Von den Rohdaten bis zum fertigen Bild – Unterschiede in der Verarbeitung und Einflüsse auf die Bildqualität

Volker Zimmer, Wanja Szypura
Digital Imaging - Leica Camera AG

DGPH-Symposium „Was ist ein gutes Bild?“ 14.06.2013

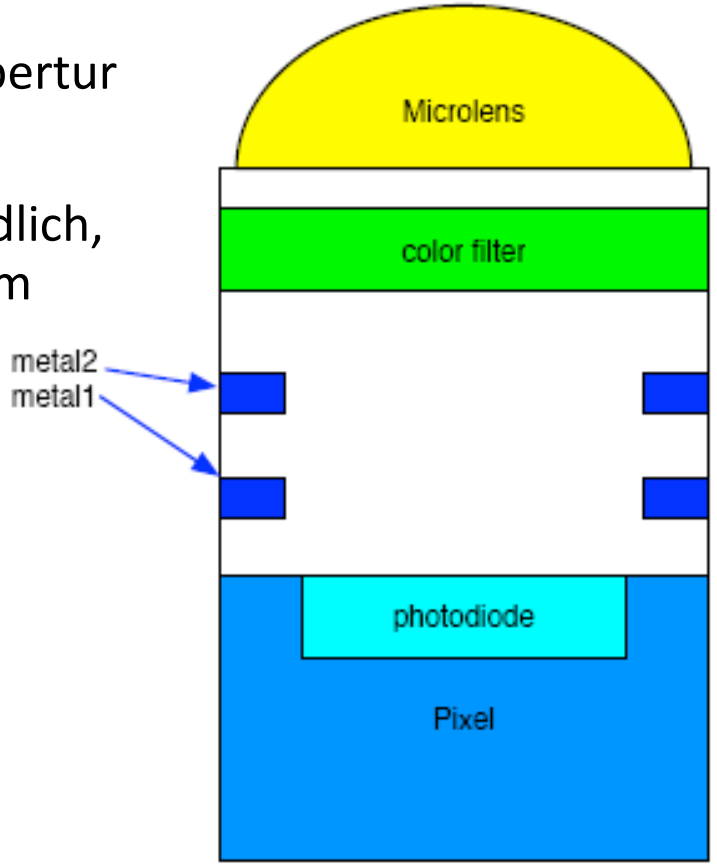
Der Analoge Film – Das Universalgenie

- Bildsensor, Bildverarbeitung und Speicher in „Personalunion“
- Bildaufnahme und-verarbeitung innerhalb 1ms ohne Stromverbrauch
- Bildqualität nahezu unabhängig vom Einfallswinkel der Lichtstrahlen auf den Film

Problem

- zusätzlicher Vignettierung durch SensorPixel-Apertur (wirkt multiplikativ mit Objektiv-Vignettierung)
- nicht die komplette Pixel-Fläche ist lichtempfindlich, sondern nur die kleinere Photodiode im Zentrum („Füllfaktor“)

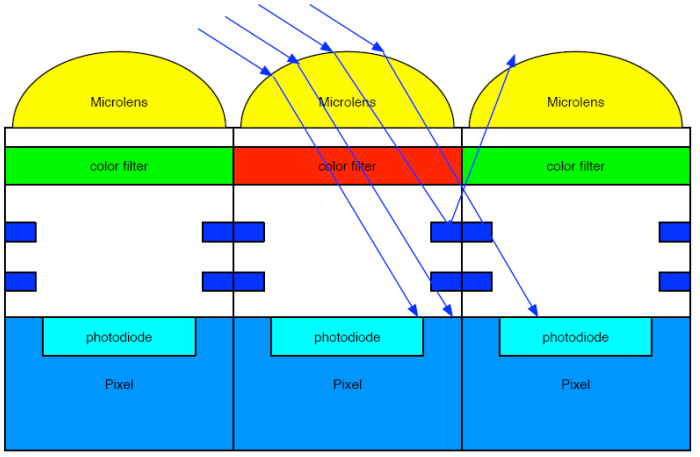
→ µLinsen (zur Erhöhung der Empfindlichkeit)



Vertikaler Schnitt durch das Pixel

Dennoch weitere Probleme bei großem Einfallswinkel:

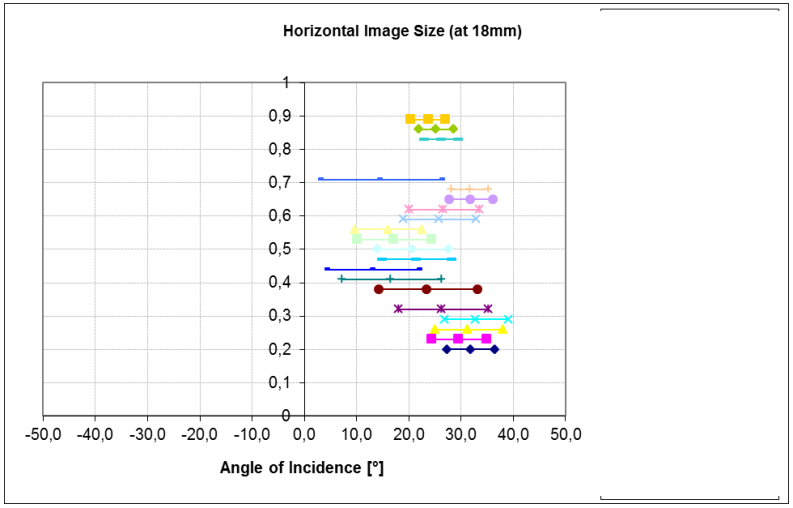
- Apertur (Abschattung z.B. an den Metallisierungsschichten)
- Reflektion zurück ins Objektiv (Streulicht)
- Farbränder durch „optisches Übersprechen“



→ µLinsen-Offset (zum Bildrand zunehmend)

Problem: Offset abgestimmt auf ein Objektiv

- Daher immer ein Kompromiss, speziell bei Systemkameras mit unterschiedlichen Objektiven



Beispiel Leica M: Zwei Unterschiedliche Objektiv-Systeme sind nutzbar

- M-Objektive (kurze Schnittweite, Hauptstrahlwinkel bis zu 35°)
- R-Objektive (größere Schnittweite, telezentrisches Design)

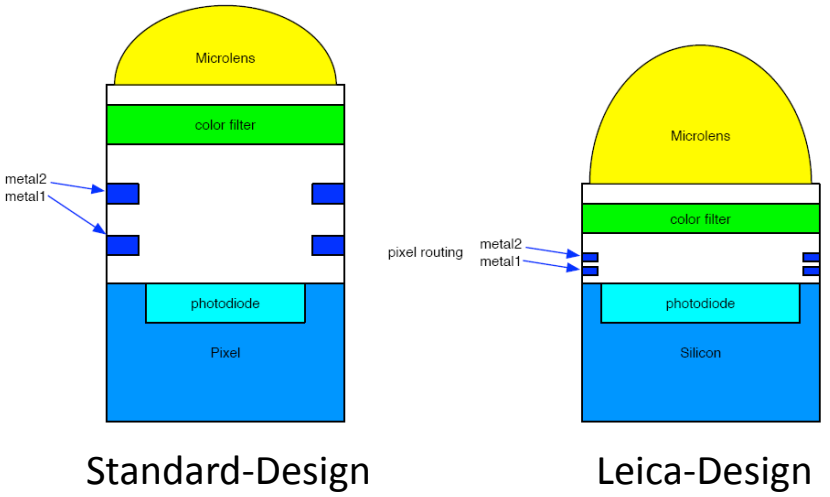
Lösung: Änderung des Pxl-Designs

Geringerer Abstand PD <-> µLinse

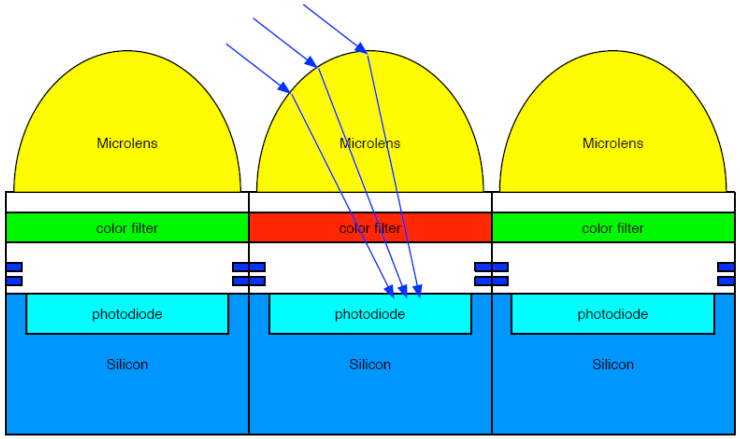
→ größere Pixel-Apertur

→ **kein** µLinsen-Offset nötig

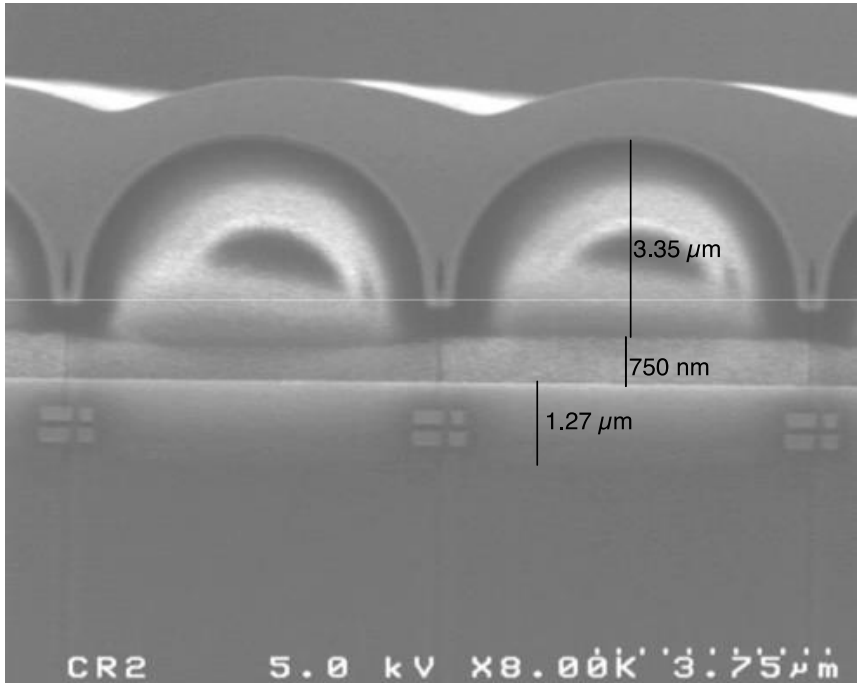
→ Pixel-Design und damit Bildsensor für M- und R-Objektive nutzbar



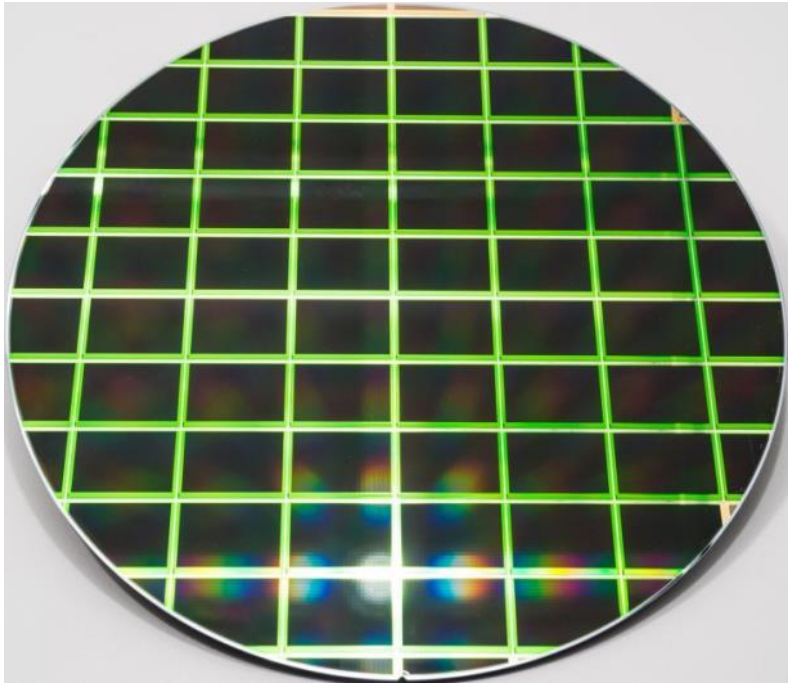
Standard-Design Leica-Design



Ergebnis: Leica-MAX-Sensor der Leica M



Vertikaler Schnitt durch das reale Pixel



Silizium-Wafer mit Bildsensoren (Ø30cm)

Teil 1: Maßnahmen in der Hardware
Bildprozessor

Leica M9

- Vollformat (24mm x 36mm)
- 18MP Full Frame CCD
- max. 2 Bilder/sec.

→ Benötigte Verarbeitungsgeschwindigkeit

- 18MP x 2 Bilder/sec. → 36MP/s

DSP Bildverarbeitung

Leica M (Typ 240)

- Vollformat (24mm x 36mm)
- 24MP Full-Frame CMOS
- max. 3 Bilder/sec.

→ Benötigte Verarbeitungsgeschwindigkeit

- 24MP x 3 Bilder/sec. → 72MP/s

ASIC Bildverarbeitung (Maestro Imageprozessor)

Teil 1: Maßnahmen in der Hardware
Bildprozessor

DSP basierte Signalverarbeitung:

Vorteile:

- Extrem flexibel im Funktionsumfang
- Baustein von der Stange
- In kleinen Stückzahlen erhältlich

Nachteile:

- Nicht auf Bildverarbeitung spezialisiert
- Langsam
- Hohe Leistungsaufnahme
- parallele Prozesse nur begrenzt möglich
- Bauteilgröße

→ Bis zu einer gewissen Pixelzahl gute Lösung

Leica DMR / M8 / M9

ASIC basierte Signalverarbeitung:

Vorteile:

- Sehr schnell und effizient
- Kleine Abmessung
- Geringer Leistungsaufnahme
- Parallele Prozesse möglich

Nachteile:

- Funktionsumfang nicht beliebig erweiterbar
- Teure Einrichtungskosten (Maskensatz Chipherstellung)
- Nur lohnend bei hohen Stückzahlen

→ Bei großen Datenmengen das Mittel der Wahl

Leica S2 / M / X / C-Lux / D-Lux / V-Lux

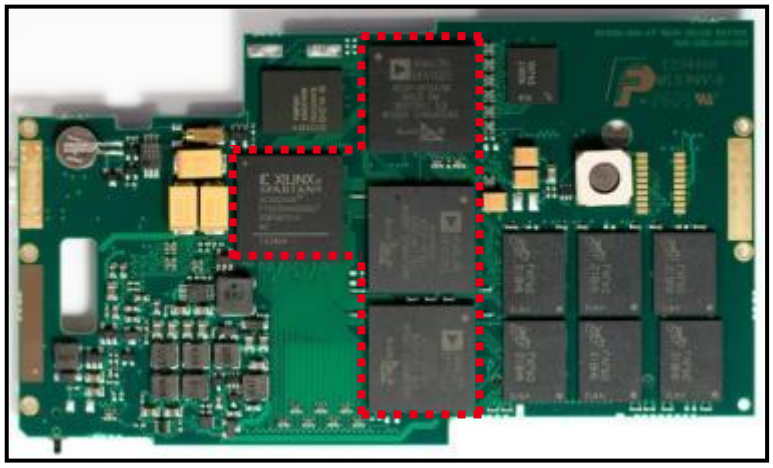
Maestro Bildprozessor

- ASIC
- In Zusammenarbeit mit Fujitsu für die Leica S2 entwickelt
- Speziell auf die Bildverarbeitung von DSCs optimiert
- hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit
- niedrige Leistungsaufnahme
- kompaktes Gehäuse

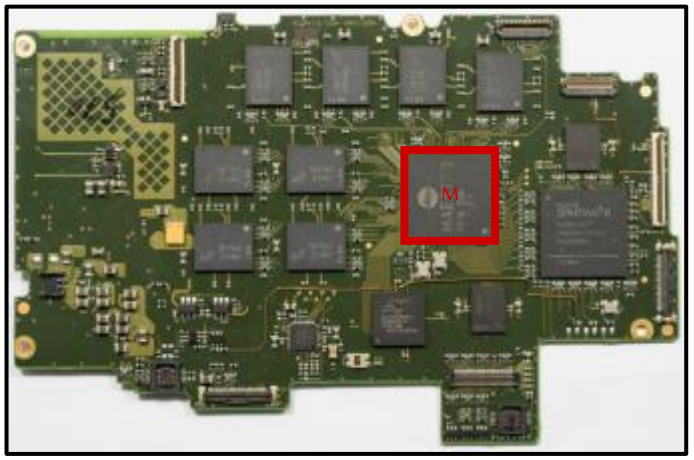
Weitere Vorteile des Leica Maestro im Vergleich zur DSP-Lösung:

- Ersetzt 3 DSPs und 1 FPGA (Platzersparnis ca. Faktor 4)
- Höhere Verarbeitungsgeschwindigkeit (ca. Faktor 2)
- Geringerer Stromverbrauch von ca. 0,3W (ca. Faktor 4)

M9 Imageboard (DSP)



Leica M (Typ 240) Imageboard (Maestro ASIC)

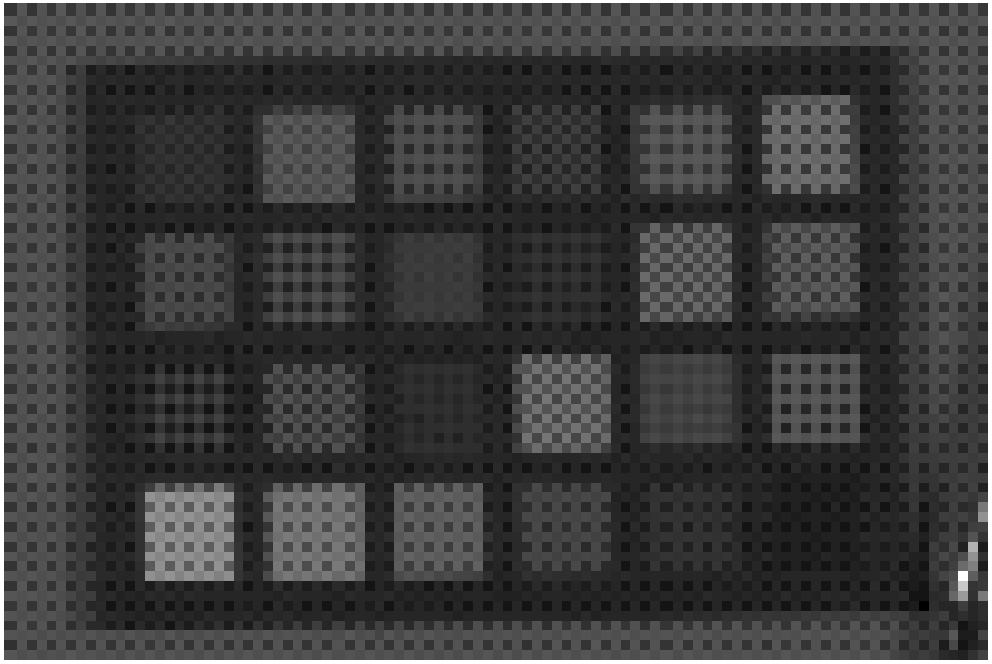


Maßnahmen in der Software/Bildverarbeitung

Übersicht über die Verarbeitungsschritte

Bilddaten nach dem Pre-Processing

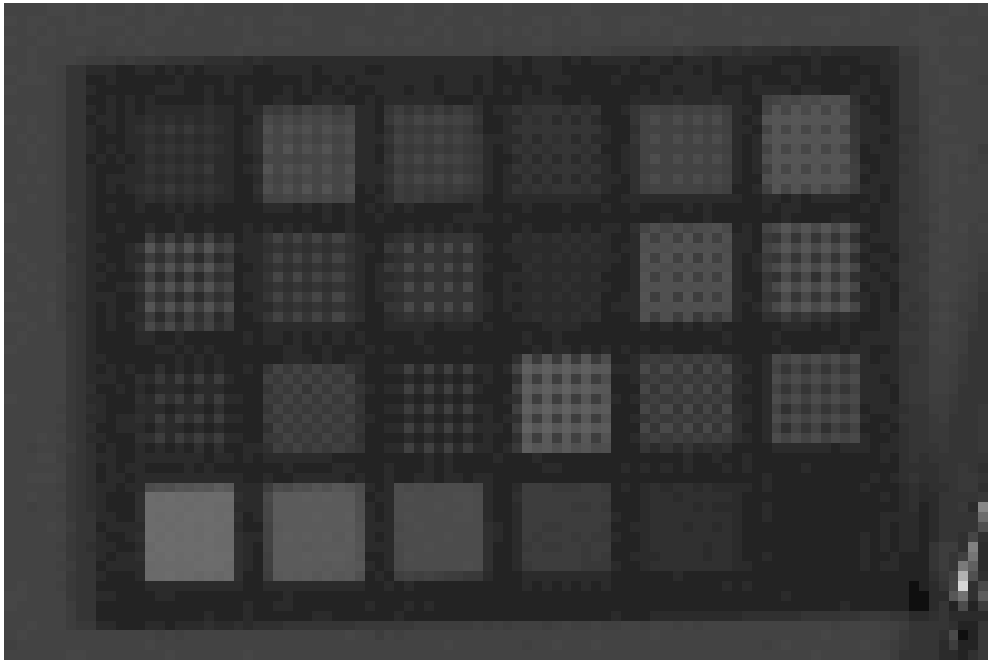
- „Bayer-Mosaic“
- Grauwertbild
- 1 x 16bit/Pixel



Gammakorrektur vorgezogen um Darstellung zu verbessern

Weißabgleich

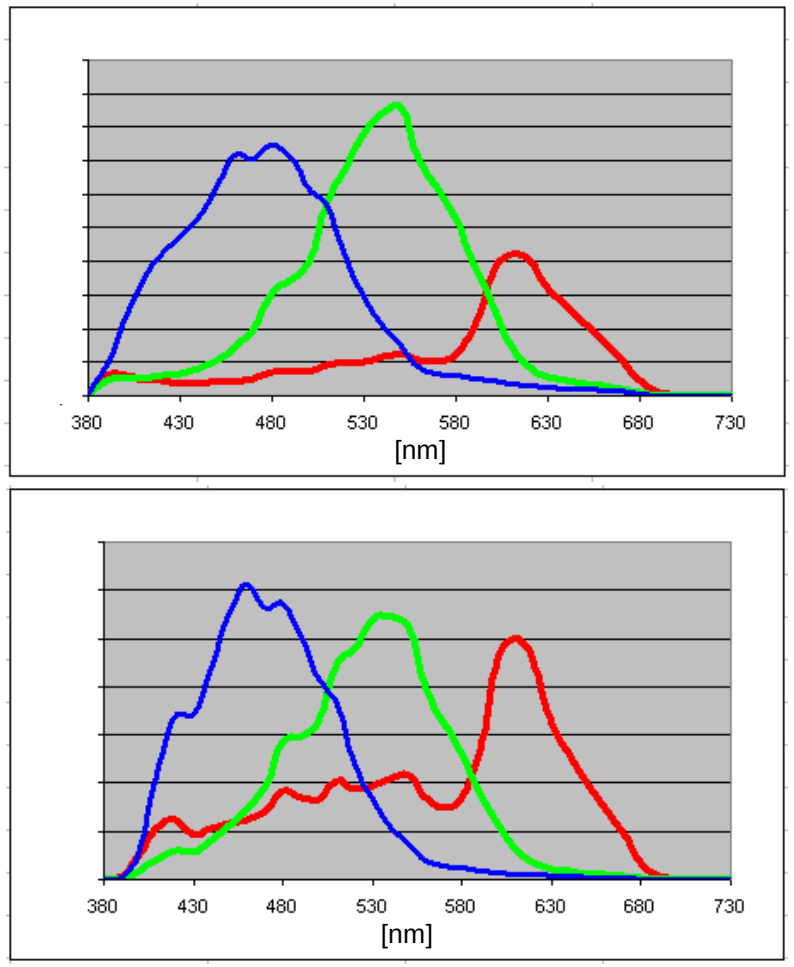
- Immer noch ein Grauwertbild
- Graue Bildanteile nahezu mosaikfrei



Weißabgleich – Spektrale Wirkung

- Wirkung eines neutralen Farbreizes auf die Spektralempfindlichkeit des Bildsensors

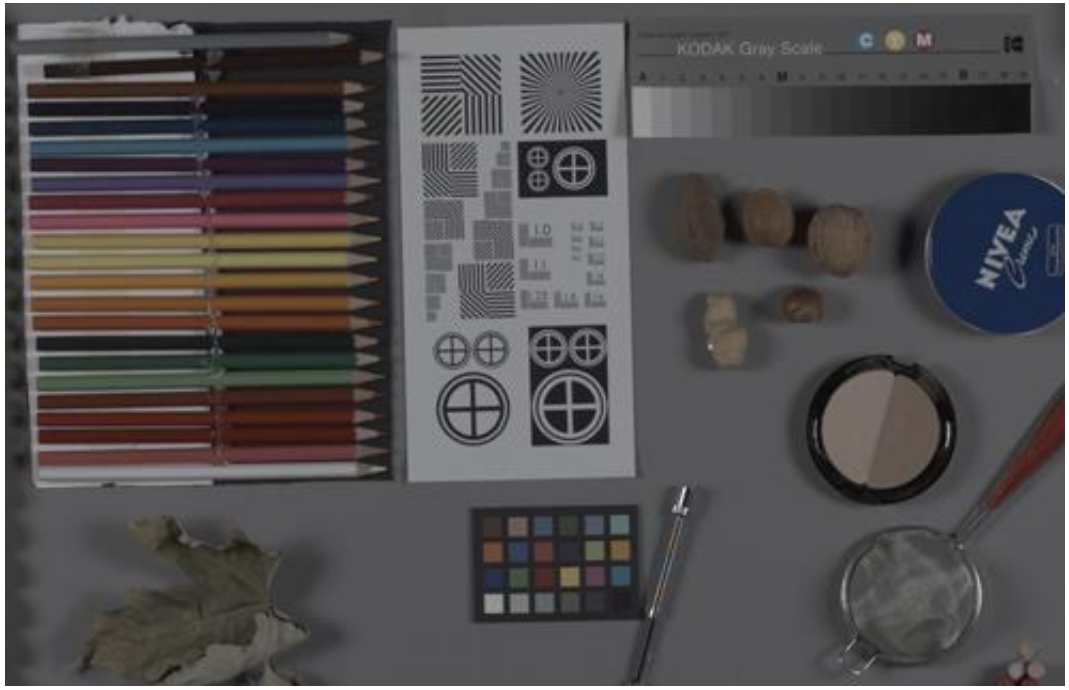
- Nach Weißabgleich ist die Fläche unter den Kurven identisch R=G=B



Kameraantwort auf ein graues Objekt (neutraler Farbreiz) vor und nach WB

Farbinterpolation/ Demosaicing

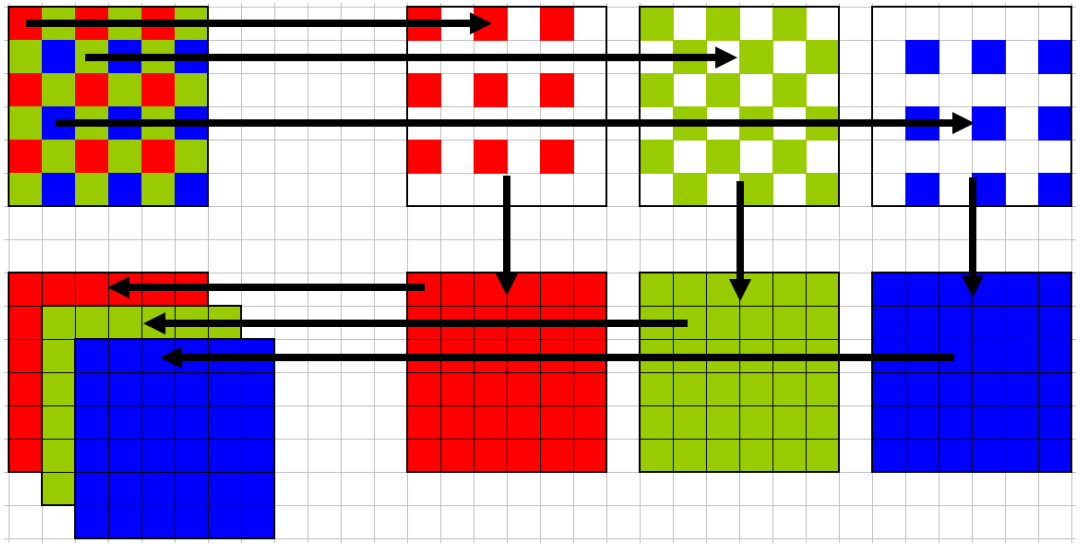
- RGB-Bild
- 3 x 16bit/Pixel
- Farben noch im kamera-nativen Farbraum



→ Schärfe, Vermeidung von Moiré

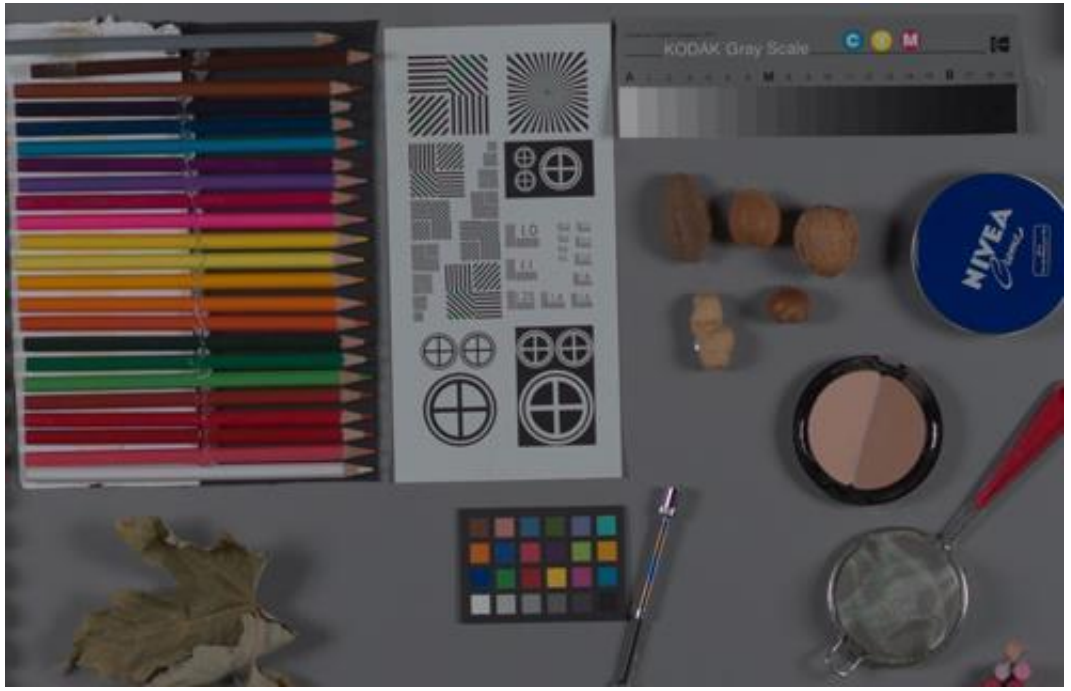
Prinzip der Farbinterpolation

- Fehlende Farbinformation wird interpoliert
- Jede physikalische Pixelposition erhält ein RGB-Tripel



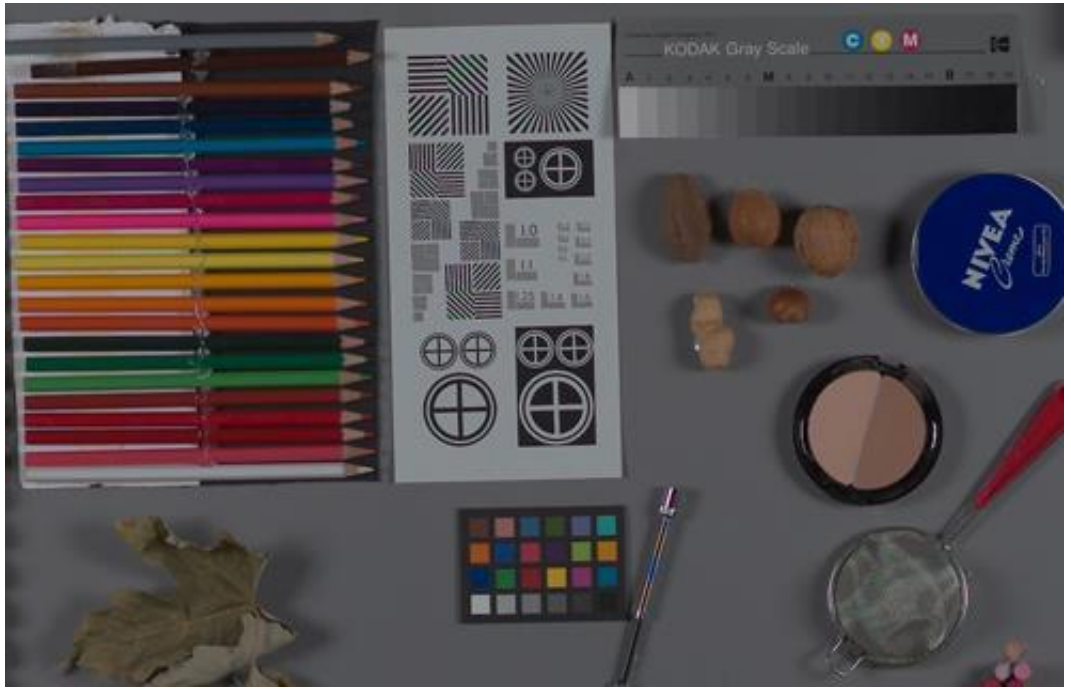
Farbkorrektur

- Farbraumkonvertierung: CamRGB→sRGB/AdobeRGB



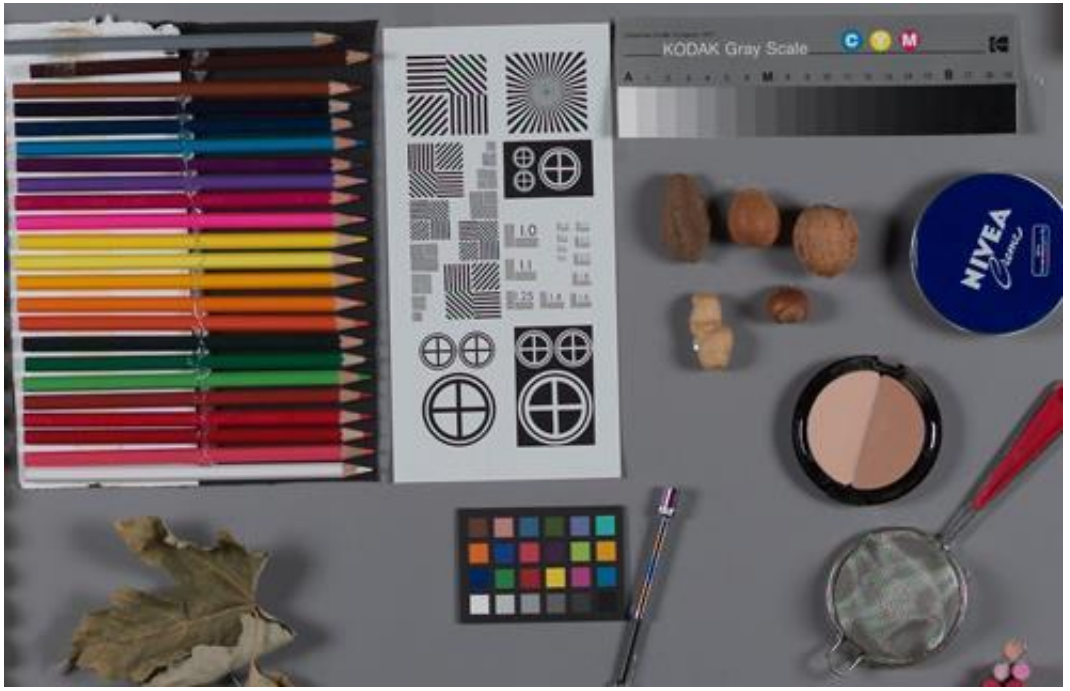
Schärfung

- Kantenaufsteilung
- Ausgleich der Schärfeverluste aus der Farbinterpolation



Tonwertkorrektur

- Finales RGB-Bild



… aber, noch ist das kein „gutes Bild“!

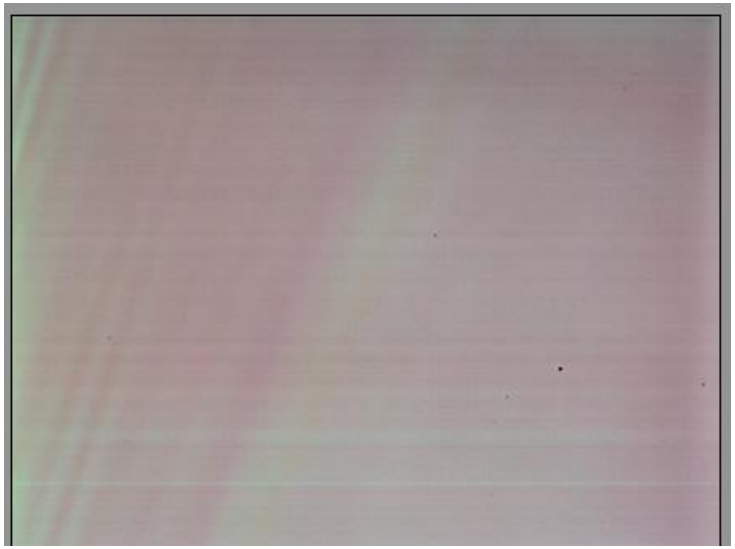
Ein gutes Bild benötigt gute Rohdaten!

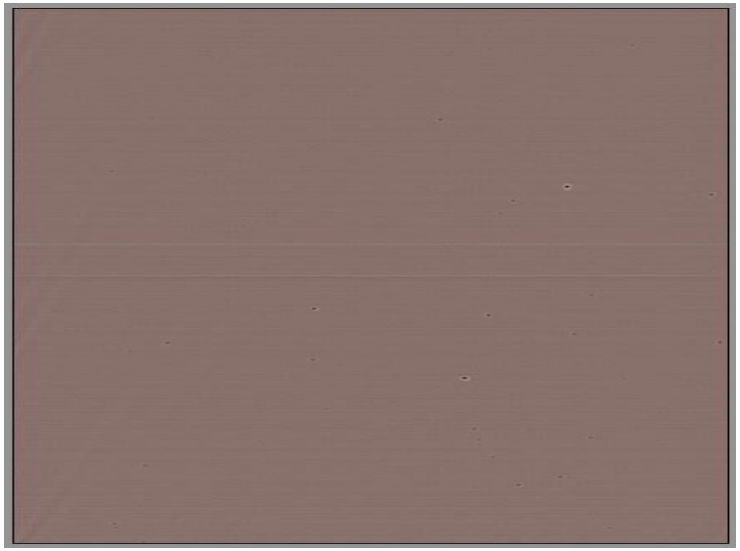
Korrektur von Sensorfehlern (Pre-Processing)

- Gain/Offset
  - Unterschiede zwischen den Ausgangsverstärkern
- Defektpixel
  - Unreinheiten bei der Sensorherstellung
  - Sensoralterung (z.B. Höhenstrahlung)
- PRNU (Photo Response Non-Uniformity)
  - Herstellungsbedingte Dickenunterschiede der Farbfilter
- DSNU (Dark Signal Non-Uniformity)
  - Fertigungsbedingt
  - Lokale Temperaturunterschiede (relevant bei langen Belichtungszeiten)

PRNU-Korrektur

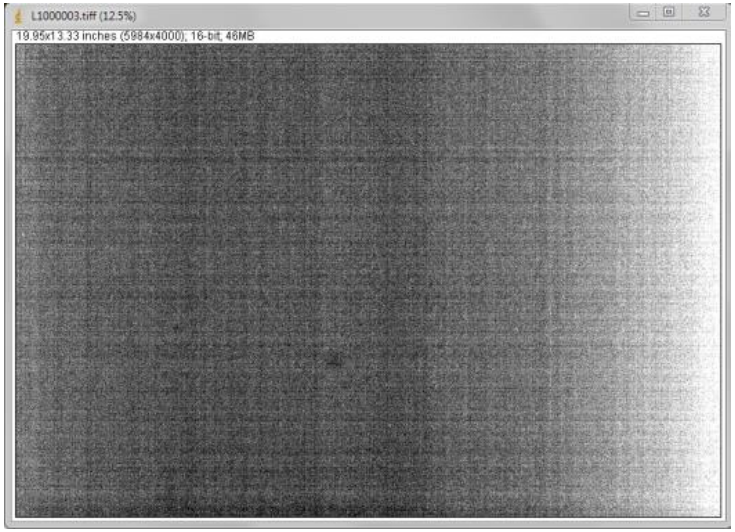
- Bildsensor unter homogener Beleuchtung
- Lokale Unterschiede in der Pixelempfindlichkeit

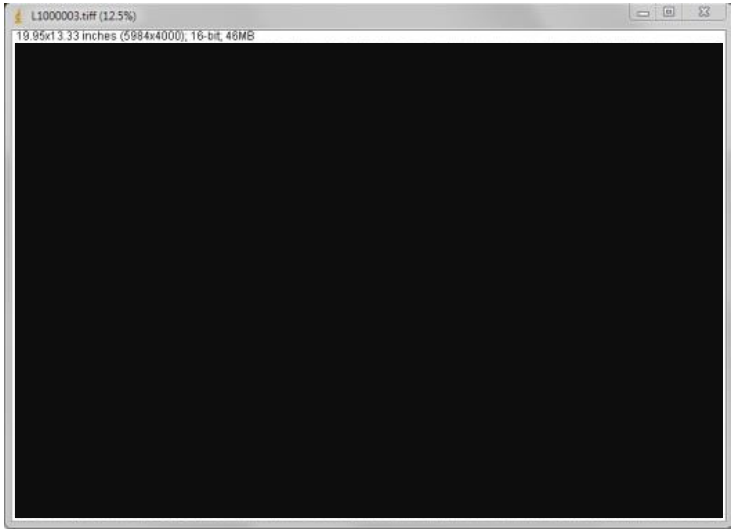




DSNU-Korrektur

- Antwort des Bildsensors ohne Lichteinfluss
- Lokale Helligkeitsunterschiede durch unterschiedliche Dunkelstromrate





Fazit

- Für den Kamerahersteller muss das Bild „technisch einwandfrei“ sein stimmt nicht ganz, das ist immer nur der reproduzierbare Ausgangspunkt
- Gute Bildverarbeitungsparameter werden immer auch einer visuellen Optimierung unterzogen
  - z.B. Parameter zur Rauschreduktion (Homogenität/logische Folge)
  - Parameter für den Weißabgleich (Grauachse/technische Korrektheit)
- Nicht alle Bildfehler sind auch Fehler
  - Rauschen darf in realen Bildern nicht komplett fehlen
  - Vignettierung sollte nicht zu 100% korrigiert werden (unnatürliche Effekte korrigieren)

→ Ein gutes Bild wird selbst aus technischer Sicht aus objektiven wie auch subjektiven Parametern bestimmt, mindestens zu gleichen Teilen

Vielen Dank