

Digitale Bilder

Kapitel 2

Digitale Bilder

Was ist ein Bild?

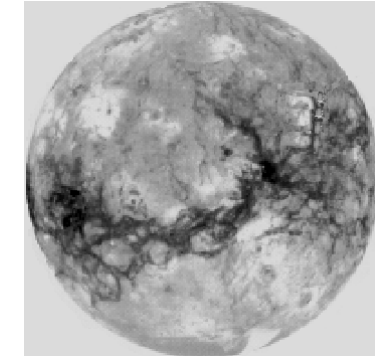
Datenformate
Bilderzeugung



Sichtbares Licht



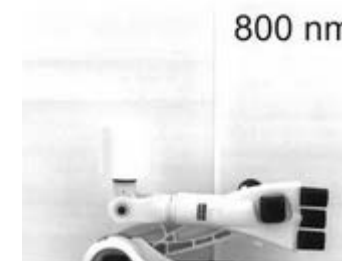
Helligkeit



Mikrowellen



Wärme



Nahes Infrarot



Röntgenstrahlung

Was wird auf Bildern eigentlich alles sichtbar?
Alles Licht oder was?

Elektromagnetisches Spektrum

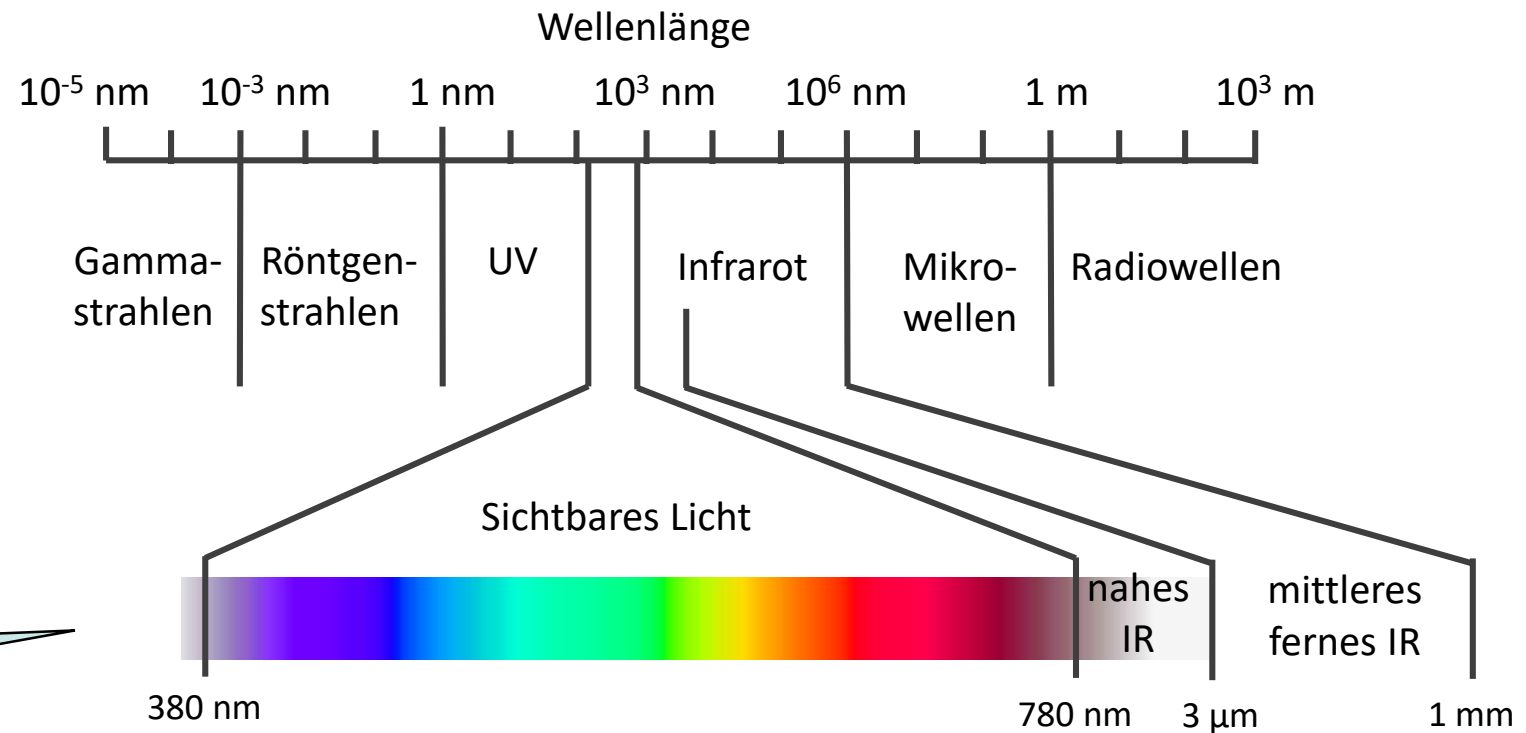
Kapitel 2

Digitale Bilder

Was ist ein Bild?

Datenformate
Bilderzeugung

Übliche
Abkürzungen:
NIR, MIR und FIR
für nahes,
mittleres und
fernes Infrarot



Vieleichtsichtbare Spektren lassen sich als Bilder darstellen!
Visualisiert wird jeweils die reflektierte elektromagnetische Energie.

2 ½ D Daten

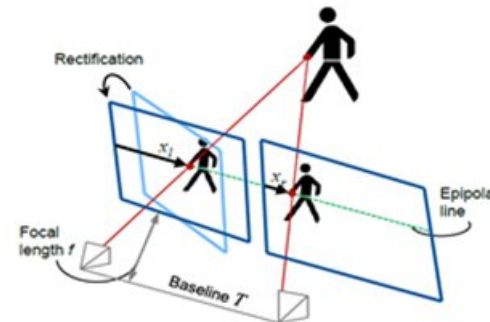
Kinect, Google Tango, Hololens, RealSense (Intel) etc. liefern (zusätzlich zu Farbbildern) auch ein Entfernungsbild.



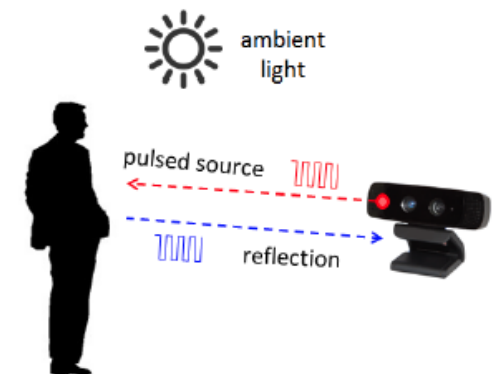
Unterschiedliche Technologien:



Kinect 1 hat hierfür ein Zufallsmuster im NIR Spektrum projiziert.



Klassisches Stereo mit zwei oder mehreren Kameras oder structure from motion



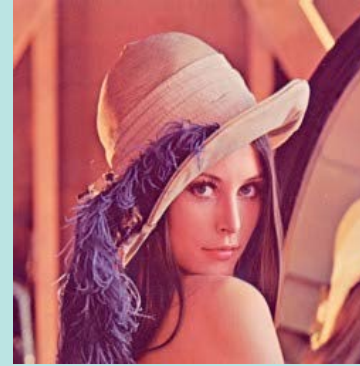
Kinect 2, Google Tango u.a. verwenden einen PMD-Sensor: Time-of-flight Prinzip, z.B. mit 850 nm Laser



Helligkeit



Fernes IR



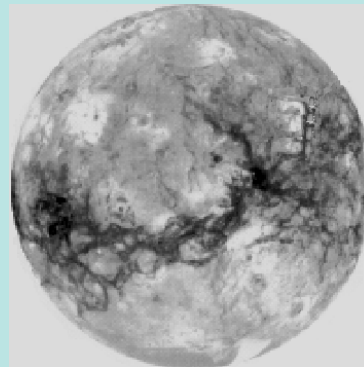
Sichtbares Licht

Passiv

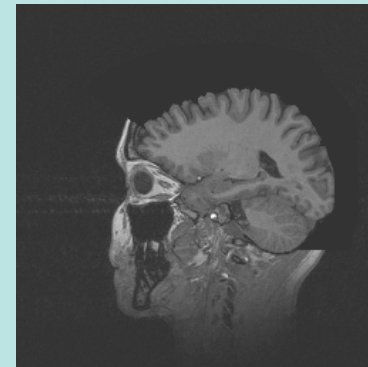
Aktive versus passive Bildakquisition



Röntgen



Mikrowellen



MRT

Aktiv

Ein Bild als Zahlenmatrix und als Funktion

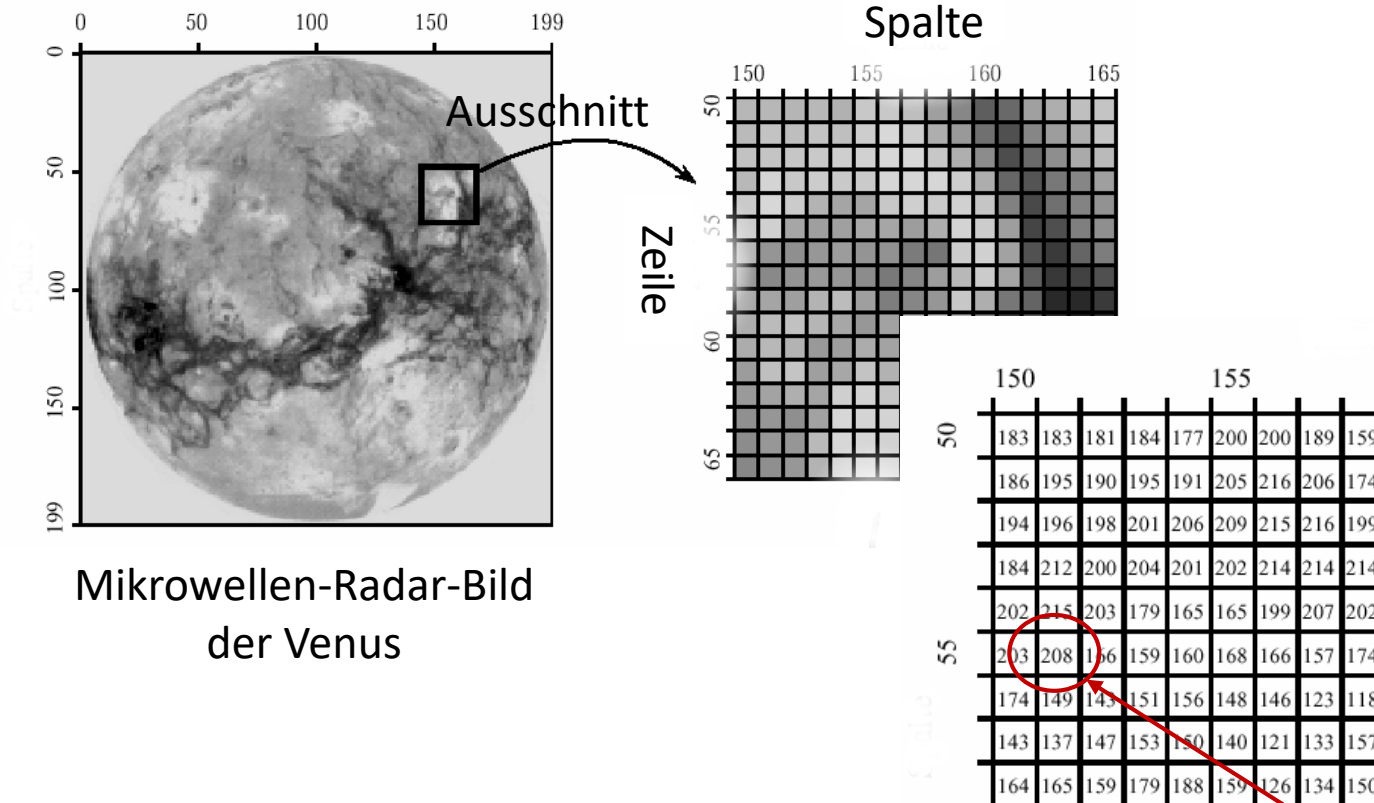
Kapitel 2

Digitale Bilder

Was ist ein Bild?

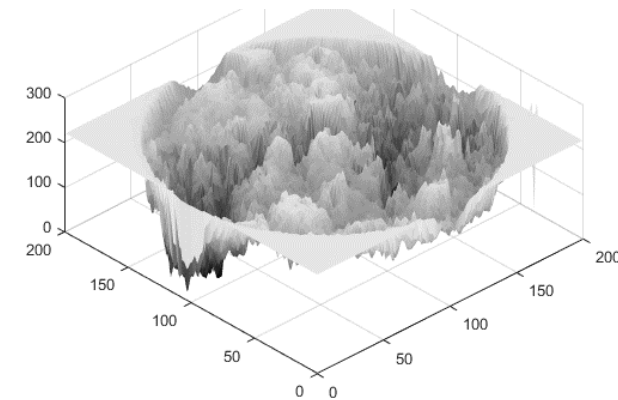
Datenformate

Bilderzeugung



Mikrowellen-Radar-Bild
der Venus

Als (diskrete) Funktion
über x und y :
Grauwertgebirge



Die Elemente von Bildern heißen **Bildpunkt** oder **Pixel** (picture element) und werden indiziert durch **Spalten-** und **Zeilenindex**:

Spalte $x = 151$, Zeile $y = 55$, Grauwert als Funktion: $I(151, 55) = 208$

Die Indizierung des Venusbilds:

- ▶ $200 \times 200 = 40.000$ Pixel, angeordnet in einer Zahlenmatrix
- ▶ Die Werte werden indiziert mit
 - ▶ Spaltenindex x von 0 bis 199
 - ▶ Zeilenindex y von 0 bis 199
- ▶ Konvention: Ursprung i.d.R. links oben

Die Messwerte des Venusbilds:

- ▶ Ursprüngliche Messwerte: Rückgestreute Mikrowellenenergie der Venus Oberfläche
- ▶ Im Bild wird diese Energie z.B. durch die Grauwerte 0...255 (8bit) repräsentiert:
 - 0: keine Energie zurückgestreut \Leftrightarrow schwarz
 - 255: maximale Energie zurückgestreut \Leftrightarrow weiß

Die Anzahl von Zeilen und Spalten (=Bildgröße) ist sensorabhängig. Typische Größen sind:

- ▶ 640 x 480 Pixel (**VGA**)
- ▶ 320 x 240 Pixel (**QVGA**, z.B. bei ToF und FIR noch immer typisch)
- ▶ 800 x 600 Pixel (**SVGA**)

Absolut untypisch sind Auflösungen wie bei Consumer Cameras, etwa

- ▶ 5144 x 3888 Pixel (wie z.B. meine Canon SX 720 HS)

Die Anzahl der Grauwerte, die dargestellt werden können, heißt **Dynamik** bzw. **Grauwertaupflösung** und ist sensorabhängig.

Typisch sind

- ▶ 8 bit für Grauwerte, manchmal auch 16 bit.
- ▶ 24 bit für Farbkameras (z.B. RGB mit 3·8 bit: true color).

Als Zwischenergebnisse treten auch andere Datentypen auf, z.B. float oder double.

Farbbilder

Kapitel 2

Digitale Bilder

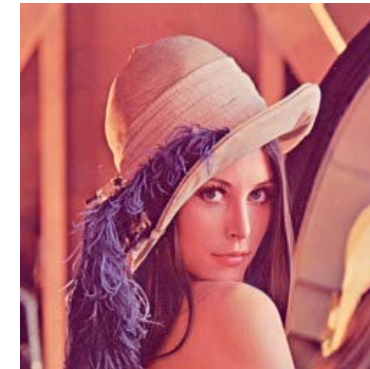
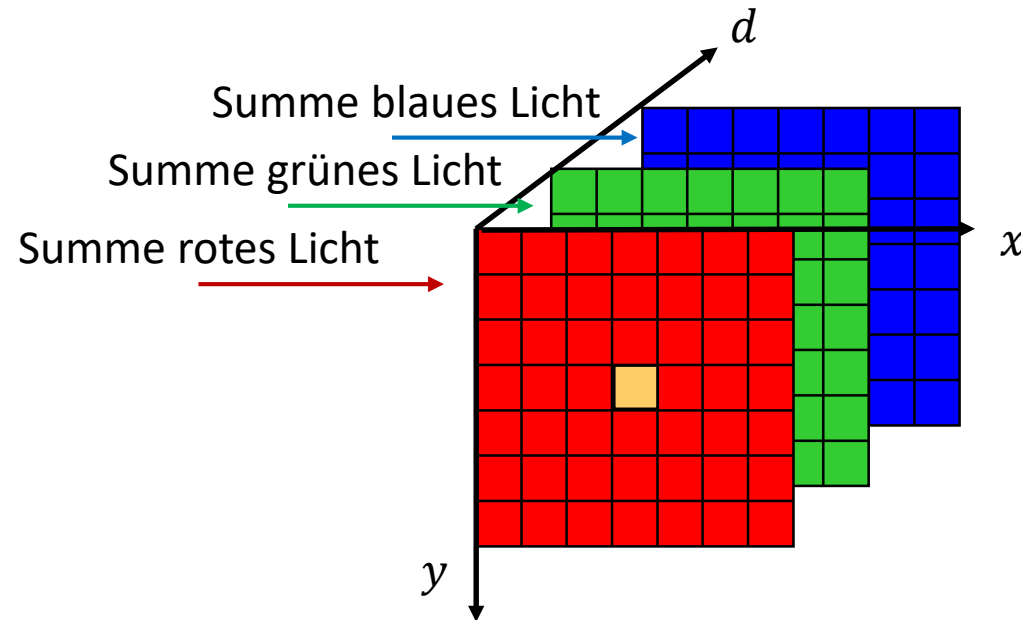
Was ist ein Bild?

Datenformate

Bilderzeugung

Ein Farbbild enthält für jedes Pixel mehrere Werte, hat also insgesamt mehrere **Kanäle** (engl. channels)

Beispiel: RGB (Red Green Blue):



Lena
(oder Lenna)



blau



grün

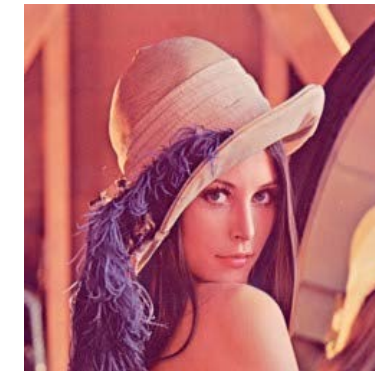
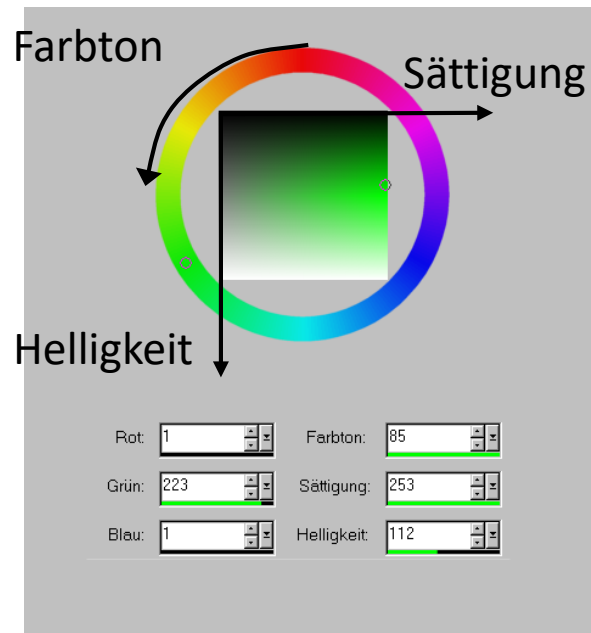


rot

Spalte $x = 151$, Zeile $y = 55$, Kanal $d = 0$

Grauwert als Funktion: $I(151, 55, 0) = 255$

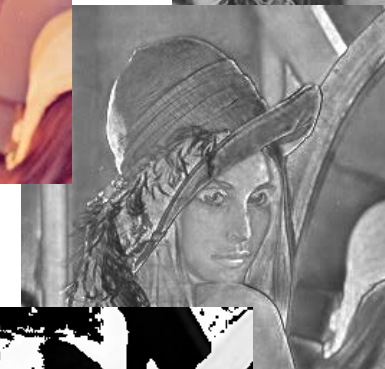
Beispiel HSI (Hue Saturation Intensity) – Farbton Sättigung Intensität



Lena
(oder Lenna)



Intensität



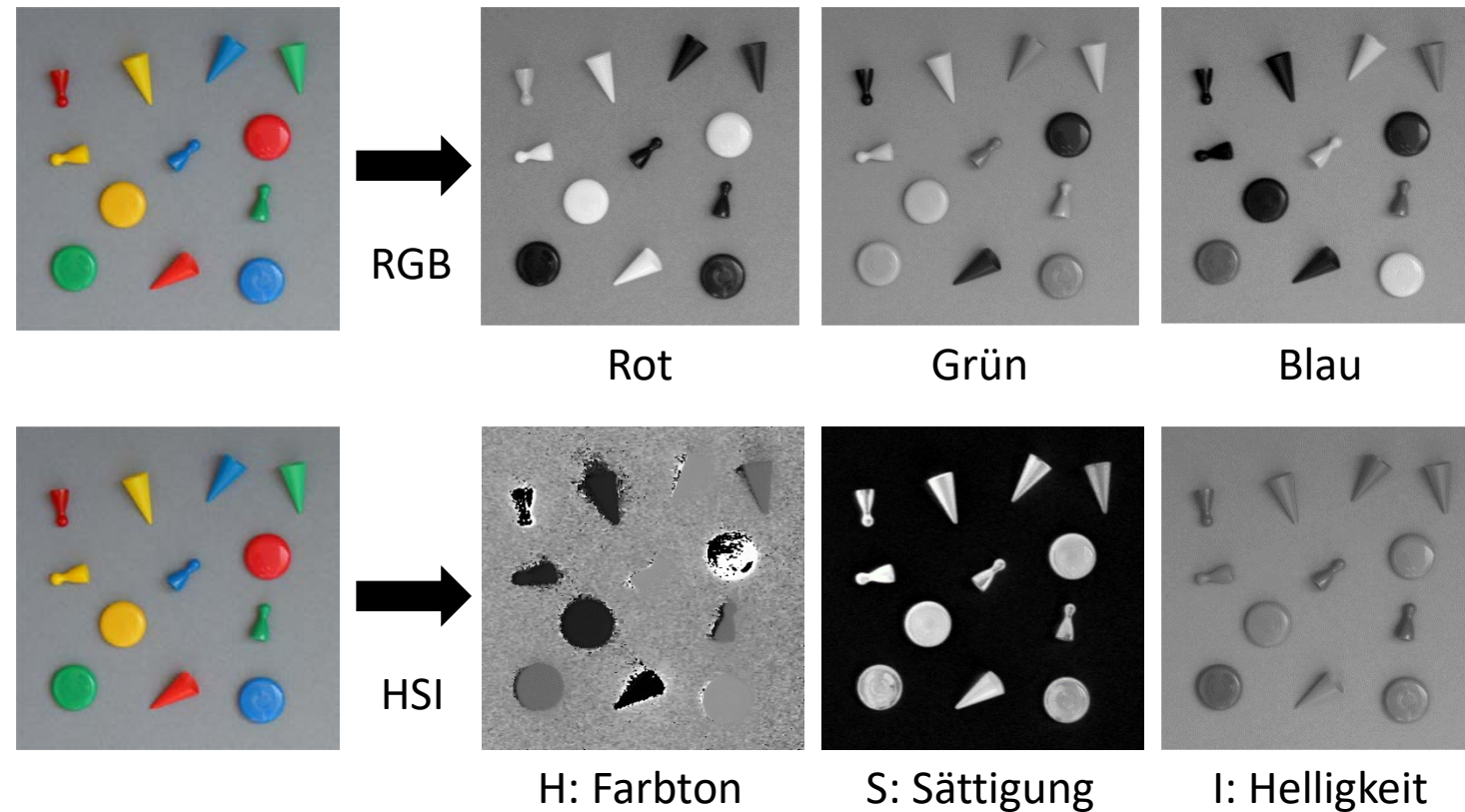
Sättigung



Farbton

Segmentierung: RGB versus HSI

Welche Darstellung eignet sich am besten, um die Vordergrundpixel (Pixel die zu den Spielsteinen gehören) von den Hintergrundpixeln zu trennen?



In der Sättigung unterscheiden sich die Spielsteine am deutlichsten vom Hintergrund!

Volumenbilder

Kapitel 2

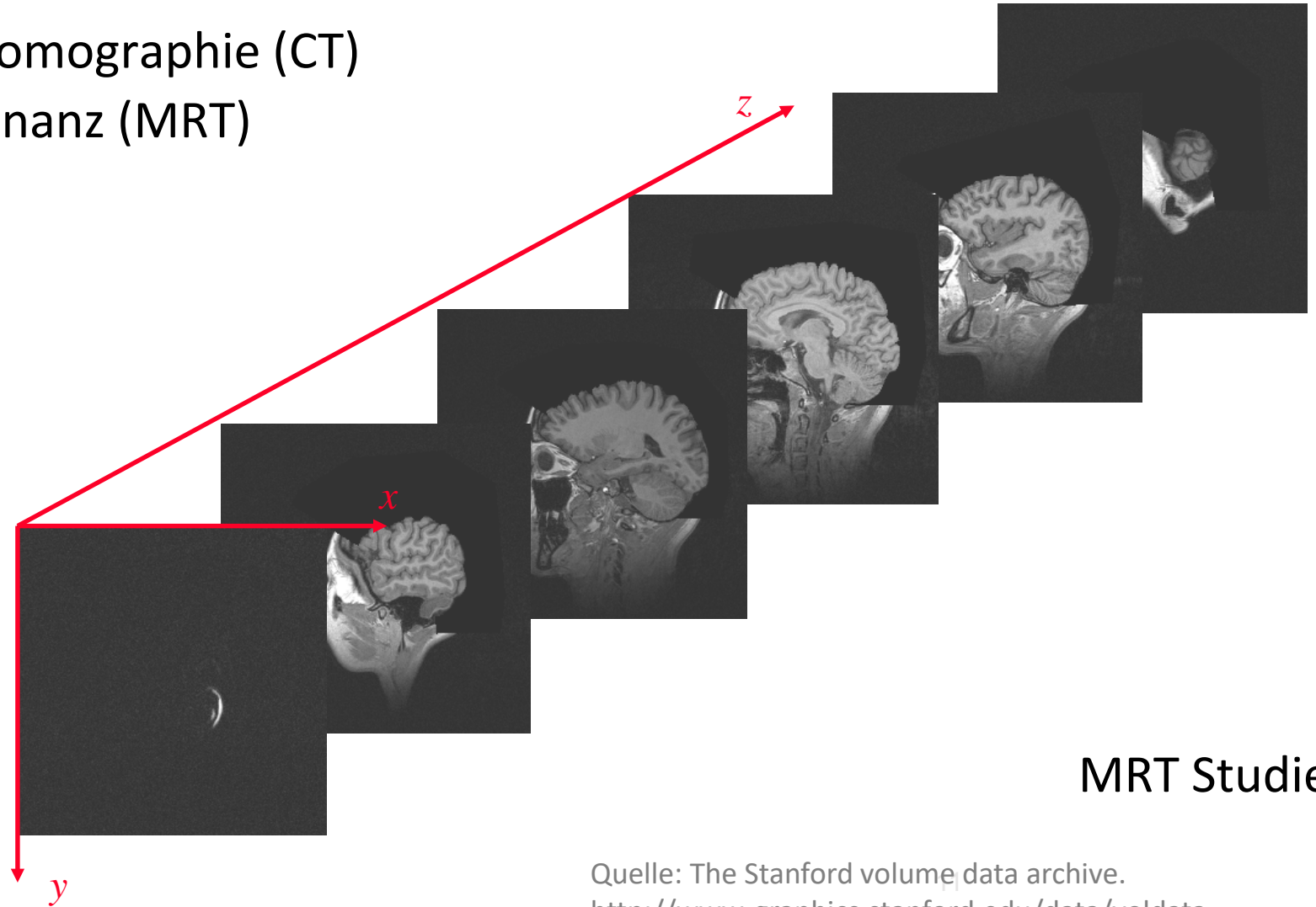
Digitale Bilder

Was ist ein Bild?

Datenformate
Bilderzeugung

3D-Anordnung von Grauwerten

- ▶ Computer Tomographie (CT)
- ▶ Magnetresonanz (MRT)



MRT Studie

Ein Bild im Speicher...

Als Matrix ...

```
// Grauwertbild als Matrix
unsigned char g[breite][hoehe];

// Referenzierung:
g[x][y] = ...
```


```
// Farbbild als Matrix
unsigned char g[breite][hoehe][tiefe];

// Referenzierung:
g[x][y][d] = ...
```

... üblich aber als Array

```
// Grauwertbild als array
unsigned char g[breite*hoehe];

// Referenzierung Pixel x,y:
g[y*breite + x] = ...
```

```
// Farbbild als array 
unsigned char g[breite*hoehe*tiefe];

// Referenzierung Pixel x,y,d:
g[y*breite*tiefe + x*tiefe + d] = ...
```

Als Speicherblock einer Bildklasse

Kapitel 2

Digitale Bilder

Was ist ein Bild?

Datenformate

Bilderzeugung

```
template<typename T> class CMyImage
{
    // Membervariablen
    unsigned int m_width;    // Breite
    unsigned int m_height;   // Hoehe
    unsigned int m_depth;    // Anzahl Kanäle

    T *m_pData;              // Bilddaten

    // Memberfunktionen

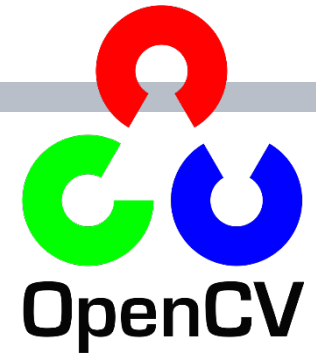
    CMyImage(const unsigned int dx=0,
             const unsigned int dy=0,
             const unsigned int dd=1)
    {
        m_width  = dx;    m_height = dy;
        m_depth  = dd;
        const unsigned int s = size();
        if (s > 0)
            m_pData = (T*)malloc(s);
        else
            m_pData = NULL;
    }
}
```

```
const unsigned int size() const
{
    return m_width*m_height*m_depth*sizeof(T);
}

~CMyImage ()
{
    if (m_pData != NULL)
        free(m_pData);
}

// ...viele weitere Memberfunktionen....
};

// Instanziierung z.B. fuer 8bit-Bild:
...
CMyImage<unsigned char> venus(200, 200, 1);
...
```



OpenCV ist heute die wichtigste Bildverarbeitungsbibliothek

- ▶ Initiative von Intel in 1999
- ▶ Alpha-version veröffentlicht zur IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2000
- ▶ Fünf Beta-Versionen zwischen 2001 und 2005

Release **OpenCV 1.0** in 2006:

- ▶ Implementierung in C
- ▶ Bilder als Zeiger auf Struct `IplImage`, kompatibel mit struct `CvMat`.

```
IplImage* image = cvCreateImage(cvSize(200,200), IPL_DEPTH_8U, 3);  
  
cvZero(image);  
IplImage* copy = cvCloneImage( image ); // deep copy  
IplImage* secondPointer = image; // just a second pointer  
...  
// release memory  
cvReleaseImage(image);  
cvReleaseImage(copy);
```

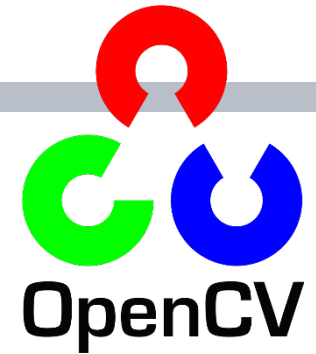
```
struct IplImage  
{  
    int depth; // Datatype of pixel  
    int nChannels; // 1, 2, 3 or 4  
    int width;  
    int height;  
    char* imageData;  
    int widthStep;  
};
```




OpenCV 2.0 im Oktober 2009 bis 2.4.13.3 im August 2017

- ▶ Neue Api: Zunächst Umstellung (Kapselung) von C nach C++
- ▶ Bessere Performanz insb. für Multi-Core Anwendungen
- ▶ Namespace-Konzept
- ▶ Viele Bibliotheken: core, imgproc, video, calib3d, ...
- ▶ Im Lauf der Releases 2.x:
 - ▶ iOS, Android,
 - ▶ GPU Beschleunigung via CUDA und OpenCL,
 - ▶ Python and Java interfaces,
 - ▶ github etc.

```
cv::Mat imageRGB(200,200,CV_8UC3); // 8 bit unsigned char, 3 channels
// do something with imageRGB, e.g. grab image from camera
...
// create image with same size and type as ImageRGB
cv::Mat imageHSI = image.create(image.size(), image.type());
cv::cvtColor(image, imageGray, CV_BGR2HSI); // convert color
```



OpenCV 3.0 Alpha und Beta in 2014, 3.0.0 in 2015, aktuell 3.3

- ▶ Transparent API (UMat statt Mat \Rightarrow openCL)
- ▶ Neue Architektur: core and plugin

Auszug aus mat.hpp Version 3.3 (Zeilen 2037 bis 2049)

```
class CV_EXPORTS Mat
{
...
    /*! includes several bit-fields:
        - the magic signature
        - continuity flag
        - depth
        - number of channels
    */
    int flags;
    /*! the matrix dimensionality, >= 2
    int dims;
    /*! the number of rows and columns or (-1, -1) when the matrix has more than 2 dimensions
    int rows, cols;
    /*! pointer to the data
    uchar* data;
    ...
}
```

```
using namespace cv;
VideoCapture cap(0); // open default cam
...
Mat imageRGB, imageHSI;
cap >> imageRGB;
cvtColor(imageRGB, imageHSI, COLOR_BGR2GRAY);
```

TransparentAPI
(statt speziellem
OpenCL Modul):
<https://www.learnopencv.com/opencl-transparent-api/>

Entwicklung in großen Konzernen

▷ Matlab

Proprietär Kamerahersteller, z.B.

▷ mvIMPACT von Matrix Vision:

- ▷ C++ SDK, unterstützt jeden C++ Compiler

Proprietär insb. im Embedded Bereich z.B.

▷ Nvidia Jetson kommt mit Linux und NVIDIA VisionWorks toolkit

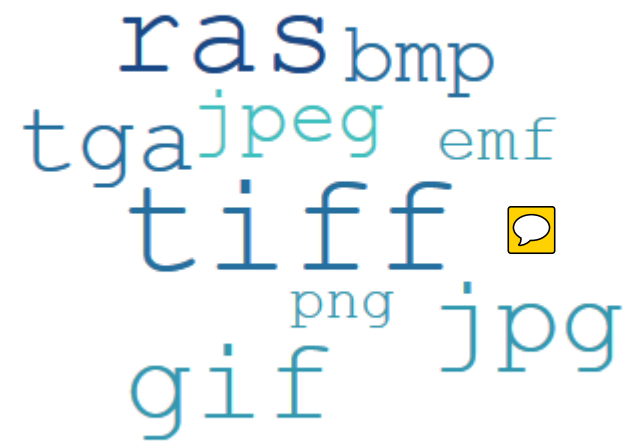
▷ VisionBox OCTA von IMAGO hat einen TI-RTOS Kernel (bisher SYS/BIOS)


- ▷ Code Composer Studio, unterstützt auch OpenCV
- ▷ Texas Instruments Compiler »The TI compiler accepts C and C++ code conforming to the International Organization for Standardization (ISO) standards for these languages. The compiler supports both the 1989 and 1999 versions of the C language and the 2003 version of the C++ language.« (Quelle:09/2017
<http://downloads.ti.com/docs/esd/SLAU132Q/>)

Bisher: Bild im Arbeitsspeicher

Frage: Wie werden die Bilder persistiert (oder übertragen)?

Zum Speichern von Bildern existieren diverse Datenformate...



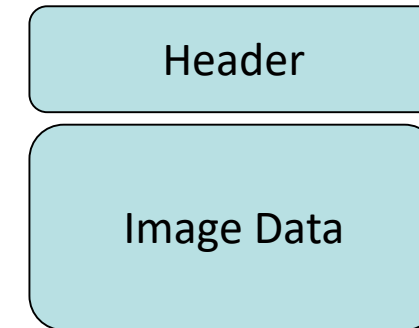
ras bmp
tga jpeg emf
tiff 
png jpg
gif

Spezifikation
für libpng
(offizielle png
Referenz-
Bibliothek) siehe
<http://www.libpng.org/pub/png/libpng-1.4.0-manual.pdf>
z.B. Seite 14

Die Datenformate unterscheiden sich im Wesentlichen bzgl.

- ▶ Farbräume (TIFF z.B. unterstützt RGB, CMYK)
damit verbunden: Transparenz (Alphakanal bei png)
- ▶ Dynamik (TIFF und png z.B. unterstützen 8 bit und 16 bit pro Kanal)
- ▶ Speichermodus :
 - ▶ binär (die meisten Formate)
 - ▶ ascii (einige proprietäre Formate und RAW)
- ▶ Kompression
 - ▶ keine Kompression (BMP, RAW)
 - ▶ verlustfreie Kompression (PNG, TIFF)
 - ▶ verlustbehaftete Kompression (TIFF, i.d.R. JPEG)

Magic Number
Breite und Höhe des Bilds
Farbraum
Farbtiefe (8 oder 24 bit)
Kompressionsverfahren



Bei bmp z.B. in Zeilen immer
auf eine `byteZahl%4=0`
aufgefüllt.

Bei verlustbehafteten Kompressionen treten verschiedene, unerwünschte
Artefakte auf....

Kompressionsartefakte

Kapitel 2

Digitale Bilder

Was ist ein Bild?

Datenformate

Bilderzeugung



Original

Diskrete Cosinus
Transformation
DCT
(z.B. JPEG)



Diskrete Wavelet
Transformation
DWT
(z.B. JPEG 2000)



Die wichtigste Eigenschaft für die Bildverarbeitung ist die verlustfreie aber auch speichereffiziente Kompression.

Für Einzelbilder hat sich PNG weithin durchgesetzt!

Wie entsteht ein Bild?

Kapitel 2

Digitale Bilder

Was ist ein Bild?
Datenformate
Bilderzeugung



Consumer Kameras und
Portable Devices



Videokameras für den
industriellen Einsatz



IR-Videokameras
hier: outdoor



MR-Tomograph

CT-Gerät



Radar
(SAR)



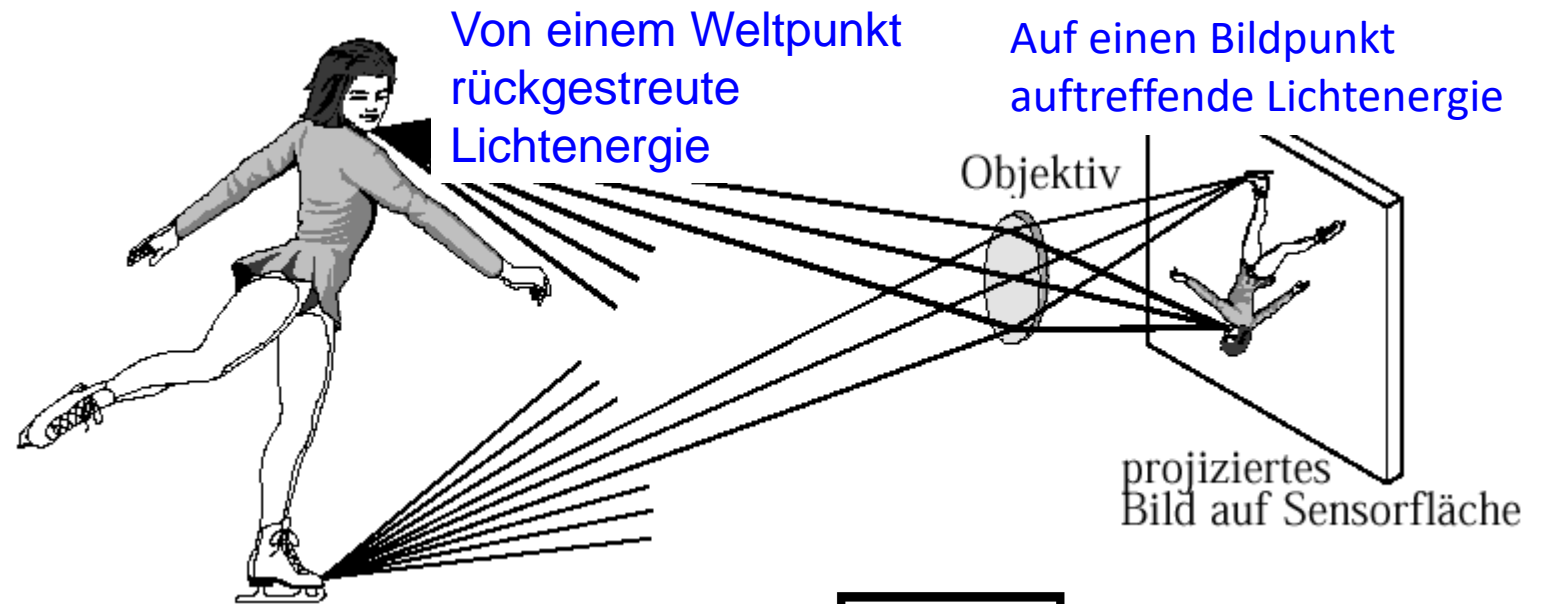
Scanner

Vom Licht zum Bild...

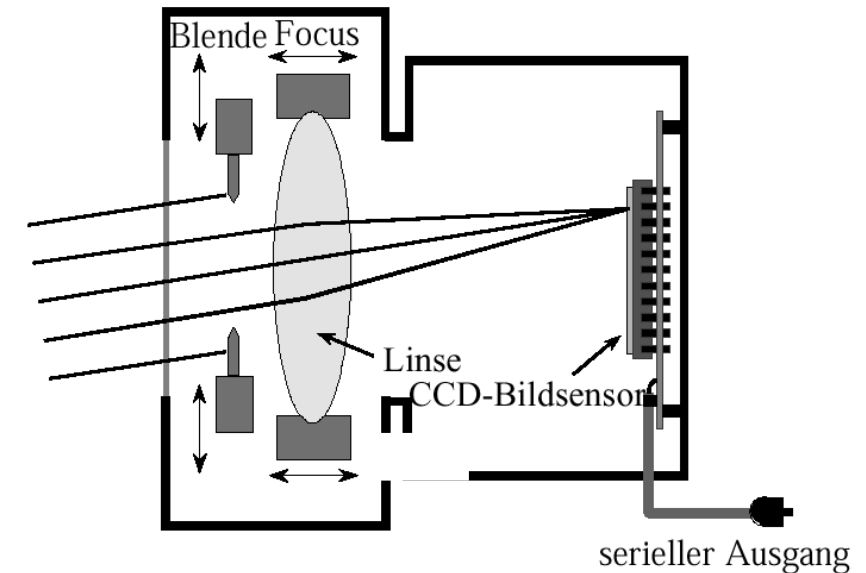
Kapitel 2

Digitale Bilder

Was ist ein Bild?
Datenformate
Bilderzeugung



- ▶ Objekt lenkt Lichtenergiestrom von einem Weltpunkt auf einen Bildpunkt der Sensorfläche
- ▶ Sensor wandelt Lichtenergiestrom in elektrisches Signal.

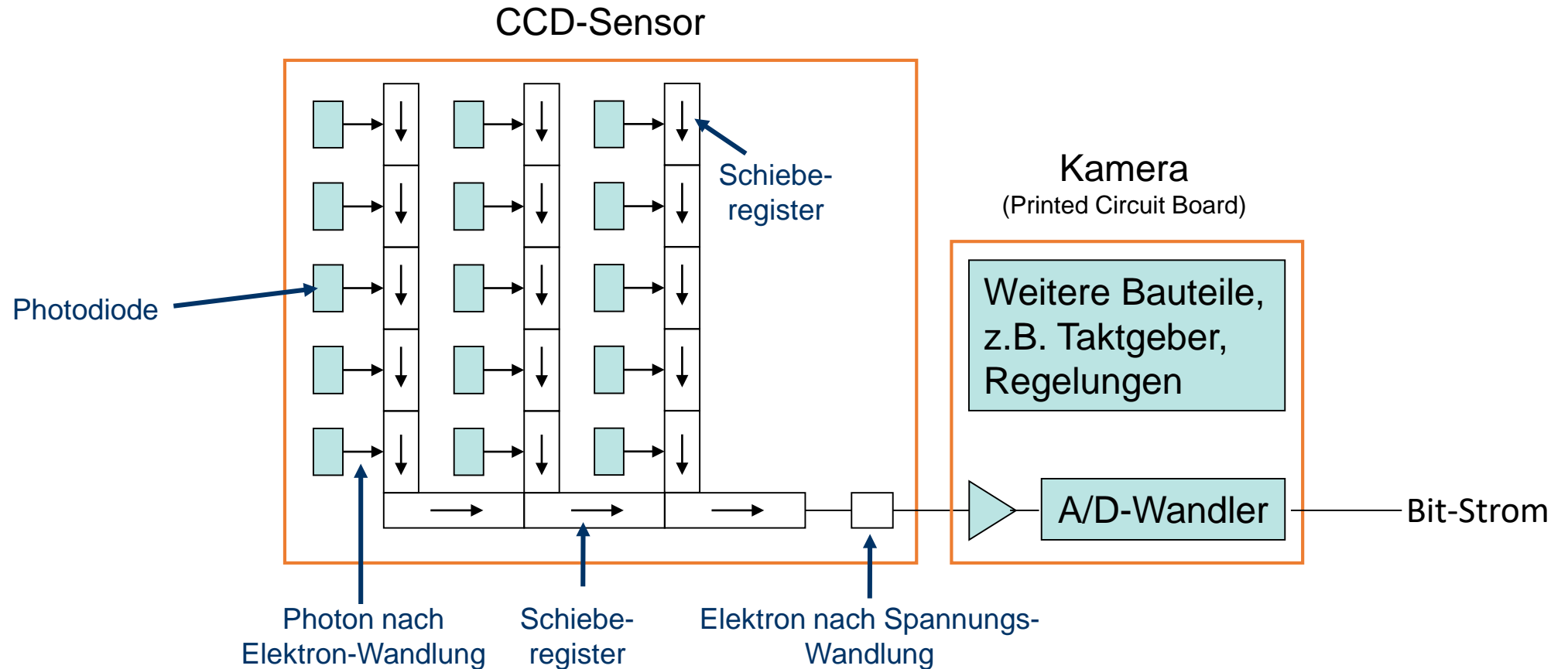


CCD (Charge Coupled Device)

Kapitel 2

Digitale Bilder

Was ist ein Bild?
Datenformate
Bilderzeugung



Das Signal am Kamera-Ausgang ist evtl. analog, d.h. ohne A/D Wandler

Artefakte CCD Sensor

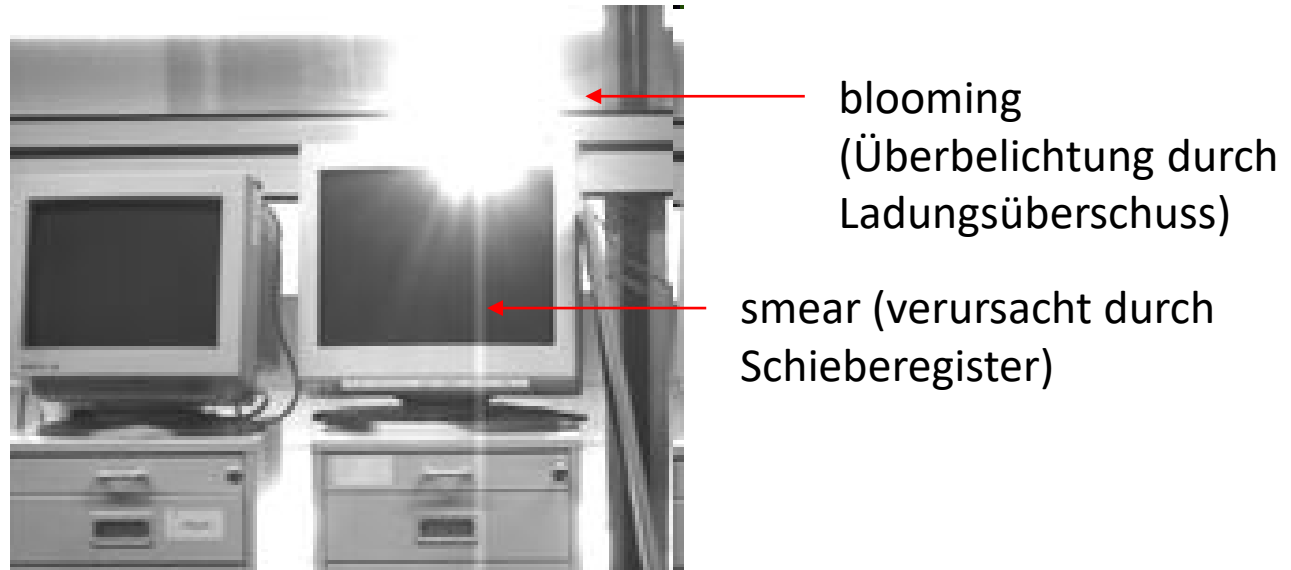
Kapitel 2

Digitale Bilder

Was ist ein Bild?

Datenformate

Bilderzeugung



CMOS (Complementary Metal Oxid Semiconductor)

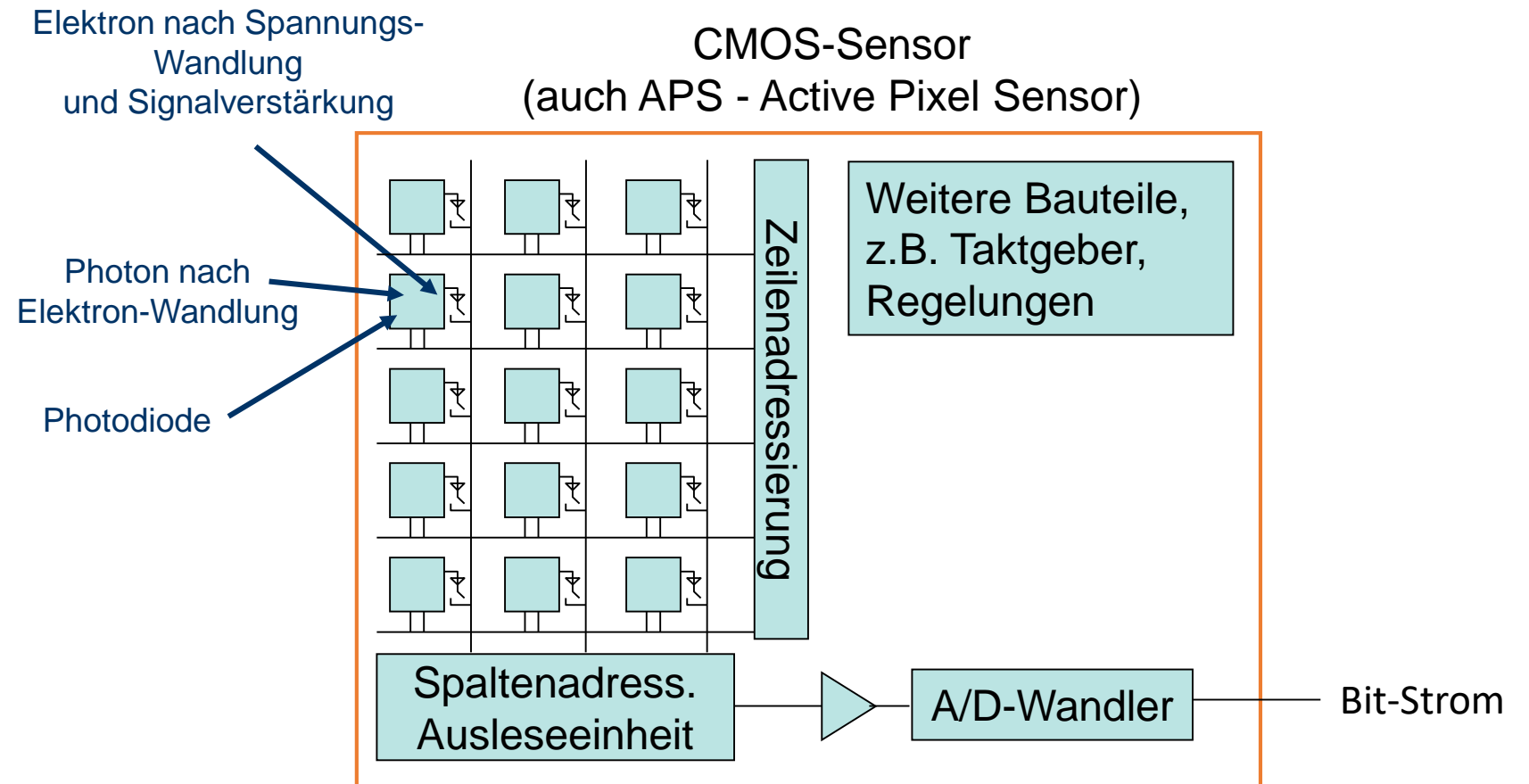
Kapitel 2

Digitale Bilder

Was ist ein Bild?

Datenformate

Bilderzeugung



Artefakte CMOS Sensor

Kapitel 2

Digitale Bilder

Was ist ein Bild?

Datenformate

Bilderzeugung



rolling shutter

Von Axel1963 - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10985163>

Qualitätskriterien für Sensoren

Kapitel 2

Digitale Bilder

Was ist ein Bild?

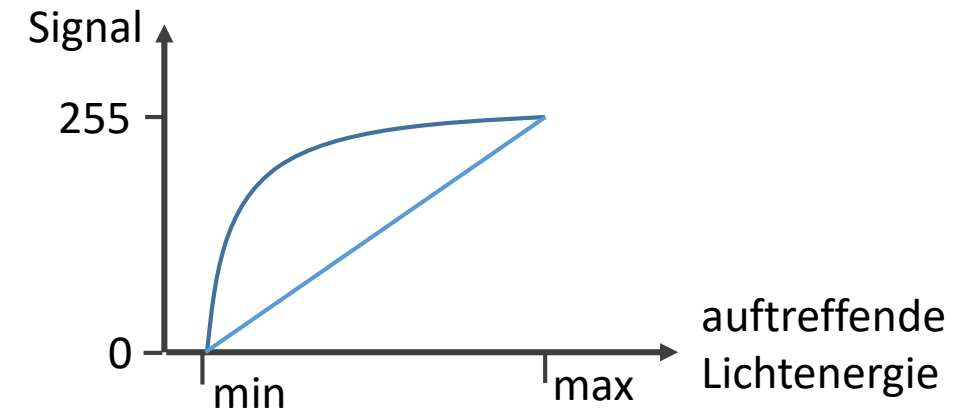
Datenformate

Bilderzeugung

Dynamik: Verhältnis zwischen höchster (max \Rightarrow Grenze Überlauf) und niedrigster Lichtintensität (min \Rightarrow Grenze Grundrauschen), die erfasst werden kann in Dezibel: $L = 10 \cdot \log(\max/\min)$ dB

Kennlinie: Zusammenhang zwischen auftreffender Lichtintensität und Signal am Ausgang der Kamera

- ▷ Linear (niedrige Dynamik)
- ▷ Logarithmisch (bei hoher Dynamik)
- ▷ LinLog – Kombination aus linear und logarithmisch



Dunkelstrom, Signal-zu-Rausch-Verhältnis, Bildqualität, Artefakte, spektrale Empfindlichkeit, Regelung (eher Q-Kriterium der Kamera).

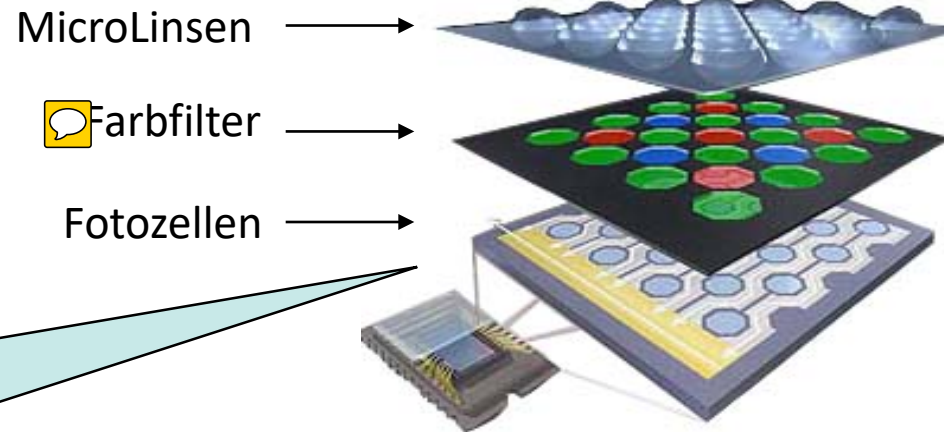
Letztlich der **Füllfaktor**: Prozentualer Anteil lichtempfindlicher Fläche (55-60%)

Verbesserung des Füllfaktors...

Kapitel 2

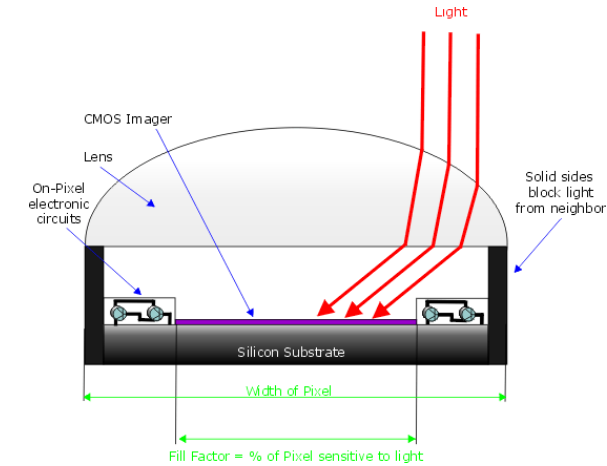
Digitale Bilder

Was ist ein Bild?
Datenformate
Bilderzeugung



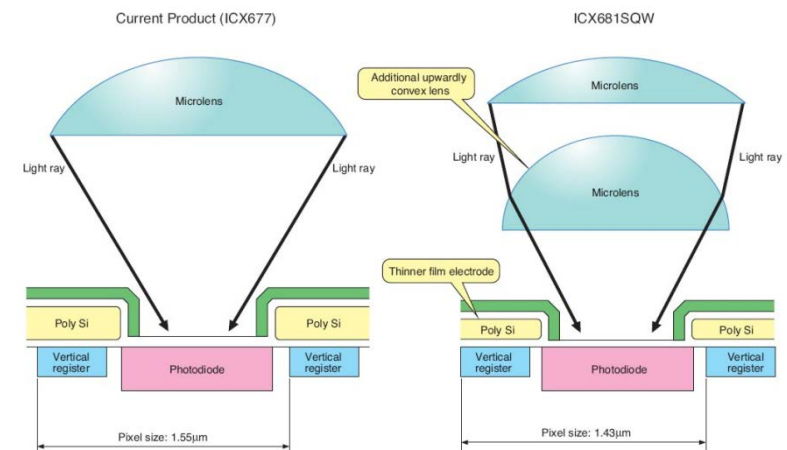
Anordnung der Photozellen hier 45 Grad (z.B. bei Kodak-Sensoren) \Rightarrow Pixel dichter!

CMOS



<http://www.jiscdigitalmedia.ac.uk/toolkit/digitalisation-equipment/receptor-technology>

CCD – Sony Doppellinsentechnologie 1,43 μ m pro Pixel!



CCD versus CMOS

CCD

- ▷ Gute Bildqualität bei guten Lichtverhältnissen
- ▷ Artefakte: Smear und Blooming bei Überbelichtung
- ▷ Vergleichsweise preiswert

⇒ Standardsensor auch im Consumer-Bereich

CMOS

- ▷ Schlechtere Bildqualität durch geringen Füllfaktor
- ▷ Artefakte: Fixed-Pattern-Noise, fertigungsbedingte Schwankungen der Pixel, ggf. rolling shutter
- ▷ Geringe Baugröße und geringer Stromverbrauch
- ▷ Zugriff auf einzelne Pixel möglich
- ▷ HDR (High Dynamic Range): > 100dB möglich (der Automotivebereich erfordert 120 dB)

⇒ Einsatz in Smartphones und bei schlechten Lichtverhältnissen (z.B. Automotivebereich)

Sensorspezifikation

Kapitel 2

Digitale Bilder

Was ist ein Bild?
Datenformate
Bilderzeugung

Typische Spezifikation von Sensoren (hier USB-uEye von IDS):

	Auflösung	Framerate	Sensor	S/W	Farbe	Modell
bis zu 1 Megapixel						
VGA	640 x 480	75 fps	1/3" SONY CCD	x	x	UI-2410ME
VGA	640 x 480	75 fps	1/2" SONY CCD	x	x	UI-2210ME
WVGA	752 x 480	87 fps	1/3" Aptina CMOS	x	x	UI-1220ME
CCIR / PAL	768 x 576	52 fps	1/2" SONY CCD	x	x	UI-2220ME
XGA	1024 x 768	30 fps	1/3" SONY CCD	x	x	UI-2230ME
1 bis 2 Megapixel						
1,3 Mpixel	1280 x 1024	25 fps	1/2" Aptina CMOS	x		UI-1540ME
1,3 Mpixel	1280 x 1024	25 fps	1/3" Aptina CMOS		x	UI-1640ME
1,3 Mpixel	1280 x 1024	15 fps	1/2" SONY CCD	x	x	UI-2240ME
2 Mpixel	1600 x 1200	18 fps	1/3" Aptina CMOS		x	UI-1550ME
2 Mpixel	1600 x 1200	12 fps	1/2" SONY CCD	x	x	UI-2250ME
über 2 Megapixel						
3,1 Mpixel	2048 x 1536	11 fps	1/2" Aptina CMOS		x	UI-1460ME
5 Mpixel	2560 x 1920	6 fps	1/2" Aptina CMOS	x	x	UI-1480ME
10 Mpixel	3840 x 2748	3 fps	1/2" Aptina CMOS		x	UI-1490ME
High Dynamic Range (HDR)						
CCIR / PAL	768 x 576	50 fps	1/1.8" HDR CMOS	x		UI-1120ME

Nochmal zum Vergleich:
Canon SX 720 HS
5144 x 3888

fps: frames per second

Vom der Kamera in den Arbeitsspeicher...

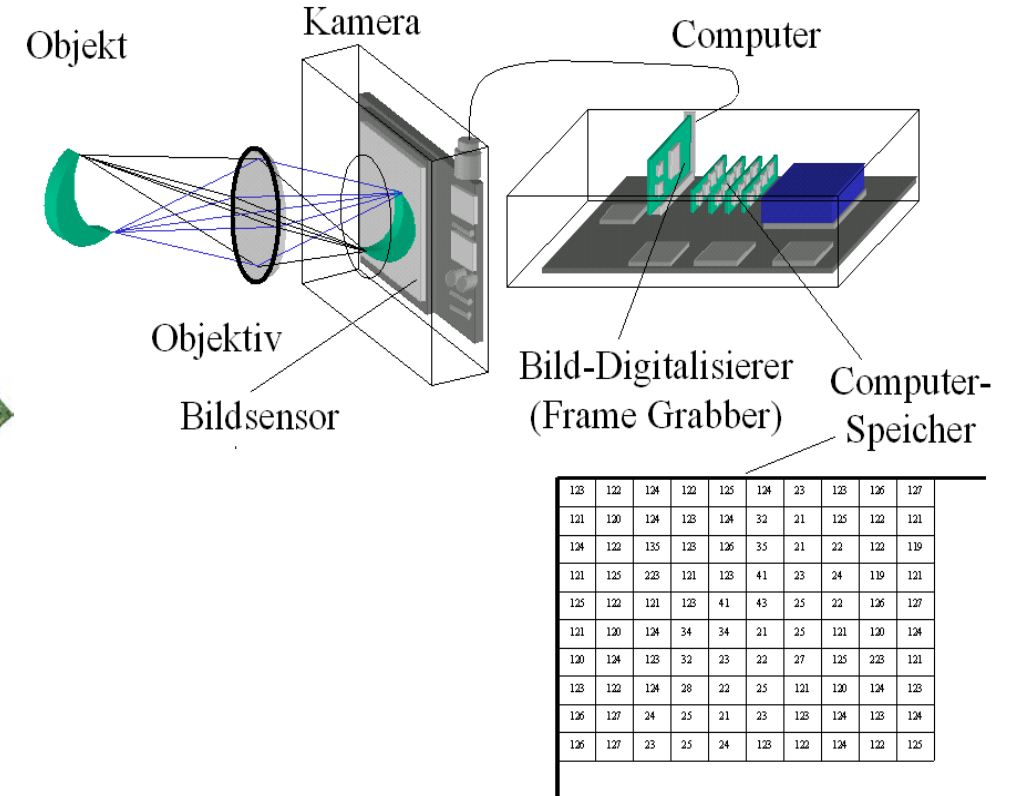
Kapitel 2

Digitale Bilder

Was ist ein Bild?
Datenformate
Bilderzeugung

Klassisch:

- ▶ Analogkamera mit Frame-Grabber (i.d.R. via Composit-Eingang mit Cinch- oder BNC-Stecker)



Alternativen heute:

- ▶ USB (räumlich begrenzt)
- ▶ Firewire (high-speed, bidirektionaler Datentransfer, „schwieriges“ Protokoll)
- ▶ Internetprotokoll (IP)
- ▶ GigE (ggf. mit PoE – Power over Ethernet, proprietäres Übertragungsprotokoll)

GiGE[®]
VISION

Astrid Laubenheimer
Stand 28.06.2018

