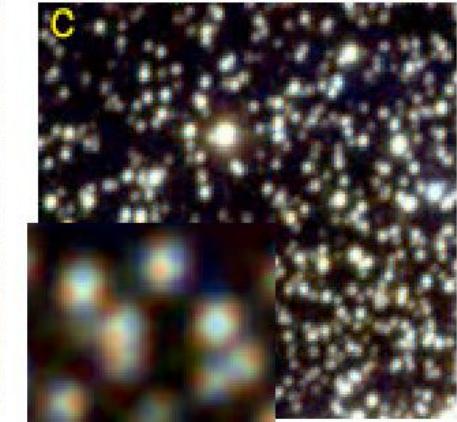
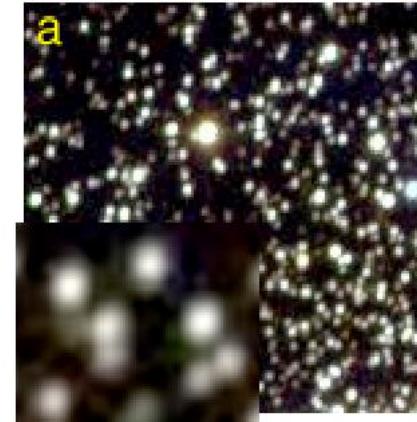
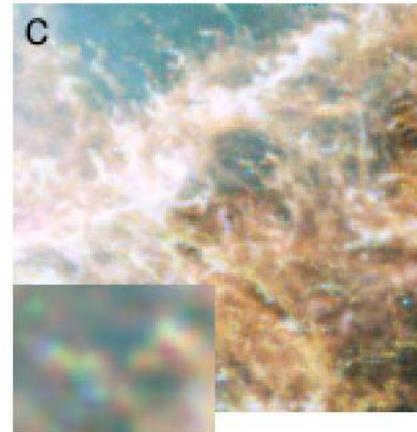
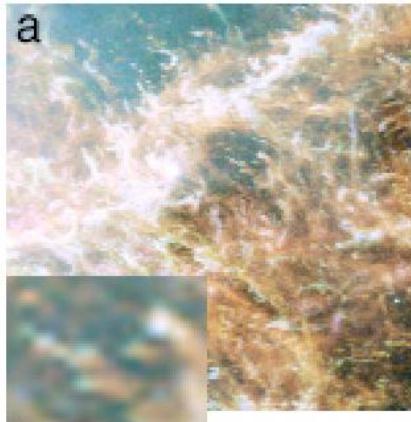
CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

- Bilineare Interpolation nutzt die jeweils zwei bzw. vier nächsten Nachbarn einer Farbe und bildet daraus den Mittelwert
- In der Variante Bikubische Interpolation werden 4x4 Pixel betrachtet und bei der Mittelung die näheren Pixel stärker gewichtet
- Etwas aufwändiger als Nearest Neighbour, schon bessere Qualität
- Weiterhin sichtbar geringere Auflösung als Original
- Farbfehler
- Artefakte

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

- Bilineare Interpolation
- a) Original, c) Bilineare Interpolation



Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

- Variable Number of Gradients (VNG, VNG4) analysiert die Helligkeitsgradienten der Nachbarpixel in mehreren Richtungen und wählt dann die vermutlich am besten passenden Pixel aus
- Damit lassen sich Fehler vermeiden, die bei starken Helligkeitsänderungen zwischen benachbarten Pixeln auftreten
- VNG betrachtet normal RGB und fasst die zwei G-Pixel zusammen
- VNG4 rechnet für vier „Farben“ RGGB und behandelt die beiden Grün-Pixel separat, besser in bestimmten WW- und Gegenlichtsituationen

Aktuelle Sensoren

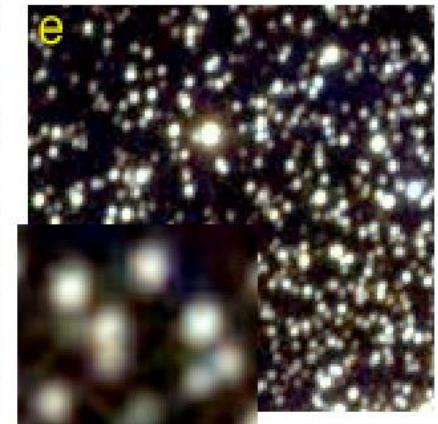
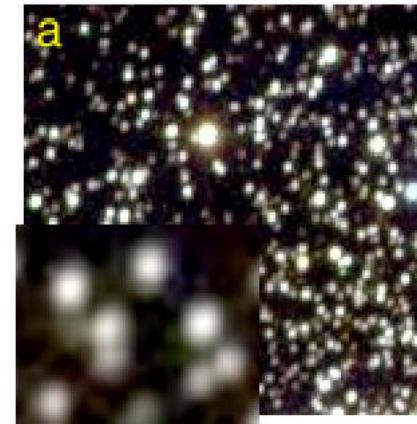
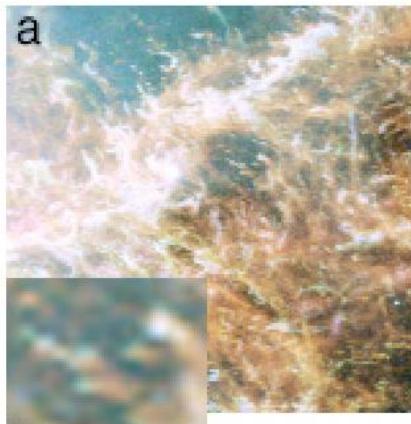
CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

- Variable Number of Gradients (VNG, VNG4) kann sehr hohe Qualität liefern, insbesondere für Motive mit starken Kontrasten auf kleinen Flächen wie in der Astrofotografie
- VNG benötigt erheblich mehr Rechenleistung und ist deshalb für das Processing in der Kamera praktisch nicht einsetzbar
- Es bleiben sichtbare Farbartefakte

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

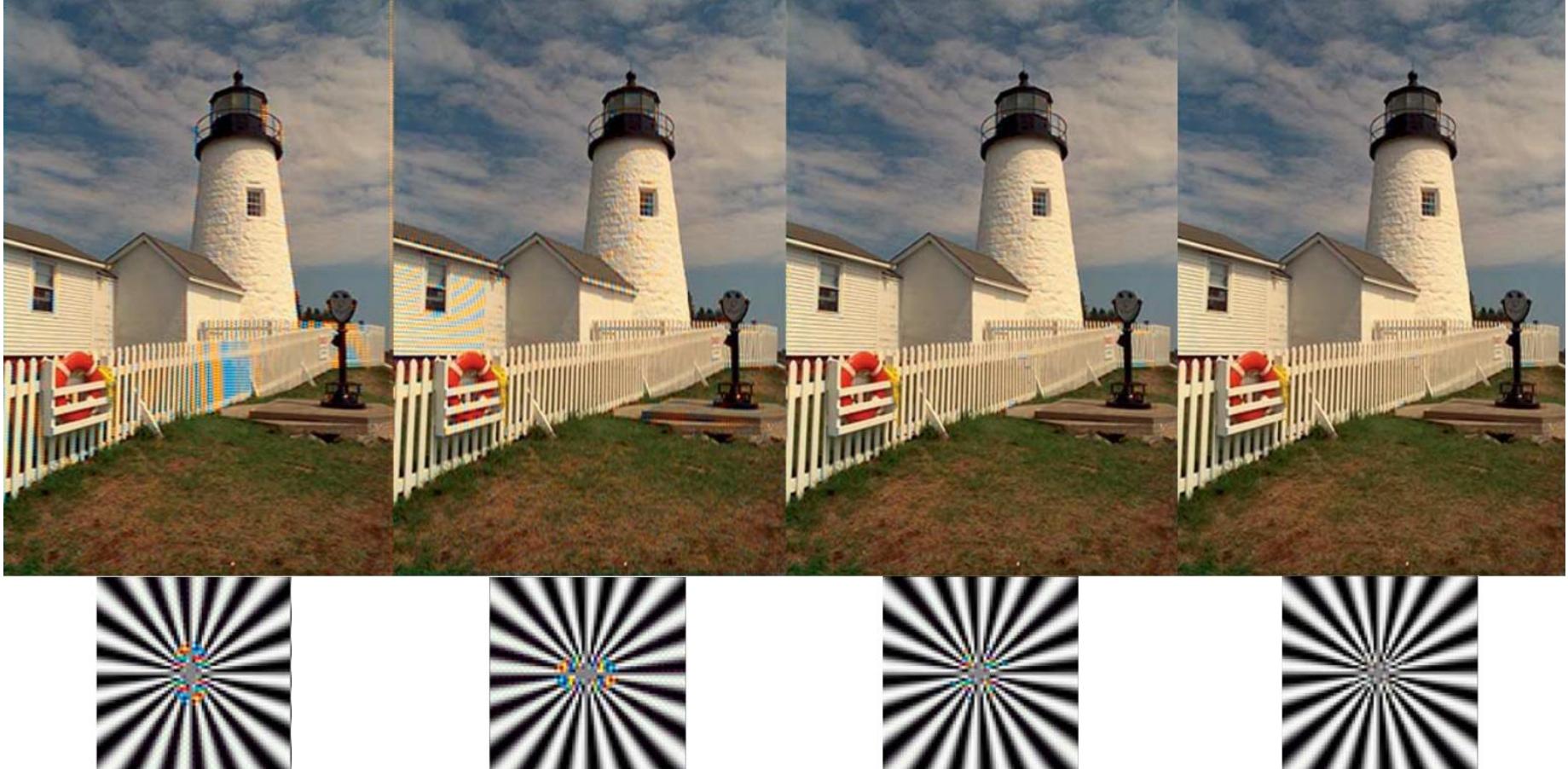
- Variable Number of Gradients (VNG)
- a) Original, e) VNG



Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

- Adaptive Homogeneity Directed Demosaicing (AHD, IAHD)
- Interpoliert in zwei Richtungen separat, horizontal und vertikal
- Wählt jeweils die am besten geeignete Interpolation
- Filtert und korrigiert verbleibende Farbartefakte



Horizontal

Vertikal

AHD

AHD+Korr.

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

- Adaptive Homogeneity Directed Demosaicing (AHD, IAHD)
- Industriestandard
- Liefert mit moderater Rechenleistung ordentliche Ergebnisse
- Vermeidet Farbartefakte

Aktuelle Sensoren

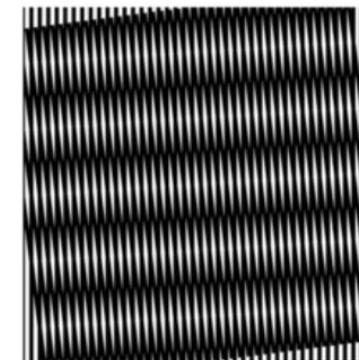
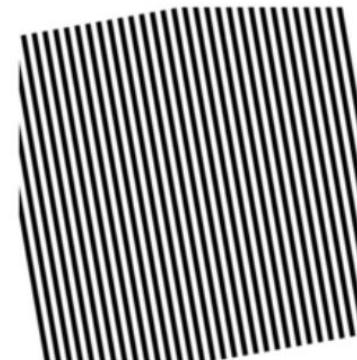
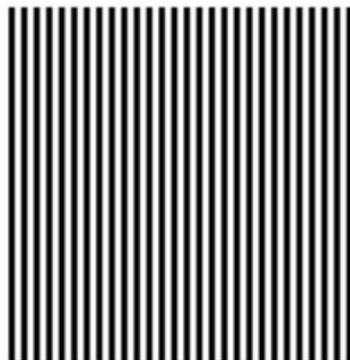
CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

- Die Wahl des Algorithmus ist entscheidend für die Bildqualität
- In der Kamera und bei den meisten Bildbearbeitungsprogrammen hat der Bearbeiter aber keine Wahl, die Programme nutzen einen vorgegebenen Algorithmus
- Die Software RawTherapee bietet verschiedene Algorithmen
- **Es gibt keinen idealen Demosaicing-Algorithmus**, jeder eignet sich für bestimmte Aufnahmesituationen am besten
- Unter anderem deshalb haben Photographen ihre individuellen Vorlieben bezüglich Kamerahersteller und Software...

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

- Ein weiteres Problem bei Sensoren mit Bayer-Filter: Moiré
- Moiré entsteht durch Wechselwirkungen regelmäßiger Strukturen im Motiv mit dem Pixelmuster/Farbmuster des Sensors/Bayer-Filters



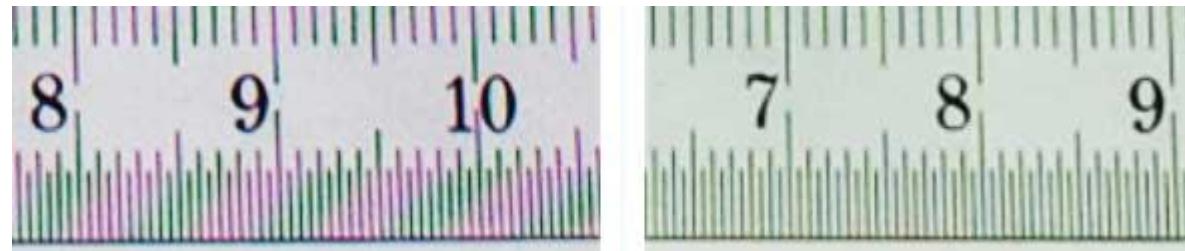
Quelle: www.mathe-museum.uni-passau.de/digitale-exponate-zum-ausprobieren/der-moire-effekt/

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

Moiré

- Moiré ist besonders störend, wenn es verstärkt durch Interpolationsfehler farblich in Erscheinung tritt



Quelle: <http://www.henner.info/2mp.htm#X3%20Sensor>

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

Moiré

- Physikalisch liegt die Ursache für Moiré in der Abtastung des Motivs durch einen Sensor mit begrenzter Auflösung
- Gelangen feinere Strukturen des Motivs auf den Sensor als dieser aufgrund seiner Pixelgröße auflösen kann, wird das **Abtasttheorem** nicht eingehalten: **Die Abtastung muss mindestens zweimal je Periode erfolgen, damit ein Signal exakt rekonstruiert werden kann:**

$$F_{\max} = \frac{1}{2} F_{\text{Abtast}}$$

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

Moiré

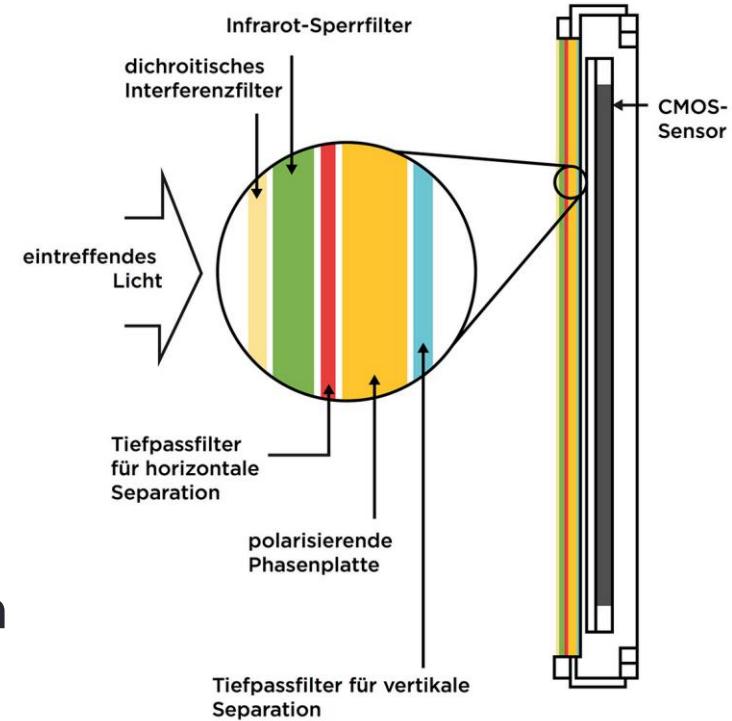
- Folglich können nur Motivstrukturen korrekt abgebildet werden, die auf dem Sensor den doppelten Pixelabstand nicht unterschreiten
- Bei kleineren Strukturen entstehen **Aliasing-Effekte**: „andere“ Strukturen größeren Abstands, die als Moiré sichtbar werden
- Zur Vermeidung bzw. Verminderung von Moiré verwenden die meisten Sensoren **Anti-Aliasing-Filter**

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

Moiré

- **Anti-Aliasing-Filter** oder **Tiefpassfilter** entfernen feine Strukturen bzw. hohe Orts-Frequenzen im Bild ab, bevor sie auf die Pixel treffen
- Sie filtern die für Moiré verantwortlichen feinen Strukturen also heraus, aber...



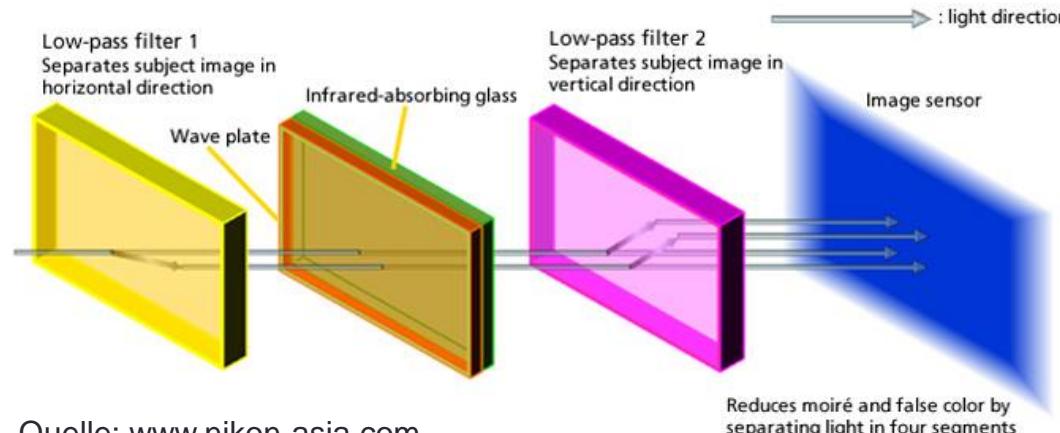
Quelle: www.fktg.org/

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

Moiré

- **Anti-Aliasing-Filter** sorgen durch Aufspalten der Lichtstrahlen für künstliche Unschärfe und verringern so die maximale Auflösung



Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

Moiré

- Viele hochwertige Kameras verzichten inzwischen auf Anti-Aliasing-Filter:
 - Nikon D800E
 - Canon EOS 5DSR
 - Panasonic DC-S1
 - ...
- Moiré muss dann durch Abblenden, Zoomen oder Ändern der Kameraposition vermieden bzw. nachträglich reduziert werden

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Farben und Farbwiedergabe

- Farbesensoren mit Bayer-Filter...
 - Bieten Farbfotos von einem einzelnen Sensor, bei CMOS mit allen weiteren Preisvorteilen dieser Technologie
 - Benötigen nicht mehr Fläche als monochrome Sensoren mit der gleichen Anzahl an Pixeln
 - Besitzen wegen der notwendigen Filter vor jedem Pixel eine spürbar reduzierte Quanteneffizienz, die Filter lassen nur etwa 30% des Lichtes passieren
 - Liefern nicht die gleiche Detailauflösung wie monochrome Sensoren
 - Haben für Farben eine nochmals geringere Auflösung
 - Zeigen Anfälligkeit für Moiré
- ...sind trotzdem in den meisten aktuellen Digitalkameras verbaut

Aktuelle Sensoren

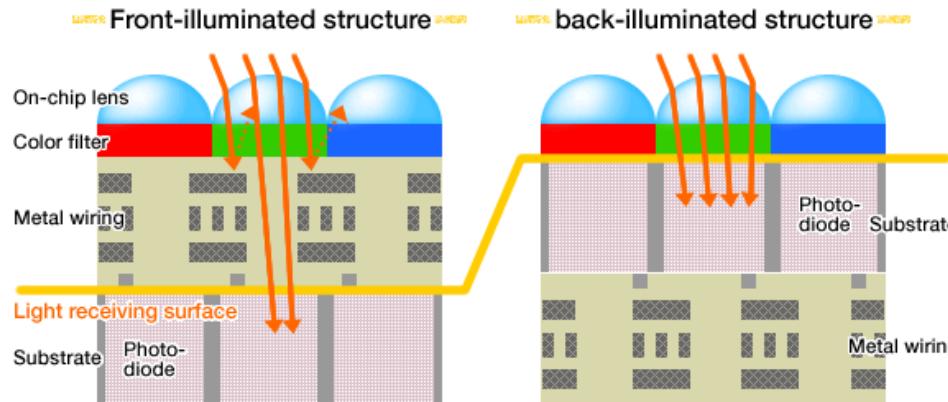
CCD und CMOS-Sensoren: Weitere Varianten

- Um einige der Nachteile von Sensoren mit Bayer-Filter zu vermeiden, gehen manche Hersteller innovative Wege und entwickeln Alternativen:
 - Backside Illuminated Sensor
 - Foveon-Sensor
 - Andere Pixelanordnungen:
 - Super-CCD-Sensor
 - X-Trans-Sensor

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Weitere Varianten

- **Backside Illuminated Sensor (BIS)**
- Bei normalen Sensoren liegen Transistoren und Leitungen auf der dem Bild zugewandten Sensorseite und verdecken teilweise die Fotodioden
- Bei einem BIS ist dies umgekehrt



Quelle: <https://www.sony.net/SonyInfo/News/Press/200806/08-069E/>

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Weitere Varianten

- Backside Illuminated Sensor
- Sony gab 2008 eine Verbesserung des Signal-Rauschabstandes um 8dB bei ihren ersten BSI an: 2dB weniger Rauschen und 6 dB mehr Empfindlichkeit (entspricht mehr als einer Verdoppelung)

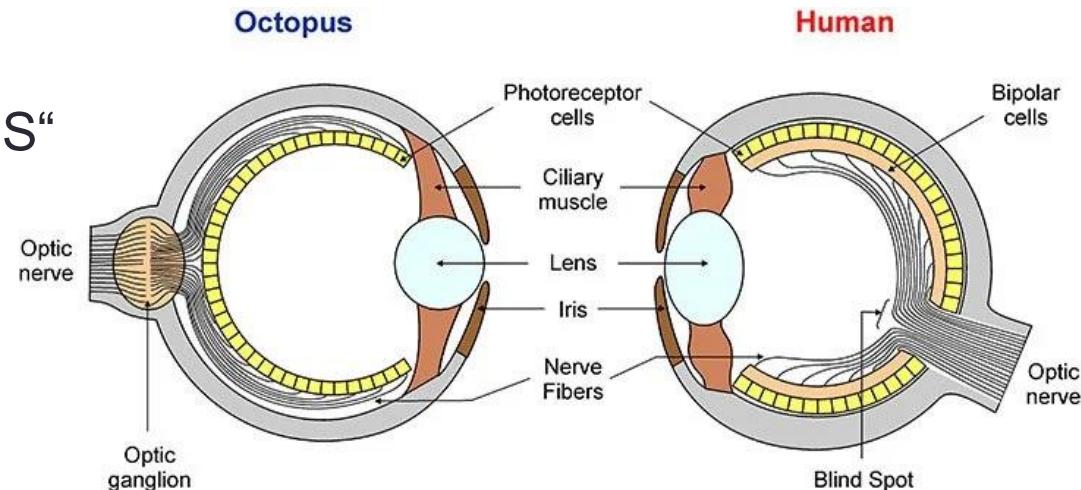
Quelle: <https://www.sony.net/SonyInfo/News/Press/200806/08-069E/>

- BIS sind deutlich schwieriger herzustellen
- BIS besitzen ein sehr dünnes und damit weniger stabiles Substrat
- BIS werden seit Beginn der Vermarktung durch Sony im August 2009 zum Standard, auch und gerade für kleine Sensoren in Smartphones

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Weitere Varianten

- **Backside Illuminated Sensor** – Beispiel aus der Natur: Augen von Wirbeltieren und Tintenfischen (Cephalopoden)
- Wirbeltiere besitzen „normale“ Sensoren
- Tintenfische besitzen „BIS“
- **Konvergente Evolution**



Quelle:

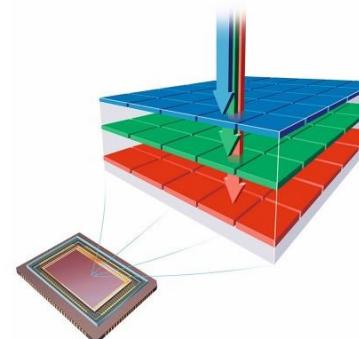
www.reddit.com/r/todayilearned/comments/bm76rt/til_that_everyone_is_actually_blind_in_one_part/

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Weitere Varianten

- **Foveon-Sensor**
- Bisher betrachtete Sensoren verwenden nebeneinander liegende (Bayer)-Farbfilter zur Auswertung von Farbinformationen
- Der Foveon X3-Sensor nutzt die unterschiedliche Eindringtiefe von Licht verschiedener Wellenlänge in Silizium zur Farberkennung:

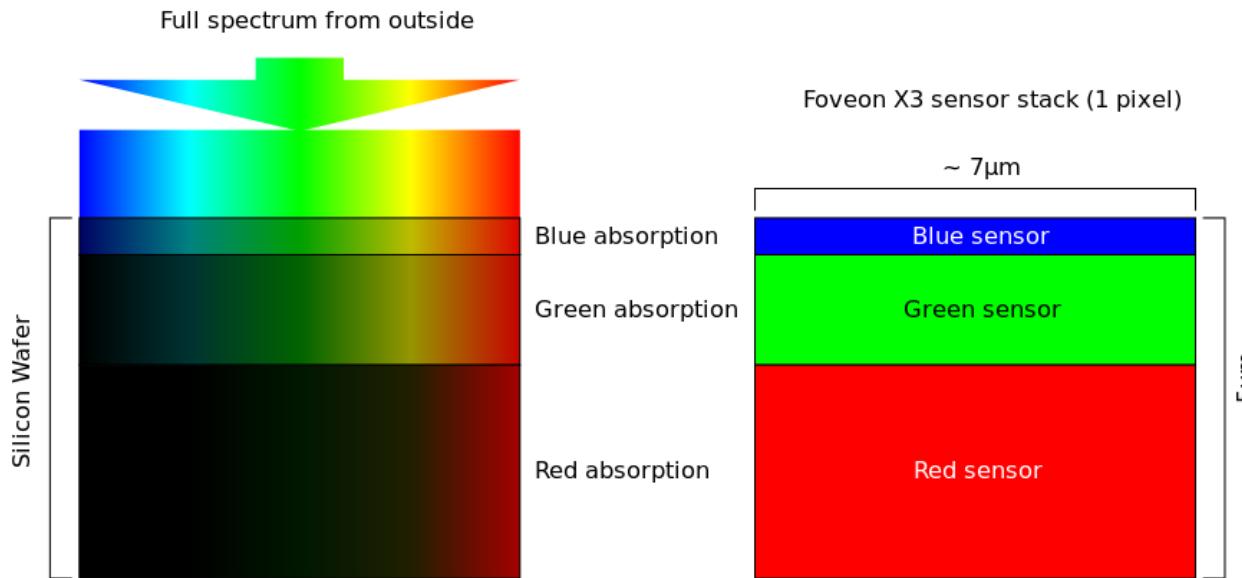
- Blau bis ca 1,8 µm
- Grün bis ca.3,6 µm
- Rot bis ca. 7 µm



Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Weitere Varianten

- Foveon-Sensor



Quelle: de.wikipedia.org/wiki/Foveon_X3

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Weitere Varianten

- Foveon-Sensor
- Der Verzicht auf Interpolation liefert bei gleicher rechnerischer Pixelanzahl gegenüber dem Bayer-Filter **schärfere Bilder**
- Die angegebene Pixelanzahl einer Bilddatei entspricht der physikalischen Anzahl auf dem Sensor, weil jede Fotodiode für alle Farben genutzt werden kann.
- Der Foveon-Sensor ist **nicht anfällig für Moiré**

Aktuelle Sensoren

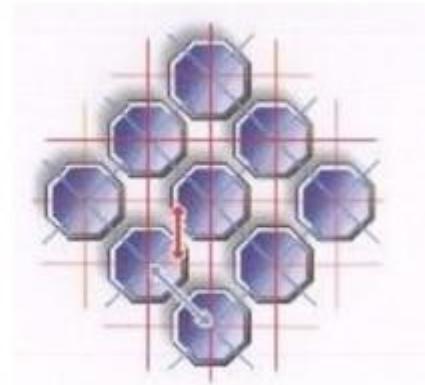
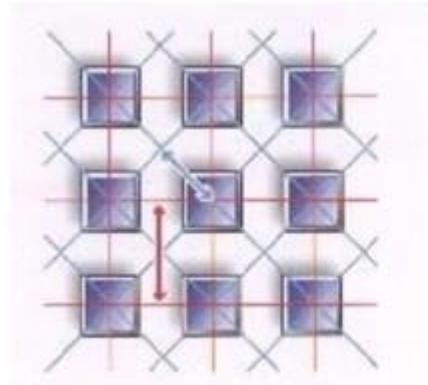
CCD und CMOS-Sensoren: Weitere Varianten

- Foveon-Sensor
- Die **Lichtempfindlichkeit ist** trotz der fehlenden Absorption durch Farbfilter insgesamt **geringer**, weil mit zunehmender Eindringtiefe auch im Silizium Licht absorbiert wird
- Die Farbseparation ist nicht so gut wie üblich, besonders bei wenig Licht. **Farbrauschen** tritt leicht **sehr störend** in Erscheinung
- Foveon-Sensoren werden aktuell nur vom japanischen Hersteller **Sigma** eingesetzt, die für 2020 angekündigte Einführung eines Vollformatsensors wurde aus technischen Gründen auf unbestimmte Zeit verschoben

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Weitere Varianten

- Super-CCD-Sensor
- Die räumliche Anordnung der Fotozellen lässt Variationen zu:
- Der Hersteller Fuji dreht die Fotozellen um 45° und ordnet sie wabenförmig an



Quelle: www.optique-ingénieur.org/en/courses/OPI_ang_M05_C06/co/Contenu_19.html

Aktuelle Sensoren

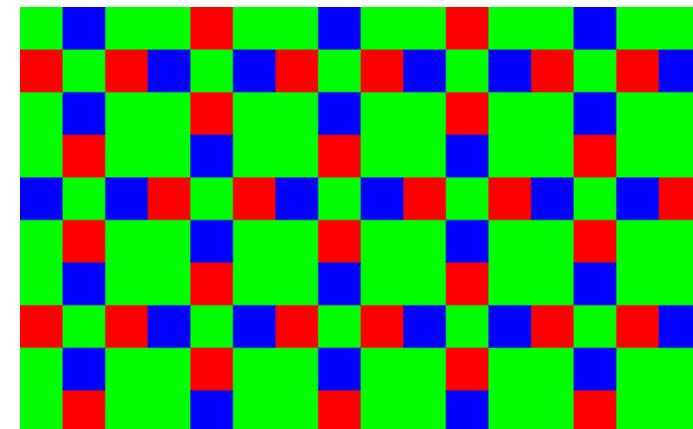
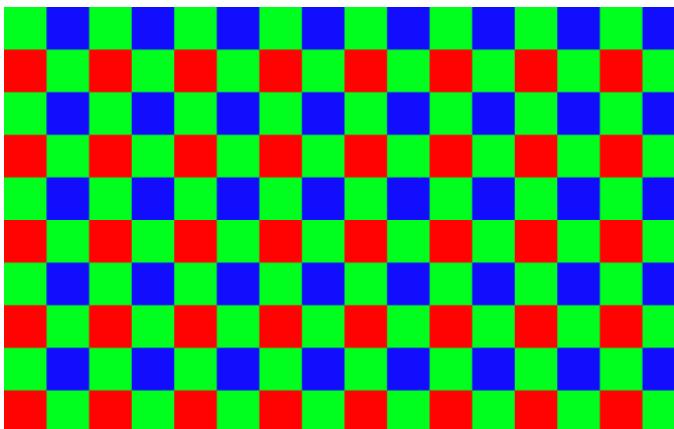
CCD und CMOS-Sensoren: Weitere Varianten

- Super-CCD-Sensor
- Es ergibt sich eine engere Packungsdichte und damit eine höhere Detailauflösung, theoretisch auch eine höhere Empfindlichkeit
- Fuji interpoliert bei der Kamera Finepixx S7000 aus einem 6,3 MP CCD-Sensor Bilder mit 12 MP. Die Auflösung ist tatsächlich höher als bei 6 MP Kameras der Mitbewerber
- Technologie über etwa 10 Jahre in mehreren Generationen weiterentwickelt, in heutigen Kameras des Herstellers aber durch BSI CMOS- und X-Trans-Sensoren ersetzt

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Weitere Varianten

- X-Trans-Sensor
- Erneut veränderte Anordnung der Farbfilter auf CMOS-Sensoren des Herstellers Fujifilm (rechts)



Quelle: Ckendel, commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19113240

Aktuelle Sensoren

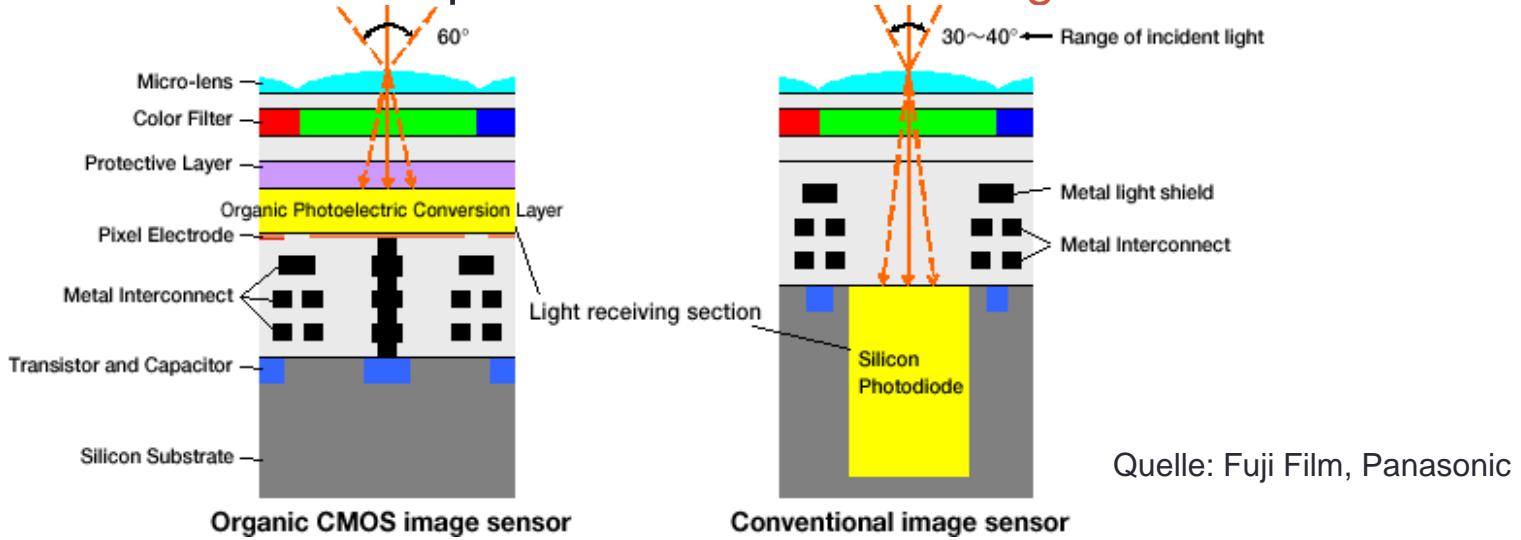
CCD und CMOS-Sensoren: Weitere Varianten

- **X-Trans-Sensor**
- Das Filtermuster ist unregelmäßig und neigt weniger zu Moiré, auf ein Tiefpassfilter kann verzichtet werden
- Die Farbinformation wird genauer aufgezeichnet, weil in jeder Zeile Fotodioden für jede Farbe vorhanden sind
- Es ergibt sich ein Auflösungsvorteil, der teilweise eine geringere **Sensorgröße** kompensiert, die Bildqualität entspricht derjenigen größerer Sensoren bei geringerem Preis
- Die Leistung von Vollformat-BIS-CMOS-Sensoren wird nicht erreicht

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Weitere Varianten

- Organic CMOS-Sensor, Hybrid CMOS-Sensor
- Aktuelle Forschung betrachtet einen konventionellen CMOS-Sensor ergänzt um eine lichtempfindliche Schicht aus **organischem Material**



Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Weitere Varianten

- **Organic CMOS-Sensor, Hybrid CMOS-Sensor**
- Die lichtempfindliche organische Schicht wird oberhalb der bisherigen Pixel angebracht, die Ladung wie bisher im Substrat gespeichert
- Der Vorteil liegt in der Vergrößerung des Fill Factors um die bisher von Elektronik verdeckten Pixelbereiche
- Empfindlichkeit und Dynamic werden spürbar erhöht
- Eingesetzt in ersten kommerziell verfügbaren 8K Videokameras

<https://www.nature.com/articles/s41598-020-64565-5>



Aktuelle Sensoren

Quelle: pro.sony/de_CH/technology/full-frame-sensor

CCD und CMOS-Sensoren: Größe, Auflösung und Co.

- **Sensorgröße** definiert die tatsächlichen Abmessungen des Sensors in Zoll
- **Sensorauflösung** definiert die Anzahl der Pixel pro Fläche, Vereinfacht oft als **Anzahl der Pixel auf dem gesamten Sensor** angegeben
- **Pixel-Pitch** definiert die rechnerische Größe der Pixel in µm:

$$\text{Pixel Pitch} = \frac{\text{Sensorbreite (mm)}}{\text{Sensorauflösung in Pixel}} \times 1000$$

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Größe, Auflösung und Co.

Sensorgröße:

Smartphones: meist $< \frac{1}{2}$ "

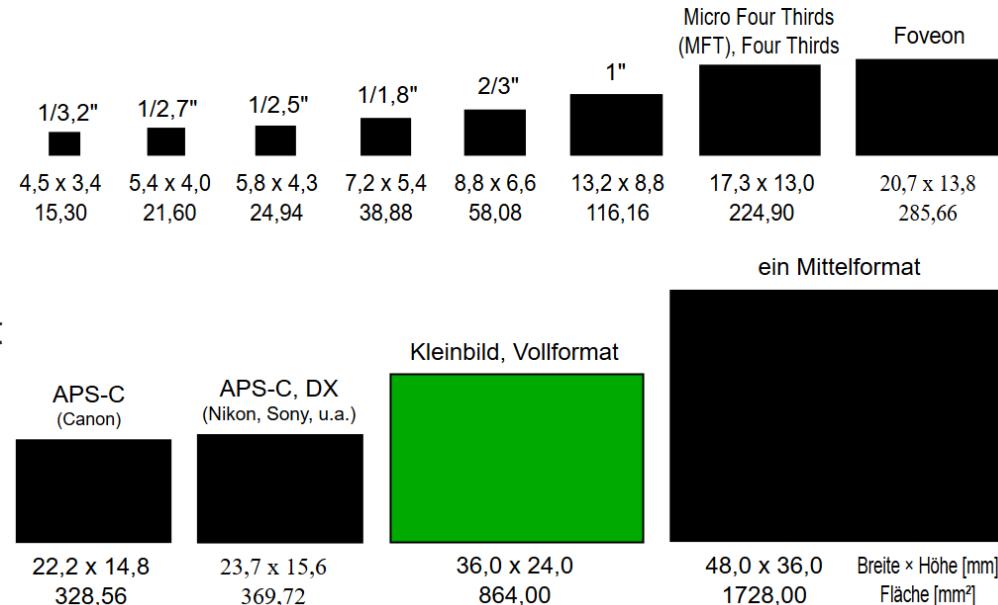
Einsteiger bis Mittelklasse $<$ MFT

Mittelklasse: MFT bis Vollformat

Spitzen-/Profiklasse: KB-Vollformat

Sonderfall Mittelformat(e) und
größer

Gängige Formate von Kameratasensoren



Quelle: de.wikipedia.org/wiki/Vollformatsensor

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Größe, Auflösung und Co.

Auswirkungen der Sensorgröße – Bildqualität

- Je größer der Sensor desto besser die Bildqualität, besonders bei wenig Licht
 - Die Fläche des Sensors bestimmt die Menge der Photonen, die aufgenommen werden kann
 - Je mehr Photonen eingefangen werden, umso weniger machen sich das **thermische Grundrauschen des Sensors** (Dunkelstrom) und **das Photonenrauschen** (ungleichmäßiger da quantisierter Lichteinfall) bemerkbar
- Je größer der Sensor desto größer und schwerer die nötige Optik

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Größe, Auflösung und Co.

Auswirkungen der Sensorgröße – Bildqualität

- Vergleich der Leistung einer Kamera mit 1/1,9“ CCD-Sensor und 10 MP ...



Aufgenommen mit ISO 100

Aufgenommen mit ISO 1600

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Größe, Auflösung und Co.

Auswirkungen der Sensorgröße – Bildqualität

- und einer Kamera mit 1“ CMOS-Sensor und 20 MP



Aufgenommen mit ISO 100

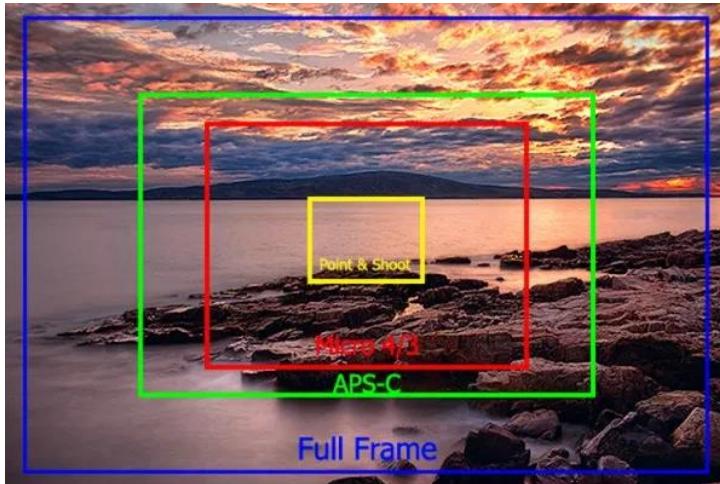
Aufgenommen mit ISO 1600

Aktuelle Sensoren

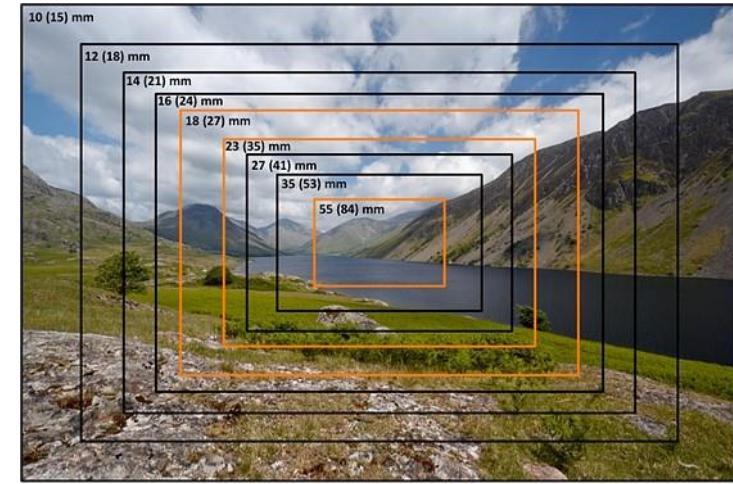
CCD und CMOS-Sensoren: Größe, Auflösung und Co.

Auswirkungen der Sensorgröße – Bildausschnitt

- Einfluss auf den sichtbaren Bildausschnitt: Ein kleiner Sensor wirkt (fast) wie ein Teleobjektiv



Quelle: digital-photography-school.com



Quelle: dpreview.com/forums/post/60039124

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Größe, Auflösung und Co.

Auswirkungen der Sensorgröße – Brennweitenangabe

- Einfluss auf die Angabe der **Brennweite**: Umrechnung vom Kleinbild auf kleinere Sensoren über den **Crop-Factor**: Äquivalente Brennweite

- APS-C: 1,5 - 1,6
- MFT: 2,0
- 1": 2,7
- 1/2,3": 5,6



- Deshalb verschiedene Angaben der Brennweite auf den Objektiven

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Größe, Auflösung und Co.

Auswirkungen der Sensorgröße – Brennweitenangabe

- Angabe der realen Brennweite in den Bilddaten:

1“ Leica V-Lux 114, $f=146\text{mm}$

Vollformat Lumix S1, $f=400\text{mm}$



Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Größe, Auflösung und Co.

Auswirkungen der Sensorgröße – Brennweitenangabe

- Die Leica V-Lux 114 liefert bei einer realen Brennweite von 146mm den gleichen Bildausschnitt und damit die gleiche „Vergrößerung“ wie eine Vollformatkamera mit 400mm Brennweite
- Die **KB-äquivalente maximale Brennweite** des Zoom-Objektivs der Leica V-Lux 114 mit 1“ Sensor beträgt **400mm**
- Der **Crop-Factor** für den **1“ Sensor** liegt bei $400 : 146 = 2,74$

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Größe, Auflösung und Co.

Auswirkungen der Sensorgröße – weitere Faktoren

- An **kleine Gehäuse** passen nur **kleine Objektive**, die weniger lichtstark sind und daher noch weniger Licht auf den Sensor lassen
- Kleine Sensoren liefern **hohe Schärfentiefe** und gestatten daher **kein optisches Freistellen** eines scharf abgebildeten Motivs gegen einen unscharfen Hintergrund (wichtiges fotografisches Gestaltungsmittel)
- Die Blendenöffnung ist bei kleinen Sensoren ebenfalls kleiner, kleinere Blendenöffnungen führen zu **höherer Beugungsunschärfe**

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Größe, Auflösung und Co.

Auswirkungen der Sensorgröße – weitere Faktoren

- Auch wenn durch Nachbearbeitung und technische Entwicklung viel erreicht wurde:

Sensorfläche ist durch nichts zu ersetzen

- Aber: Die Sensorfläche kann auch durch gleichzeitiges Belichten **vieler kleiner Sensoren** erhöht werden



Quelle: HMD Global

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Größe, Auflösung und Co.

Sensorauflösung – viel hilft viel?

- In den 1990er Jahren lieferten Webcams eine VGA-Auflösung, also 640 x 480 Pixel, hochwertige CCD-Kameras für die Mikroskopie brachten es auf 1 MP
- 2006 lagen die gängigen Auflösungen bei 6 -12 MP für APSC- und Vollformatsensoren
- Aktuell erreichen Smartphone-Sensoren bei 1/1,33“ Größe 108 MP Auflösung.
- Nikons aktuelle Top-Kamera besitzt einen Vollformatsensor mit „nur“ **45,7 MP** (Nikon Z7 und D850), Canons EOS 5Ds liefert **50,3 MP**

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Größe, Auflösung und Co.

Sensorauflösung – viel hilft viel?

- Theoretisch bedeuten mehr Pixel nur mehr Details und damit schärfere, sehr hochauflösende Bilder. Aber...
- ...da ist ja noch die Sache mit der Fläche...
- ...und wieder das Grundrauschen...



Quelle: techlife.news/samsung



Quelle: Nikon

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Größe, Auflösung und Co.

Sensorauflösung – viel hilft viel?

- Bei gegebener Sensorfläche bestimmt die Anzahl der Pixel auch deren Fläche – und damit die Menge der Photonen pro Pixel
- Nikon Vollformatsensor mit 45,7 MP:
Pixel 4,34 µm,
Fläche 18.84 µm²
- Isocell Bright HMX-Sensor mit 108 MP:
Pixel 0,8 µm
Fläche 0,64 µm²

Der Vollformatsensor besitzt Pixel mit 30-facher Fläche

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Größe, Auflösung und Co.

Sensorauflösung – viel hilft viel?

- Kleine Pixelfläche führt zum bekannten Problem: Weniger Photonen bei gleichbleibendem thermischen Grundrauschen
- Die 108 MP Smartphone-Kamera benötigt daher ausgezeichnete Lichtverhältnisse, um genügend Photonen für die 108 MP zu sammeln
- Im Normalfall werden je 4 Pixel zusammengefasst, i.e. der Sensor arbeitet mit 27 MP (Pixel Binning)
- 108 MP Bilder werden so komprimiert, dass die Dateien 14-26 MB Größe erreichen. Es ergeben sich weitere Qualitätsverluste

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Größe, Auflösung und Co.

Sensorauflösung – viel hilft viel? Nein, nur Megapixelwahn

- Ein Vergleichstest ergab für den 108 MP-Sensor eine sichtbar schlechtere Bildqualität als bei einer „echten“ Kamera mit 12 MP

www.chip.de/news/Smartphone-Kameras-mit-108-Megapixel-Warum-der-Wahnsinn-ein-Ende finden-muss_177465032.html

- Für jede Sensorgröße scheint es einen besten Kompromiss mit der Auflösung zu geben, aktuell z.B. 25 MP für Vollformatsensoren
- Mehr MP führen zwar eventuell zu mehr Details, aber nicht unbedingt zu besseren Ergebnissen.
- Der Rest erinnert an den MHz-Wettbewerb bei frühen Computern...

Aktuelle Sensoren

CCD und CMOS-Sensoren: Zusammenfassung

- CCD- und CMOS-Sensoren basieren auf Halbleitern und nutzen den photoelektrischen Effekt zur Bildgewinnung
- CCD-Sensoren waren lange Zeit führend in der Qualität
- CMOS-Sensoren haben gegenwärtig die Qualität von CCD-Sensoren erreicht und überflügelt, die CCD-Produktion wird eingestellt
- Zur Auswertung von Farbinformationen hat sich der Einsatz eines Bayer-Filters durchgesetzt, nur wenige Sensoren verfahren anders
- Sensorfläche und Sensorauflösung haben entscheidenden Einfluss auf die Konstruktion und Bildqualität von Kameras

Themenübersicht

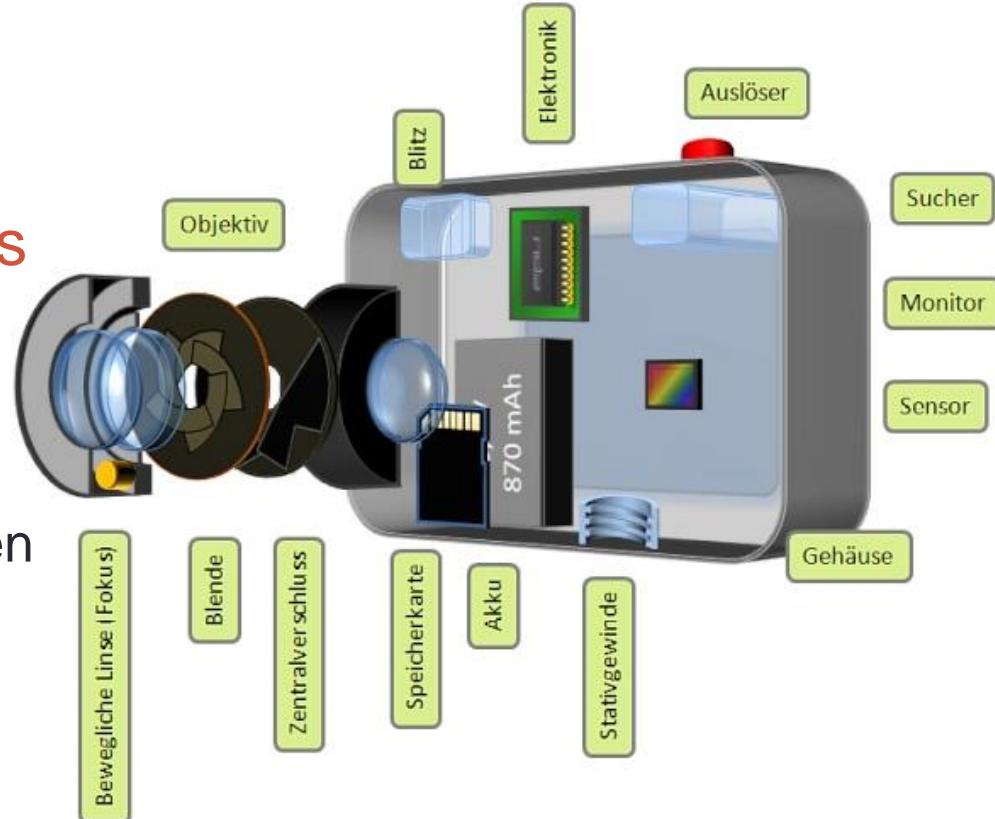
- Das Modul Bildbearbeitung
 - Ablauf, Lernziele, Prüfungen, Literatur
- Fotografie
 - Grundlagen, Entwicklung, Film und Bildaufnahmeröhren
- **Aktuelle Sensoren und Kameras**
 - CCD, CMOS, Formfaktor und Größe
 - Komponenten, Typen: Smartphone, Kompakt- und Bridgekameras, DSLR und DSLM
- Bildgestaltung
 - Gestaltungs- und Kompositionstechniken kennenlernen und praktisch anwenden
- Bildverwaltung und Bildbearbeitung
 - Bilder verwalten
 - Bilder digital bearbeiten: Farben, Belichtung, Ausschnitte, Schärfe, Effekte...

Kameras

Aufbau von Digitalkameras

Jede Digitalkamera besitzt folgende Komponenten:

- Objektiv mit Blende
- Gehäuse mit Bedienelementen
- Verschluss
- Sensor
- Bildprozessor
- Speichermedium
- Stromversorgung



Quelle: <https://nikokerch.wordpress.com/eine-seite/>

Kameras

Aufbau von Digitalkameras

Details zu einigen Komponenten

- Objektiv
 - erzeugt ein reales Bild des Motivs und projiziert es auf den Sensor
- Fest eingebaut oder auswechselbar
- Feste oder variable Brennweite (Zoom)
- Blende
 - Steuert die Lichtmenge, die durch das Objektiv gelangt
 - Verändert Schärfentiefe und verursacht Beugungsunschärfe



Kameras

Aufbau von Digitalkameras

Details zu einigen Komponenten

- Verschluss zur Belichtungssteuerung
 - Als mechanischer **Zentralverschluss** im Objektiv
 - Als mechanischer **Schlitzverschluss** im Gehäuse
 - **Elektronisch** im Sensor
 - Mechanischer plus elektronischer Verschluss
- Sensor
 - Wandelt Licht in elektrische Signale
- Bildprozessor
 - Verarbeitet Sensorsignale und errechnet Bilder

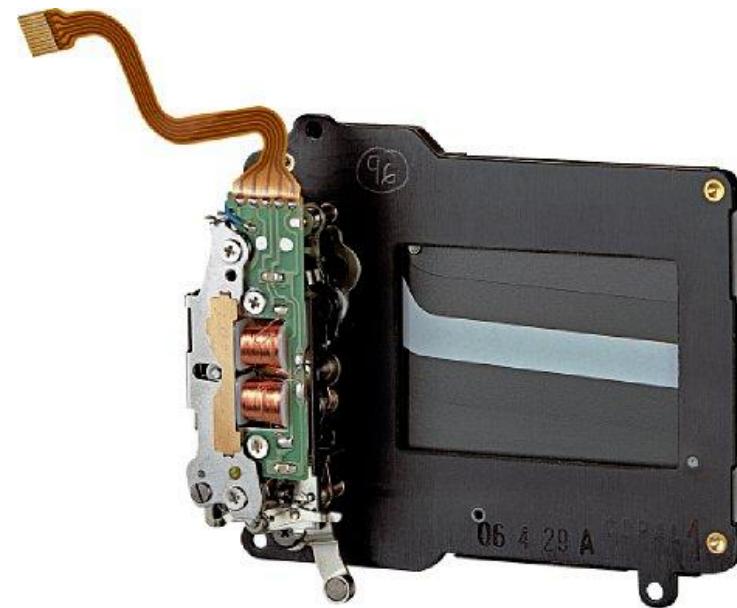
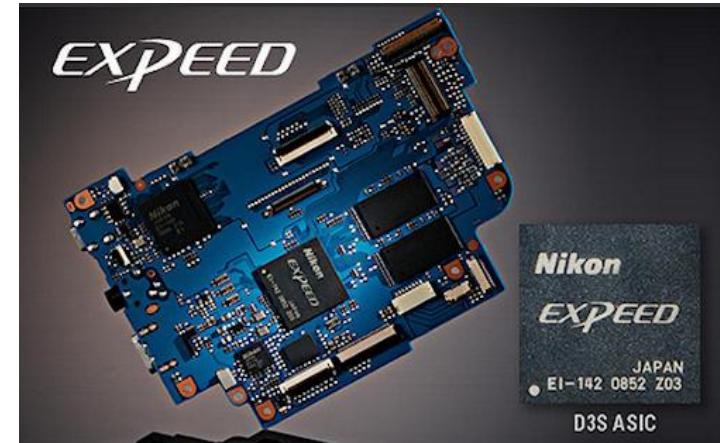


Foto: Leica Camera AG

Quelle: www.fotintern.ch



Kameras

Aufbau von Digitalkameras

Details zu einigen Komponenten

- Speicher

Speichermedien:

- CompactFlash CF I/II
- **CFast** (SATA statt IDE)
- Secure Digital SD
- XQD
- Cfexpress Typ A/B/C



Quelle: Sony

Card Type	SD	CF	CFast	XQD	CFexpress (CFE)
Storage	Up to 2TB	Up to 512GB	Up to 512GB	Up to 2TB, possibly higher	Up to 2TB, possibly higher
Read/Write Speeds	50MB/s to 100MB/s common, theoretical limit 312MB/s	90MB/s common, limit 167MB/s	400MB/s to 515MB/s, upper limit 600MB/s	up to 400MB/s, newest card announced 1.4GB/s, *theoretical limit unknown	1GB/s to 8GB/s, *theoretical limit unknown

Quelle: //www.dpreview.com

Kameras

Aufbau von Digitalkameras

Details zu einigen Komponenten – Speicher

Exkurs Dateiformate:

- **Nicht komprimierte Formate:** Alle Bildinformationen vom Sensor werden gespeichert:
 - RAW-Dateien
 - TIFF, DNG
- **Komprimierte Formate:** Es findet eine Datenreduzierung der Bildinformationen statt, bevor das Bild gespeichert wird:
 - JPEG
 - HEIF/HEIC

Kameras

Aufbau von Digitalkameras – Dateiformate

Nicht komprimierte Formate

- RAW-Dateien speichern den genauen vom Bildprozessor ausgegebenen Wert für jedes Sensorpixel (nach Demosiacing usw.)
- Gute Sensoren liefern z.B. je Farbkanal Daten 14 Bit Auflösung
- Die Helligkeitsabstufungen der Farbpixel können so in 16384 diskreten Werten gespeichert werden
- RAW-Dateien liefern alle aufgezeichneten Informationen, sind aber groß: Bei 24 Mio. Pixeln und 14 Bit je Farbe rund **35 MByte**

Kameras

Aufbau von Digitalkameras – Dateiformate

Nicht komprimierte Formate

- Um diese Größe zu verringern, bieten manche Kamerahersteller komprimierte RAW-Formate an, bei denen z.B. auf 12 Bit Farbtiefe reduziert wird oder der Bildprozessor nicht sichtbare Details weglässt
- Beispiel Nikon D810
 - Uncompressed Raw: 76,982 MB
 - Lossless compressed RAW** 41,829 MB
 - Compressed RAW 37,055 MB
- Tests zeigen, dass lossless compressed RAW kaum sichtbaren Einbußen bringt



Kameras

Aufbau von Digitalkameras – Dateiformate

Nicht komprimierte Formate

- RAW-Formate der Kameras sind meist proprietär und können nur von Herstellersoftware oder mittels Plugin für Bildbearbeitungsprogramme gelesen werden (z.B. Adobe Camera Raw für Photoshop)
- Ein nicht proprietäres Format ins DNG (Digital Negative). Allerdings wird es aus einer RAW-Datei konvertiert und ist daher eine Kopie.
- Nur der Besitz RAW-Datei ist ein zweifelsfreier Nachweis der Urheberschaft eines digitalen Fotos

Kameras

Aufbau von Digitalkameras – Dateiformate

Komprimierte Formate

- Das bekannteste komprimierte Dateiformat für digitale Fotos ist **JPEG**, benannt nach der Arbeitsgruppe **Joint Photographic Experts Group**
- Die im JPEG beschriebenen Kompressionsverfahren sind in der Norm **ISO/IEC 10918-1** definiert



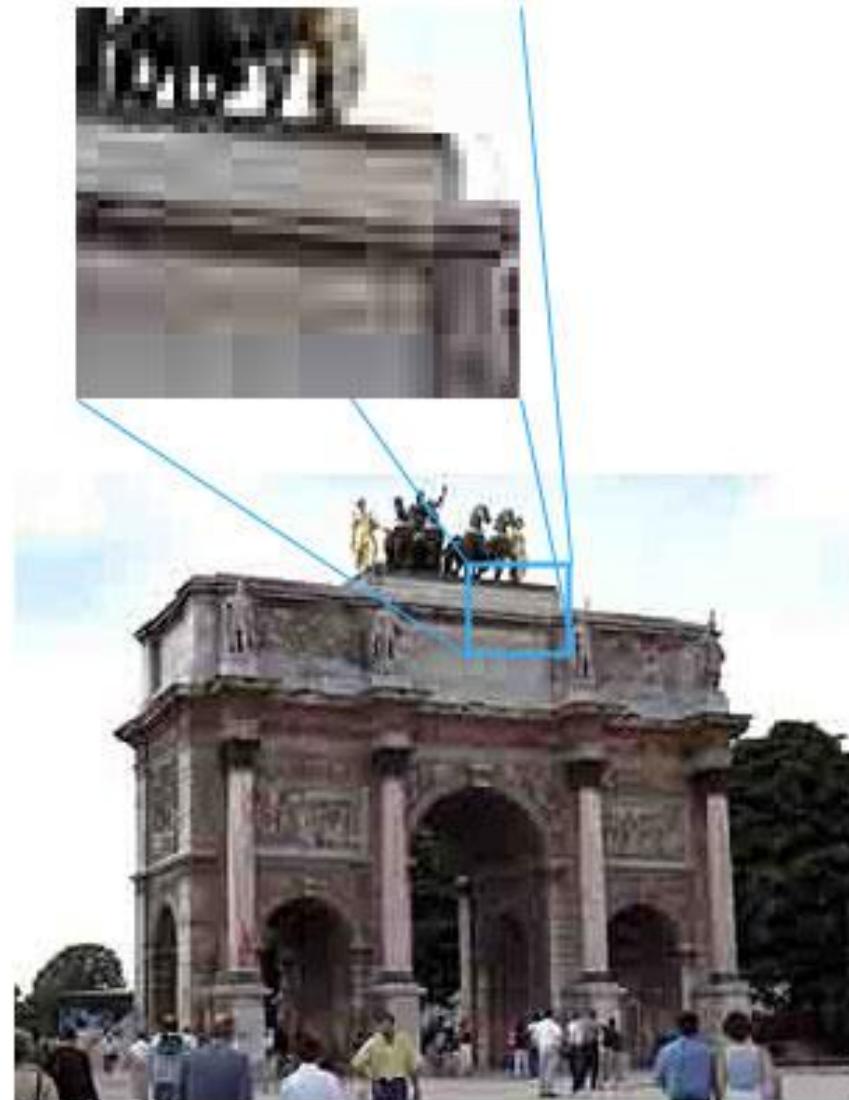
Quelle: de.wikipedia.org/wiki/JPEG

Kameras

Aufbau von Digitalkameras – Dateiformate

Komprimierte Formate

- Die **sequenzielle Komprimierung** ist die häufigste und umfasst folgende Schritte
 - Reduzierung der Bilddaten auf 8 Bit je Farbe
 - Umrechnung vom RGB-Farbsystem ins YCbCr-System (Helligkeit, blau und rot)
 - Für jeden Auszug (Y, Cb und Cr) Zusammenfassung der Pixel in Blöcke zu 8 Pixeln
 - Ausführung mehrerer mathematischer Operationen und Rundungen (Quantisierung)
 - Vereinfachung der Datenschreibweise (Huffman-Kodierung)
 - Speicherung
- Für Anzeige und Druck wird die Kompression wieder zurückgerechnet
- Das Verfahren ist sichtbar verlustbehaftet



Quelle: www.mathematik.de

Kameras

Aufbau von Digitalkameras – Dateiformate

Komprimierte Formate

- Apple erklärte 2017, zukünftig das komprimierte Dateiformat, **HEIF** oder **High Efficiency Image File Format** nutzen zu wollen
- Entwickelt von der MPEG (Motion Picture Expert Group)
- HEIF oder HEIC (HEI Codec) bietet folgende Vorteile:
 - Verarbeitet 8 und 16 Bit Farbtiefe
 - Ermöglicht verlustfreie Komprimierung
 - Kann als Containerformat auch mehrere Fotos, Animationen, Bearbeitungsschritte und Audio speichern
 - Besitzt eine höhere Kompressionsrate als JPEG
- Apple und Canon unterstützen HEIF, es soll zukünftig JPEG ablösen

Themenübersicht

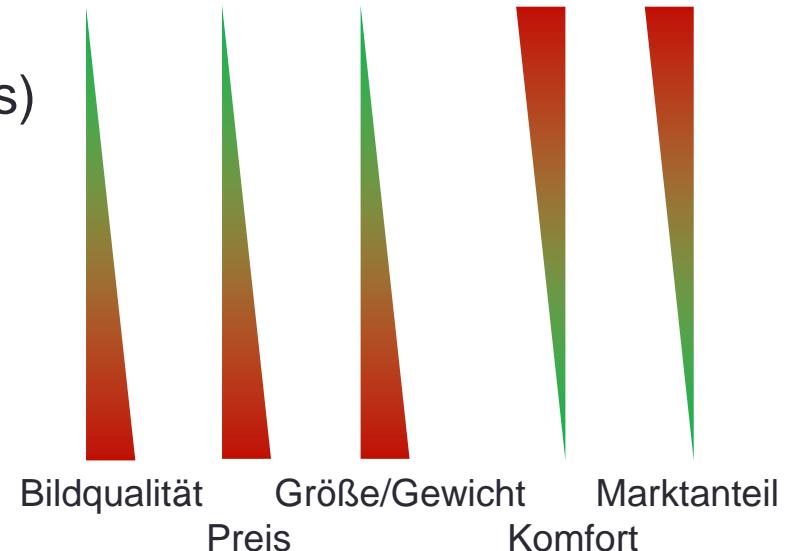
- Das Modul Bildbearbeitung
 - Ablauf, Lernziele, Prüfungen, Literatur
- Fotografie
 - Grundlagen, Entwicklung, Film und Bildaufnahmeröhren
- Aktuelle Sensoren und Kameras
 - CCD, CMOS, Formfaktor und Größe
 - Komponenten, Typen: Smartphone, Kompakt- und Bridgekameras, DSLR und DSLM
- Bildgestaltung
 - Gestaltungs- und Kompositionstechniken kennenlernen und praktisch anwenden
- Bildverwaltung und Bildbearbeitung
 - Bilder verwalten
 - Bilder digital bearbeiten: Farben, Belichtung, Ausschnitte, Schärfe, Effekte...

Kameras

Kameratypen – Einteilung

Digitale Kameras werden üblicherweise in folgende Klassen eingeteilt:

- Smartphone-Kameras
- Kompaktkameras (Pocket-Kameras)
- Bridge- oder Megazoom-Kameras
- Systemkameras
 - Spiegellos
 - Spiegelreflex
- Mittelformatkameras
- Spezialkameras



Kameras

Kameratypen

Digitale Kameras werden üblicherweise in folgende Klassen eingeteilt:

- Smartphone-Kameras
 - Fest eingebaute Objektive
 - Eine oder mehrere Kameras
 - Kleine Sensoren 1/3,2“ – 1/1,33“
 - Basis-Automatikfunktionen
 - Point-and-shoot
 - KI zur Steigerung der Bildqualität
 - Erzielen zunehmend Leistungen wie Kompaktkameras
 - Sichtbare Schwächen bei wenig Licht



Kameras

Kameratypen

Digitale Kameras werden üblicherweise in folgende Klassen eingeteilt:

- Kompaktkameras
 - Fest eingebaute Objektive
 - Kleine Sensoren 1/3,2“ – 2/3“
 - Viel Automatik, Point-and-shoot
 - Schwach bei wenig Licht
- Ausnahme: Edel-Kompakte
 - Sensor MFT bis Vollformat
 - Hochwertige Optik, hochpreisig
 - Erfüllen professionelle Ansprüche



Kameras

Kameratypen

Digitale Kameras werden üblicherweise in folgende Klassen eingeteilt:

- Bridge- oder Megazoomkameras
 - Größer und schwerer als Kompakte
 - Universell einsetzbar
 - Fest eingebaute Zoomobjektive
 - Brennweite bis 2000 mm KB äquiv.
 - Automatik und manuelle Funktionen
 - Sensoren bis 1"
 - Bildqualität im unteren Profibereich
 - Noch Schwächen bei wenig Licht



Kameras

Kameratypen

Digitale Kameras werden üblicherweise in folgende Klassen eingeteilt:

- Systemkameras

Spiegelreflex (DSLR, Digital Single Lens Reflex)

- Heller optischer Sucher mit realem Bildausschnitt
- Spiegel für Sucherbild und Messungen,
wird bei der Auslösung hochgeklappt



Kameras

Kameratypen

Digitale Kameras werden üblicherweise in folgende Klassen eingeteilt:

- Systemkameras

Spiegelreflex (DSLR, Digital Single Lens Reflex)

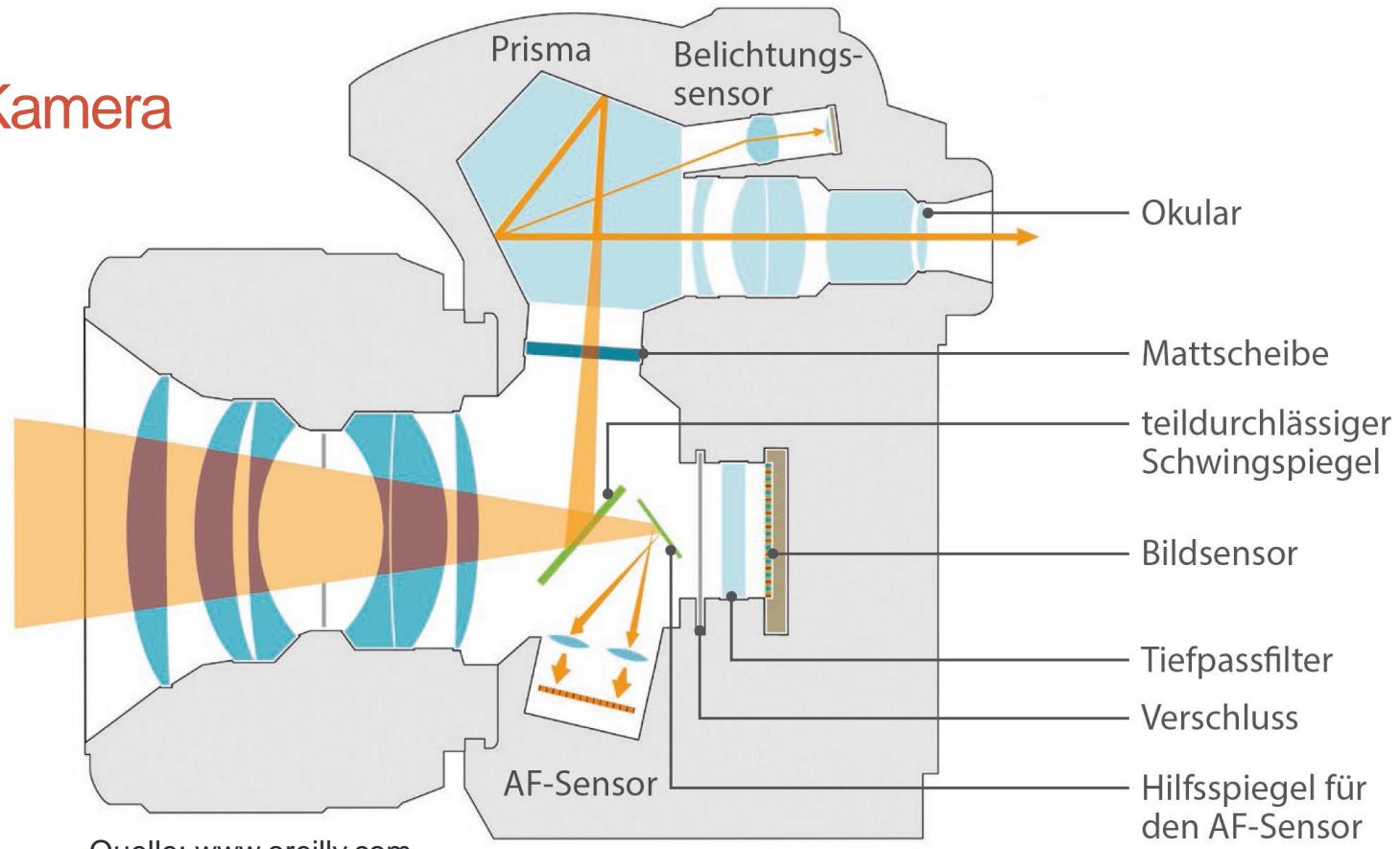
- Unterscheidet sich von zweiäugigen Spiegelreflexkameras wie der **Rolleiflex** von 1929 mit **zwei Linsensystemen**
- Ein Linsensystem für Sucher (TLR, Twin Lens Reflex)



Quelle: <http://camera-wiki.org>

Kameras

DSLR-Kamera



Quelle: www.oreilly.com

Kameras

Kameratypen

Digitale Kameras werden üblicherweise in folgende Klassen eingeteilt:

- Systemkameras

Spiegelreflex (DSLR, Digital Single Lens Reflex)

- Größe ab Bridgekamera, Profikameras noch größer
- Wechselobjektive, aktuell mit unübertroffener Auswahl
- Sensorgröße APSC bis Vollformat
- Vollumfängliche manuelle Bedienung und Automatik
- Sehr schnelle Bildfolgen und sehr schnelles Fokussieren
- Profikameras mit State-of-the-Art-Bildqualität
- Vollformat Optimale Bildqualität bei wenig Licht

Kameras

Kameratypen

Digitale Kameras werden üblicherweise in folgende Klassen eingeteilt:

- Systemkameras, spiegellos (DSLM)
- Digital Single Lens Mirrorless
 - Größe ab Bridgekamera, Profikameras größer
 - Wechselobjektive, für KB noch eingeschränkt
 - Sensorgröße MFT bis Vollformat
 - Vollumfängliche manuelle Bedienung und Automatik
 - Profikameras mit State-of-the-Art-Bildqualität
 - Vollformat optimale Bildqualität auch bei wenig Licht
 - Langsamer als DSLR, Autofokus oft schwächer
 - Elektronischer statt optischer Sucher, nur Live View



Kameras

Kameratypen

Digitale Kameras werden üblicherweise in folgende Klassen eingeteilt:

- Mittelformatkameras
 - Größe vergleichbar mit Profi-DSLR
 - Mittelformatsensor z.B. 48x33mm
 - Unübertroffene Bildqualität
 - Profisysteme für Produkt- und Landschaftsfotografie



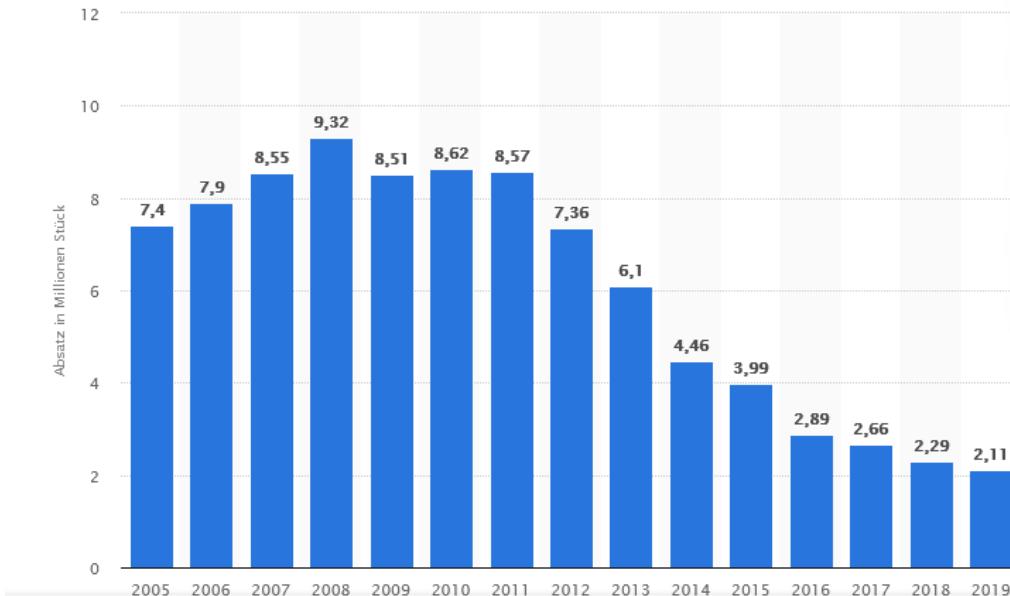
Quelle: hasselblad

Kameras

Kameratypen – Aktuelle Entwicklung und Ausblick

Sterben echte Kameras aus?

- Die Verkaufszahlen brechen seit 2011 dramatisch ein – ohne Corona



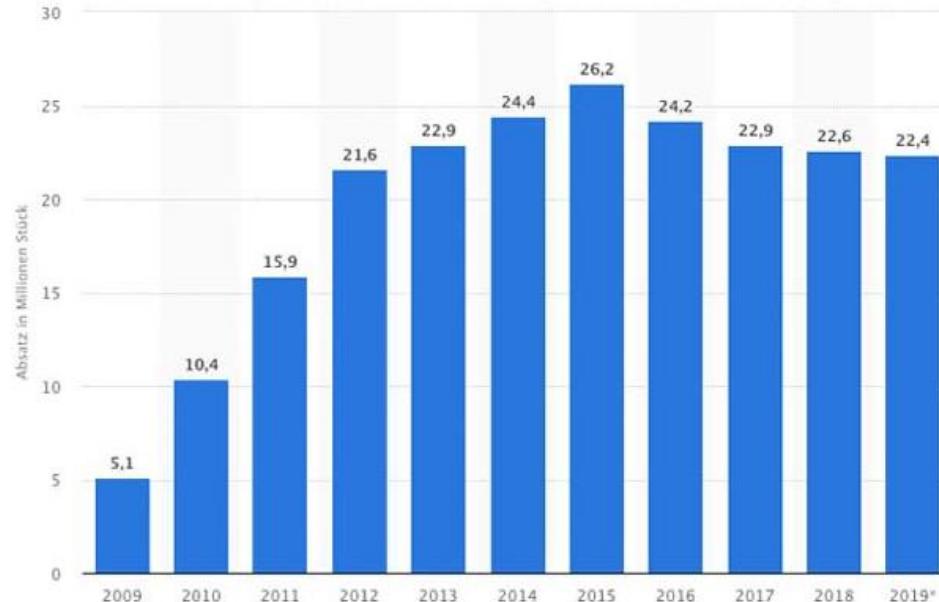
Quelle: de.statista.com

Kameras

Kameratypen – Aktuelle Entwicklung und Ausblick

Sterben echte Kameras aus? – Genauer hinsehen

- Der Smartphone-Markt ist in Deutschland auch gesättigt...



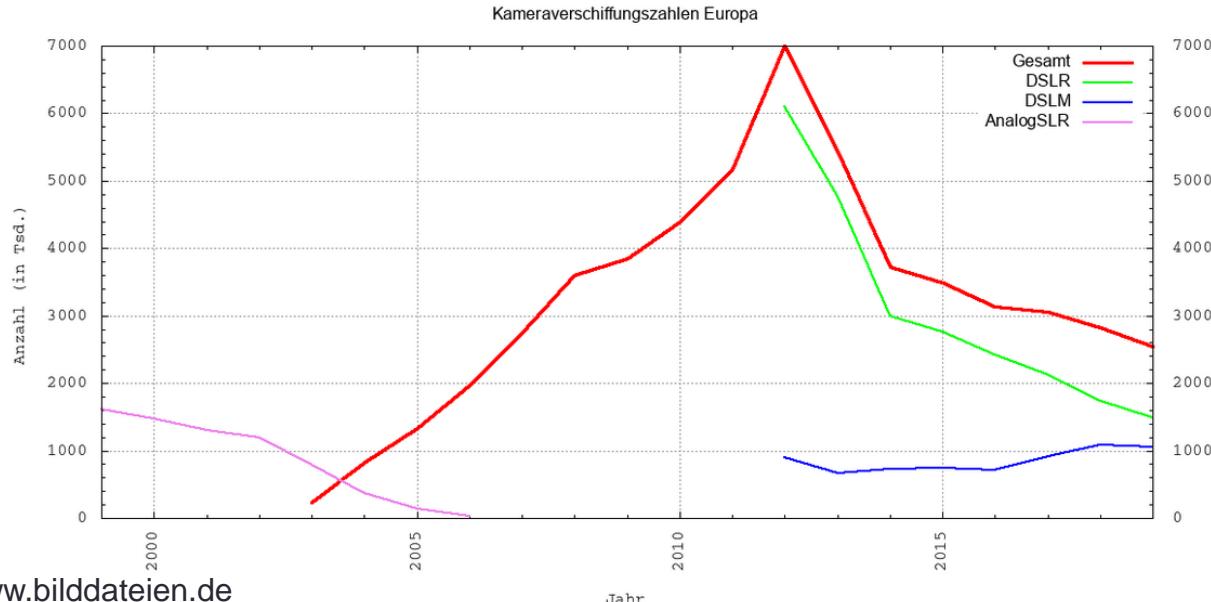
Quelle: de.statista.com

Kameras

Kameratypen – Aktuelle Entwicklung und Ausblick

Sterben echte Kameras aus? – genauer hinsehen

- Absatzzahlen nach Kameratypen: Vor Allem die DSLR bricht ein



Kameras

Kameratypen – Aktuelle Entwicklung und Ausblick

Genauere Analysen führen zu folgenden Schlüssen:

- Sensoren bis MFT sind/werden von Smartphone überflügelt : Rechenpower und KI schlagen Sensorgröße für Point-and-Shoot
- Kompaktkameras sind bald praktisch überflüssig, was bleibt sind Vollformat und Mittelformat
- Systemkameras im Vollformat bieten erheblich mehr künstlerische Gestaltungsmöglichkeiten
- DSLR sind komplizierter als DSLM und nur noch wenig besser, ihr Marktanteil wird weiter sinken - und der Gebrauchtwert ebenso
- Vollformat und Mittelformat in Profi-Systemkameras werden bleiben

Kameras

Sensoren und Kameras -Zusammenfassung

- Digitalkameras gibt es aktuell in verschiedenen Qualitätsklassen
- Point-and-Shoot-Kameras in Smartphone und Kompaktkamera
- Bridge- und Einsteiger Systemkameras mit 1“ bis APSC-Sensor
- Profi-Systemkameras als DSLR und DSLM mit Vollformat
- Mittelformat für maximale Qualitätsanforderungen
- CMOS-Sensoren mit Bayer-Filter sind Standard für Farbaufnahmen
- Auch wenn Smartphones immer bessere Kameras bekommen, können Sie zur Zeit das High End in Voll- und Mittelformat noch nicht erreichen, weder bei der Bildqualität noch bei der Bildgestaltung